

Proposition de corrigé

Concours : Concours Centrale-Supélec

Année : 2013

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.

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

L'équipe UPSTI

Centrale TSI SI2

L'ASCENSEUR DU PILIER NORD DE LA TOUR EIFFEL

Question 1. À l'aide de la description du fonctionnement de l'ascenseur, de la séquence de démarrage et de la figure 7, compléter le diagramme FAST sur le document réponse.

Voir « corrigé document réponse ».

Question 2. Représenter la tension aux bornes de l'inducteur puis, à partir indications données figure 10, déterminer le rapport de transformation du transformateur à utiliser.

Tension redressée double alternance.

Afin de travailler au point nominal, il faut que $\overline{U}_{en} = 220 \text{ V}$

$$\overline{U}_{\text{inducteur}} = m \frac{2U\sqrt{2}}{\pi} = m \frac{2 \times 660\sqrt{2}}{\pi} \text{ soit } m = 0,37.$$

Question 3. Proposer à l'aide d'un schéma électrique une solution permettant le réglage précis du courant d'excitation.

Réglage : convertisseur statique, transformateur à rapport de transformation m réglable ou rhéostat.

Question 4. Déterminer, en détaillant la démarche, le rapport $\underline{V}_{hf}(j\omega) / \underline{V}_h(j\omega) = \underline{H}(j\omega)$, mettre celui-ci sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{K}{\left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + 1}$$

On applique le diviseur de tension à l'entrée non inverseuse :

$$\underline{V}^+ = \frac{\frac{VA}{R}}{\frac{1}{R} + jC\omega} = \frac{VA}{1 + jRC\omega}$$

On applique le théorème de Millman au point A :

$$\underline{VA} = \frac{\frac{Vh}{R} + VhfjC\omega + \frac{V^+}{R}}{\frac{2}{R} + jC\omega} = \frac{Vh + VhfjRC\omega + V^+}{2 + jRC\omega}$$

On a de plus : $\underline{V^-} = \underline{V}hf$

Donc :
$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{\left(\frac{j\omega}{RC}\right)^2 + 2j\omega RC + 1}$$

Question 5. Vérifier que le filtre permet de réduire dans un rapport d'environ cent l'amplitude du fondamental de l'ondulation de la tension en sortie du capteur à effet Hall.

$$H(j\omega) = \frac{1}{((j\omega)^2 \cdot 3,18 \cdot 10^{-5} + 11,28 \cdot 10^{-3}(j\omega) + 1)}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 28 \text{ Hz}$$

Le fondamental a une fréquence de 300 Hz, il est donc situé à plus d'une décade de f_0 .

Avec - 40 dB par décade (filtre passe bas du 2nd ordre), on a bien atténué le fondamental de l'ondulation par un peu plus de 100.

Question 6. Justifier, au vu du cahier des charges, de manière qualitative, le type de correcteur utilisé. Dans le cas d'un échelon de commande $V_{\text{com}}(p)$, le choix d'une marge de phase de 45° permet-il à priori de se prémunir contre les dépassements de courant ? En cas de dépassement de courant, les conséquences sur l'échauffement de la machine à courant continu seraient-elles notables ?

Correcteur PI : pas d'erreur statique de position.

$45^\circ \rightarrow$ dépassement mais de durée très faible devant la constante de temps de la machine $\rightarrow$ pas d'échauffement.

Question 7. En considérant uniquement le terme proportionnel du correcteur, déterminer en le justifiant, la valeur de K_1 permettant d'obtenir une marge de phase de 50° .

Pour $K=1$, à $\omega = 84 \text{ rad/s}$, la phase est de -130° .

Or à $\omega = 84 \text{ rad/s}$, le gain est de 16,2 dB, soit $K_1 = 0,158$

Question 8. Déterminer la valeur de τ_1 afin que la marge de phase obtenue précédemment ne soit pas dégradée de plus de 5° .

$$\tau_i = 0,119 \text{ s} = 1/8,4$$

Question 9. La tension de commande V_{com} (voir figure 12) étant limitée à 10 V, en déduire, au vu de cette limitation, le couple maximal en régime permanent que peut délivrer la machine à courant continu (voir tableau figure 10).

Boucle avec correction dans la chaîne directe : le gain statique de la boucle fermée est égal à l'inverse du gain statique de la contre réaction, soit 100, le courant sera donc limité à $10 \times 100 = 1\,000$ A.

À l'aide du tableau figure 10, on calcule la constante de couple de la machine :

$$K\Phi n = (P_u / (\Omega)) / I_n = 10,3 \text{ N.m/A}, \text{ couple maximum : } 10,3 \times 1\,000 = 10\,300 \text{ N.m}$$

Question 10. Déterminer l'expression littérale de l'énergie cinétique du système isolé E par rapport au repère lié au sol supposé Galiléen, en fonction des différents paramètres.

$$E_{c,E/0} = E_{c,\text{chariot} + \text{passagers}/0} + E_{c,\text{poulie}/0} + E_{c,\text{contrepoids}/0}$$

- $E_{c,\text{chariot} + \text{passagers}/0} = \frac{1}{2} (M_c + M_p) V^2$ avec $V = R_p \cdot \omega_{red}$, soit :

$$E_{c,\text{chariot} + \text{passagers}/0} = \frac{1}{2} (M_c + M_p) \omega_{red}^2 R_p^2$$

- $E_{c,\text{poulie}/0} = \frac{1}{2} 4J_p \omega_{red}^2$

- $E_{c,\text{contrepoids}/0} = \frac{1}{2} M_{cp} \left(\frac{V}{4} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{M_{cp}}{16} R_p^2 \omega_{red}^2$

Alors :

$$E_{c,E/0} = \frac{1}{2} \left[\underbrace{\left(M_c + M_p + \frac{M_{cp}}{16} \right) R_p^2 + 4J_p}_{J_{eq}} \right] \omega_{red}^2$$

Question 11. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système isolé E pour déterminer l'expression littérale du couple $C_{red/pm}$ exercé par l'arbre de sortie du réducteur sur les poulies motrices.

Puissances extérieures :

- $P_{poids(c+p)} = - (M_c + M_p) g \sin(\alpha_{12}) \omega_{red} R_p$

- $P_{poids(contrepoids)} = + \left(\frac{M_{cp}}{4} \right) g \sin(\alpha_{01}) \omega_{red} R_p$

- $P_{red} = C_{red} \cdot \omega_{red}$

Puissances intérieures : nulles.

Alors, l'application du théorème de l'énergie cinétique donne :

$$J_{eq} \omega_{red} \dot{\omega}_{red} = C_{red} \omega_{red} + \left(\frac{M_{cp}}{4} \right) g \sin(\alpha_{01}) \omega_{red} R_p - (M_c + M_p) g \sin(\alpha_{12}) \omega_{red} R_p$$

$$\text{Et } \dot{\omega}_{red} = \frac{a_{max}}{R_p}.$$

Donc :

$$C_{red} = J_{eq} \frac{a_{max}}{R_p} + g R_p \left((M_c + M_p) \sin(\alpha_{12}) - \left(\frac{M_{cp}}{4} \right) \sin(\alpha_{01}) \right)$$

Questions 12. Calculer ce couple C_{red}/pm .

L'application numérique donne :

$$C_{red} = 172 kN.m$$

Questions 13. En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'arbre du moteur, calculer le couple moteur C_m pour cette phase d'accélération.

On applique le PFD appliqué à l'arbre moteur et on écrit l'équation du moment autour de l'axe de rotation :

$$J \ddot{\theta}_m = C_m - \frac{C_{red}}{\eta k} \text{ avec } \ddot{\theta}_m = k \cdot \frac{a_{max}}{R_p}$$

Alors :

$$C_m = J k \cdot \frac{a_{max}}{R_p} + \frac{C_{red}}{\eta k}$$

$$\text{AN : } C_m = 7050 N.m$$

Questions 14. Comparer celui-ci avec le couple maximal déterminé à la question 9.

Le couple maximum, imposé par la limitation de courant à 1000 A est de 10 300 N.m.
Conclusion : suffisant.

Questions 15. Conclure quant au choix de cette machine de traction.

Un calcul rapide avec les données constructeur du moteur en régime nominal nous donne

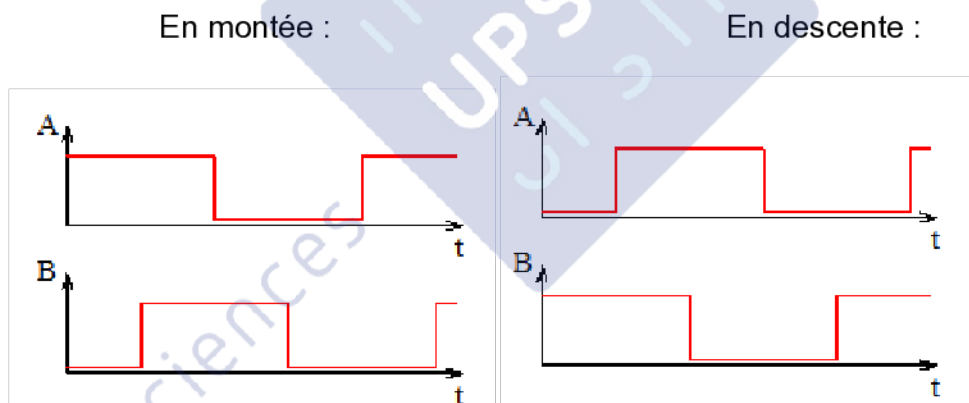
$$C_{m1} = \frac{P_n}{\omega_n} = 6611 \text{ N.m}$$

En régime permanent, le couple nécessaire est de **6378 N.m**, le couple nominal de la machine est de 6611 N m → Cela convient.

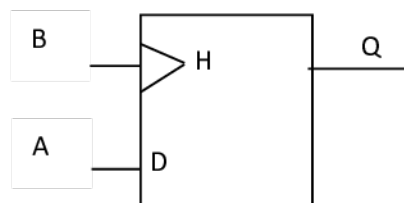
Question 16. Au vu de l'étude effectuée, conclure en indiquant quels sont les avantages et les inconvénients dus à l'utilisation d'un contrepoids.

Inconvénients	Avantages
Chaîne cinématique moins simple, coûts total et de maintenance élevés par rapport à une solution sans contrepoids	Couples de maintien et de démarrage très inférieurs à une solution sans contrepoids
	Contraintes thermiques de la machine électrique moins élevées qu'avec une solution sans contrepoids

Question 17. Représenter les signaux A et B en montée puis en descente du chariot. Proposer un schéma électrique utilisant une bascule afin de générer un signal logique de niveau haut en montée et de niveau bas en descente du chariot tracteur.



Bascule D : B sur l'entrée d'horloge (front montant) et A sur l'entrée D.



Question 18. Les codeurs C1 et C2 ayant 1000 points par tour, calculer la résolution de déplacement δl obtenue et conclure par rapport à l'objectif.

$$\delta l = \frac{\phi \pi}{p} = \frac{2,764\pi}{1000} = 0,8683 \text{ cm} \quad \text{convient car inférieure à 1 cm.}$$

Question 19. Définir comment doit être configurée l'interface de comptage (en tâche rapide ou en tâche maître).

$$T_{\min} = 32 \frac{\pi \phi}{p \cdot V_{\max}} = 32 \frac{\pi \cdot 2,764}{1000 \cdot 3,5} = 79 \text{ ms}$$

$$T_{\text{Cmin}} < T_{\min} < T_{\text{Cmax}}$$

Conclusion : Il faut configurer l'interface en tâche rapide.

Question 20. Déterminer la distance maximale qui peut être codée dans le mot COMPT1. Vérifier que le seuil programmé drm_1 correspond bien à la distance de ralentissement prévue par le cahier des charges. Déterminer la valeur décimale de COMPT1 qui correspond au seuil programmé drd_0 .

La distance maximale qui peut être codée est de :

$$\delta l \times (2^{16} - 1) = 0,008683 \times (2^{16} - 1) = 569 \text{ m}$$

$$\text{drm}_1 = \$1580 = 5504_{(10)} \text{ soit } d_{01} - \frac{\text{drm}_1}{\delta l} = 67,79 - 5504 \times 0,008683 = 20 \text{ m} \approx d_{\max}$$

$$\text{COMPT1} = \frac{-d_{01} + d_{\max}}{\delta l} = \frac{-67,79 + 20}{0,008683} = -5503_{(10)}$$

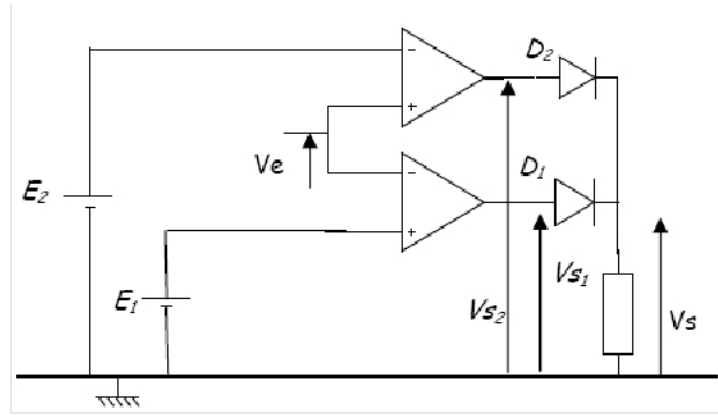
Conclusion : la distance de ralentissement est respectée.

Question 21. Déterminer la fréquence des signaux en sortie des codeurs lorsque $|n_{pm}| = 24,18 \text{ tr.min}^{-1}$. En déduire une solution simple permettant de détecter, à l'aide des codeurs, une survitesse du chariot en l'absence de glissement des câbles sur les poulies motrices.

$$f_{\max} = p n = 2481/60 = 41,35 \text{ Hz.}$$

Solution : détection de $f_{\max}$.

Question 22. Proposer un schéma électrique utilisant deux comparateurs simples afin de générer, à partir du signal analogique issu d'une génératrice tachymétrique, un signal logique de niveau haut lorsque $|n_{pm}| > 24,18 \text{ tr.min}^{-1}$ (indiquer précisément les seuils de basculement).



Les dynamo-tachymétriques délivrent 2,18 V lorsque les poulies motrices tournent à la vitesse maximale autorisée.

Donc : $E_2 = 2,18\text{V}$, $E_1 = -2,18\text{V}$

Question 23. Indiquer, notamment à l'aide des figures 6 et 7, l'ensemble des solutions technologiques qui permettent de limiter le risque de patinage des câbles sur les poulies motrices.

Rampe d'accélération, contrepoids, réducteur différentiel.

Question 24. Conclure sur cette partie en proposant une solution technologique assurant la détection de manière inconditionnelle d'une survitesse du chariot tracteur, y compris en cas de glissement des câbles sur les poulies.

Mesure de la vitesse du chariot, capteur incrémental linéaire sur les rails ou rotatif dans les roues.

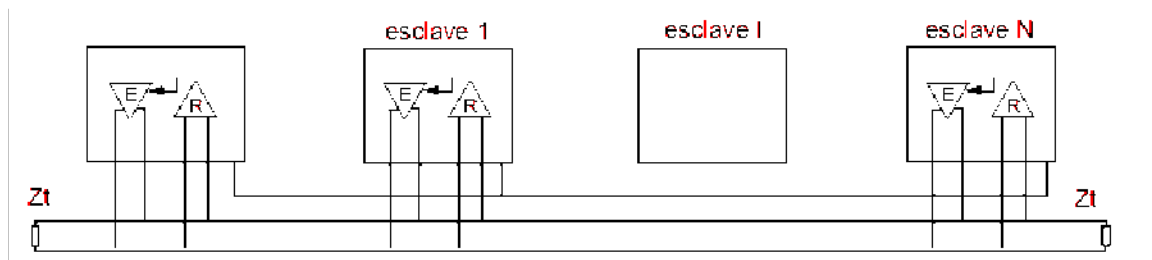
Question 25. Justifier brièvement l'utilisation d'une transmission en mode différentiel et d'une gestion de type maître-esclave.

Meilleure immunité au bruit.

Maître/esclave : l'esclave accède au support après sollicitation du maître.

Avantage : pas de conflit (collision), de plus on connaît la durée d'un cycle de scrutation d'un esclave (déterminisme temporel).

Question 26. Proposer, au vu de la topologie adoptée, un schéma de principe de l'interconnexion des différents équipements communicants (automates, variateurs, consoles de supervision) et justifier la nécessité de connecter à chaque extrémité du bus des impédances de terminaison.



Impédances de fin de ligne : adaptation d'impédance, évite la réflexion des signaux.

Question 27. Calculer la tension T dans chacun des câbles quand le chariot se situe au deuxième étage.

On isole l'ensemble {chariot + passagers}

L'inventaire des actions mécaniques à cet isolement donne :

- Le poids de l'ensemble
- La tension dans les 4 câbles
- La réaction de la structure sur les roues.

On applique le PFS en utilisant le théorème de la résultante statique en projection suivant l'axe de déplacement du chariot :

$$4T - (M_c + M_p)g \sin(\alpha_{12}) = 0$$

$$\text{Alors : } T = \frac{(M_c + M_p)g \sin(\alpha_{12})}{4}$$

$$\text{AN : } T = 49\,507 \text{ N}$$

Question 28. Calculer la variation de cette tension ΔT quand les cent dix passagers quittent les cabines.

Quand les passagers quittent $M_p = 0$ dans la formule précédente.

Donc la variation de la tension du câble lorsque les passagers quittent la cabine vaut :

$$\Delta T = T_{\text{avec_passagers}} - T_{\text{sans_passagers}}$$

$$\Delta T = \frac{(M_c + M_p)g \sin(\alpha_{12})}{4} - \frac{(M_c)g \sin(\alpha_{12})}{4}$$

$$\Delta T = \frac{M_p g \sin(\alpha_{12})}{4}$$

$$\text{AN : } \Delta T = 19\,449 \text{ N}$$

Question 29. Vérifier la résistance des câbles. Conclure quant à la résistance statique des câbles.

Résistance statique des câbles sollicités uniquement en traction :

$$\sigma_n = \frac{T_{c+p}}{S_{utile}}$$

$$\text{AN : } \sigma = 92 \text{ MPa}$$

Les câbles résistent car $92 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$.

Question 30. Calculer l'allongement du câble quand les passagers montent dans les cabines.

$$\text{Relation contrainte/déformation en traction : } \sigma_n = \frac{\Delta T}{S_u} = E \varepsilon = E \frac{\Delta L_c}{L_c}$$

$$\text{Alors : } \Delta L_c = \frac{\Delta T}{S_u} \cdot \frac{L_c}{E}$$

$$\text{AN : } \Delta L_{\text{câbles}} = 105 \text{ mm}$$

Question 31. Vérifier que la rotation de 5° de l'ensemble réducteur et machine à courant continu par le vérin d'isonivelage est suffisante.

$$\Delta L_c = R_p \theta_{adm}$$

$$\text{Donc : } \theta_{adm} = \frac{\Delta L_c}{R_p}$$

$$\text{AN : } \theta_{adm} = 4,3^\circ < 5^\circ$$

Le vérin d'isonivelage permet de compenser la variation de longueur des câbles du chariot tracteur.

Question 32. Indiquer brièvement, dans le contexte actuel de réduction des dépenses et de prises en compte croissante des enjeux énergétique et écologique si ce principe de traction semble adapté et intéressant pour le transport urbain, donner un ou plusieurs exemples (voir figure 15).

Aucun sens.

