

## Proposition de corrigé

Concours : Concours Centrale-Supélec

Année : 2014

Filière : TSI

Épreuve : Sciences Industrielles 2

Ceci est une proposition de corrigé des concours de CPGE, réalisée bénévolement par des enseignants de Sciences Industrielles de l'Ingénieur et d'Informatique, membres de l'[UPSTI](http://www.upsti.fr) (Union des Professeurs de Sciences et Techniques Industrielles), et publiée sur le site de l'association :

<https://www.upsti.fr/espace-etudiants/annales-de-concours>

### A l'attention des étudiants

Ce document vous apportera des éléments de corrections pour le sujet traité, mais n'est ni un corrigé officiel du concours, ni un corrigé détaillé ou exhaustif de l'épreuve en question.

L'UPSTI ne répondra pas directement aux questions que peuvent soulever ces corrigés : nous vous invitons à vous rapprocher de vos enseignants si vous souhaitez des compléments d'information, et à vous adresser à eux pour nous faire remonter vos éventuelles remarques.

### Licence et Copyright

Toute représentation ou reproduction (même partielle) de ce document faite sans l'accord de l'UPSTI est **interdite**. Seuls le téléchargement et la copie privée à usage personnel sont autorisés (protection au titre des [droits d'auteur](#)).

En cas de doute, n'hésitez pas à nous contacter à : [corrigesconcours@upsti.fr](mailto:corrigesconcours@upsti.fr).

### Informez-vous !

Retrouvez plus d'information sur les [Sciences de l'Ingénieur](#), l'[orientation](#), les [Grandes Ecoles](#) ainsi que sur les [Olympiades de Sciences de l'Ingénieur](#) et sur les [Sciences de l'Ingénieur au Féminin](#) sur notre site : [www.upsti.fr](http://www.upsti.fr)

L'équipe UPSTI

# Centrale-Supelec TSI SI2

## Cellule robotisée d'usinage de culasses

Q1 :

1. Pour les séquences 1 et 2 les opérations sur la palette 2 se font en temps masqué, la durée est donc  $t_1$
2. Temps de permutation  $t_p$
3. Pour les séquences 3 et 4 les opérations sur la palette 1 se font en temps masqué, la durée est donc  $t_4$
4. Temps de permutation  $t_p$

Le temps de cycle est donc  $t_{cy} = t_1 + t_4 + 2 * t_p$

$$Q2 : \Omega_s = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi 150}{1} = 942.5 \text{ rad.s}^{-1} \text{ (9000 tr.min}^{-1}\text{)}$$

$$Q3 : P_a = \frac{P_u}{\eta} = \frac{35000}{0.92} = 38043 \text{ W or } P_a = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi \Rightarrow I_1 = \frac{P_a}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} \text{ avec } U_1 = 400V \text{ car on se place dans la zone de fonctionnement à puissance maximale.}$$

$$AN: I_1 = 64.6A$$

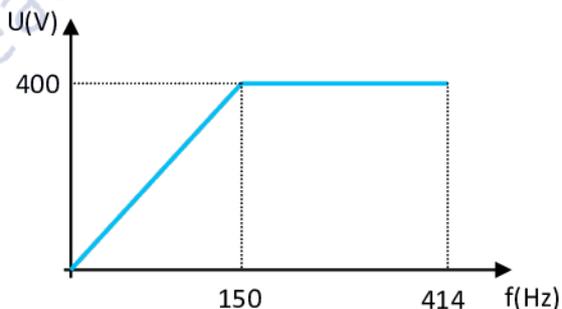
$$Q4 : P_{jr} = g \cdot P_{tr} = g(P_a - P_{js} - P_{fs}) \Rightarrow g = \frac{0.4Pertes}{P_u + Pertes - 0.2Pertes - 0.2Pertes}$$

$$\text{avec } Pertes = P_a - P_u = 3043W. AN : g = 3.3\%$$

On se place maintenant à la vitesse maximale (tjs dans la zone de fonctionnement à puissance maximale).  $g = \frac{N_s - N}{N_s} \Rightarrow N_s = \frac{24000}{1 - 0.033} = 24819 \text{ tr.min}^{-1}$

$$N_s = \frac{60f}{p} \Rightarrow f = \frac{24819}{60} = 413 \text{ Hz}$$

Q5 : Le modulateur d'énergie sera un onduleur triphasé capable d'assurer la caractéristique fréquence-tension suivante:



Le courant nominal est de 64.6A mais il faudra fournir de façon transitoire des courants de 130A.

Corrigé UPSTI

Q6 : On isole l'axe Y.

Le bilan des actions mécaniques extérieur est le suivante :

- Pesanteur  $\vec{P} = -M_y g \cdot \vec{y}$
- Dispositif de compensation  $\vec{F}_c = M_y g \cdot \vec{y}$
- L'action du moteur  $\vec{F}_m = F_m \vec{y}$
- La résistance au mouvement de la liaison glissière.  $\vec{F}_r = F_r \vec{y}$

Le dispositif de compensation compense exactement la pesanteur, on revient donc à un cas où le système est soumis uniquement aux actions mécaniques :

- L'action du moteur
- La résistance au mouvement de la liaison glissière.

Les sollicitations sont donc de même nature que les autres axes

Q7 : La réserve d'air d'alimenter le vérin (8L environ pour la translation complète), mais surtout cela va jouer le rôle de tampon.

Q8 : Utilisation d'un contrepoids. Avantage : Facilité de réalisation, Inconvénient : Non réglable (poids des outils variable), encombrement...

Q9 : L'effort développé par le vérin est :

$$F_c = p \cdot S$$

On a donc :

$$p = \frac{M_y \cdot g}{S}$$

$$A.N : S = \pi \frac{d_{cyl}^2 - d_{tige}^2}{4} = 11468 \text{ mm}^2 \text{ donc } p = 4,1 \text{ bars}$$

Q10 :

$$\Delta F_c = \Delta p \cdot S = 11,5 \text{ N}$$

Q11 :

Q12 : Un moteur synchrone avec un système vis écrou à billes est une solution standard mais elle entraîne des pertes (bien que très faibles car on substitue un roulement au glissement). Le moteur synchrone linéaire est plutôt une solution constructeur, qui simplifie la chaîne cinématique, qui en général occupe moins de place.

En définitive, l'avantage d'un MS linéaire est de simplifier la chaîne cinématique et l'inconvénient est d'adopter une solution constructeur (pas de standard, pas de concurrence, etc )

Q13 : Le tronçon est sollicité en torsion et en flexion

Q14 : Il n'y pas de sollicitation en traction donc la contrainte normale est nulle.

Q15 : La flèche maximale d'une poutre est :

Corrigé UPSTI

$$f = F_{\text{piece-outil}} * \frac{l^3}{3 * E * I}$$

avec  $I = \frac{\pi.D^4}{32} = 15708 \text{ mm}^2$  donc  $f = 6,5 \mu\text{m}$

Q16 : La variation de longueur est donnée par la relation suivante :

$$\Delta L = \alpha_{\text{moyen}} \cdot \Delta\theta \cdot L = 1,2 \cdot 10^{-5} * 30 * 120 = 0,043 \text{ mm}$$

L'allongement de l'outil va donc induire une erreur de  $43 \mu\text{m}$  lors de la réalisation des surfacages (enlèvement de matière). Pour l'opération de dressage la variation n'aura aucune influence.

Q17 : La variation de longueur est donnée par la relation suivante :

$$\Delta L = \alpha_{\text{moyen}} \cdot \Delta\theta \cdot L = 1,2 \cdot 10^{-5} * 30 * 400 = 0,144 \text{ mm}$$

L'allongement de la broche va induire une diminution de la précharge existant dans les roulements. La qualité du guidage diminue.

$$\text{Q18 : } dW_{th} = \rho \cdot dV \cdot c(\theta_s - \theta_e) \text{ et donc } P_{th} = \frac{dW_{th}}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} c(\theta_s - \theta_e) = \rho \cdot Q \cdot c(\theta_s - \theta_e)$$

$$\text{Q19 : } \theta_s = \frac{P_{th}}{\rho c Q} + \theta_e$$

$$\text{Q20 : } Q = \frac{P_{th}}{\rho c (\theta_s - \theta_e)} = \frac{3000}{1000 * 4180 * 2} = 358 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 21,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Q21 : On trouve d'après le graphique  $\Delta P = 6,6 \text{ bar}$

Q22 : D'après la formule la puissance à fournir au fluide est

$$P_{pf} = \Delta P \cdot Q = 6,6 \cdot 10^5 * \frac{20,8 \cdot 10^{-3}}{60} = 229 \text{ W}$$

Compte tenu des rendements on a :

$$P_{pm \text{ max}} = \frac{P_{pf}}{\eta_{pp} * \eta_{ent}} = 565 \text{ W}$$

Le moteur doit tourner à 1575tr/min

Q23:

$$d\theta_s = \frac{dP_{th}}{Q \cdot c \cdot \rho}$$

Donc

$$k_1 = \frac{1}{Q \cdot c \cdot \rho} = 6,9 \cdot 10^{-4} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Corrigé UPSTI

Q24 :

$$d\theta_s = \frac{-P_{th}}{Q^2 \cdot c \cdot \rho} dQ$$

Donc

$$k_2 = \frac{-P_{th}}{Q^2 \cdot c \cdot \rho} = -6.10^3 K \cdot s \cdot m^{-3} = -0,1 K \cdot L^{-1} \cdot min$$

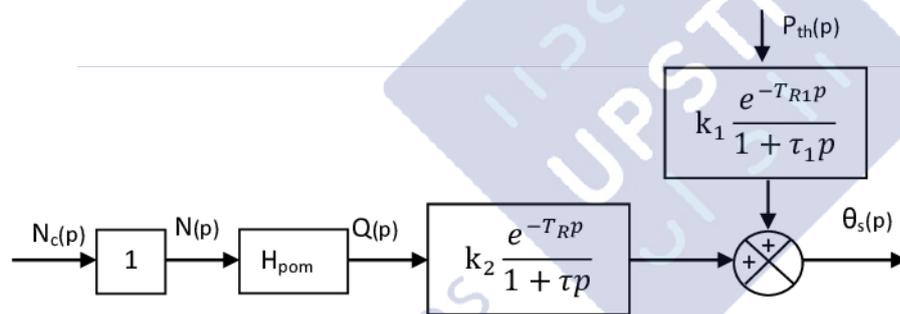
Q25 :

D'après la courbe de la figure 6, on a une variation de 0,8L/min pour une variation de 75tours/min.

On a donc  $H_{pom} = 0,01 L \cdot tours^{-1}$

Q26 : D'après la même courbe on peut constater que la courbe de fonctionnement n'est pas une droite. Le rapport  $\frac{\Delta Q}{\Delta N}$  va donc varier en fonction du point considéré.

Q27 :



Attention :  $N(p) = N_c(p)$  si on néglige le régime transitoire du moteur et que l'ensemble {variateur+moteur} n'a pas d'erreur statique.

Q28 : On sait que 100°C est codée par 1111 1111 1111 soit 4095.

On a donc  $k_\theta k_{CAN} = \frac{4095}{100} = 40.95 / ^\circ C$

Q29 : à 100°C la valeur est de 4095. Donc à 24°C on a  $M_\theta = \frac{24 \cdot 4095}{100} = 983_{10} \equiv 3D7_{16}$

Q30 : La résolution est la plus petite valeur que l'on peut discerner :  $\frac{100}{2^{12}} = 0.0244^\circ C$

Q31 :  $T(p) = C(p) \cdot H_{pom} \cdot k_2 \frac{e^{-TRp}}{1+\tau p} \cdot k_\theta k_{CAN} = H_{pom} \cdot k_2 \cdot k_\theta k_{CAN} \cdot C(p) \frac{e^{-TRp}}{1+\tau p} = \alpha \cdot C(p) \frac{e^{-TRp}}{1+\tau p}$  donc

$$\alpha = H_{pom} \cdot k_2 \cdot k_\theta k_{CAN} \approx -0.041$$

Q32 :  $K_{co}$  est négatif car  $\alpha$  est négatif. En effet, on veut que la consigne  $W_\theta$  et la mesure  $M_\theta$  soient de même signe.

Corrigé UPSTI

On reconnaît un correcteur PI dont l'action principale est d'améliorer la précision (en annulant l'erreur statique). Ce correcteur a également une action proportionnelle qui permet de rendre le système plus rapide.

Q33 : La FTBO corrigée devient  $\underline{T}(j\omega) = \alpha \cdot K_{co} \frac{e^{-T_R j\omega}}{t j\omega}$

$$\text{Arg}(\underline{T}(j\omega)) = \text{Arg}(e^{-T_R j\omega}) - \text{Arg}(t j\omega) = -T_R \omega - \pi/2$$

$$\text{Arg}(\underline{T}(j\omega_{60})) = -\frac{2\pi}{3} = -T_R \omega_{60} - \pi/2 \text{ soit } \omega_{60} = \frac{\pi}{6T_R} = \frac{\pi}{30} \text{ rad.s}^{-1}$$

Q34 : On veut  $|\underline{T}(j\omega_{60})| = \frac{\alpha \cdot K_{co}}{\tau \omega_{60}} = 1$  soit  $K_{co} = \frac{\tau \omega_{60}}{\alpha} = -58.2$

Q35 :  $N_c(p) = \varepsilon(p) K_{co} \frac{1+T_{co}p}{T_{co}p} = \varepsilon(p) K_{co} + \frac{\varepsilon(p) K_{co}}{T_{co}p} \Rightarrow T_{co}p N_c(p) = T_{co}p \varepsilon(p) K_{co} + \varepsilon(p) K_{co}$

Dans le domaine temporel, cela donne :

$$T_{co} \frac{dN_c(t)}{dt} = T_{co} K_{co} \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + K_{co} \varepsilon(t) \text{ donc } \tau \frac{dN_c(t)}{dt} = K_{co} \left( \tau \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + \varepsilon(t) \right)$$

Q36 :  $\tau \frac{N_{ck} - N_{ck-1}}{T_e} = K_{co} \left( \tau \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}}{T_e} + \varepsilon_k \right) \Rightarrow N_{ck} = N_{ck-1} + K_{co} \left( 1 + \frac{T_e}{\tau} \right) \varepsilon_k - K_{co} \varepsilon_{k-1}$

Donc  $\lambda_1 = 1$  ;  $\mu_0 = K_{co} \left( 1 + \frac{T_e}{\tau} \right) \approx -61.2$  ;  $\mu_1 = -K_{co} = 60$

Q37 : Le correcteur PI annule l'erreur statique sur  $\theta$  et sur  $P_{th}$  ; de ce point de vue, il fait parfaitement son travail. Avec un système plus rapide, la variation de puissance entrainerait une variation de température plus faible. On peut essayer de rendre le système plus rapide en augmentant l'action proportionnelle, donc en augmentant  $|K_{co}|$ . A vérifier en simulation, le risque étant alors de rendre le système oscillatoire (pseudo-périodique...)

Q38 : Pour une variation de puissance de 500W, la variation de température n'est que de 0.2°C. A la question 16, on a trouvé un allongement de l'outil de 0.04mm pour 30°C. Avec la régulation, l'allongement ne serait que de  $\frac{0.2 \cdot 0.04}{30} = 0.28 \mu m$  ce qui semble tolérable.

Q39 : La qualité des guidages, la précision des règles de lecture, ...