

Concours ATS
épreuve de sciences industrielles
Génie électrique

L'usage de la calculatrice scientifique est autorisé.

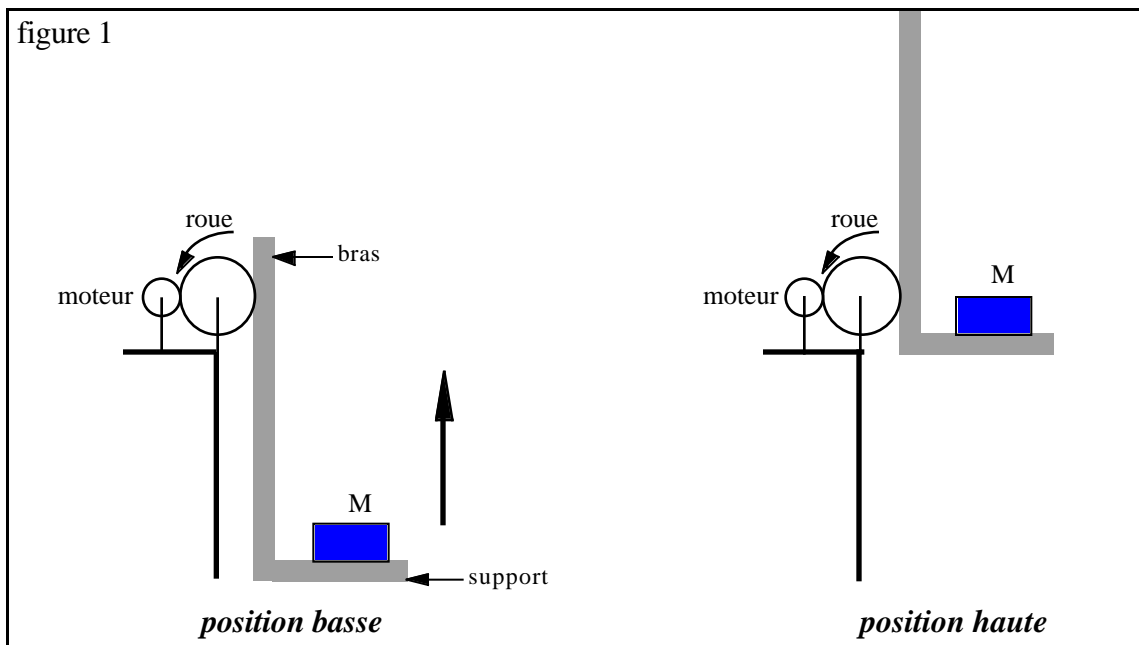
Avertissements :

- *le problème comporte deux parties indépendantes, elles-mêmes contenant de nombreuses questions indépendantes;*
- *il est vivement conseillé de lire la totalité de l'énoncé avant de commencer à composer;*
- *les notations devront être scrupuleusement respectées;*
- *les tracés de courbes sont à produire avec soin.*

Epreuve de Sciences Industrielles : Génie électrique

Description générale

Ce problème a pour objet l'étude d'un entraînement linéaire de chariot élévateur motorisé par une machine à courant continu pilotée par un hacheur. Ce système est représenté sur la figure 1.

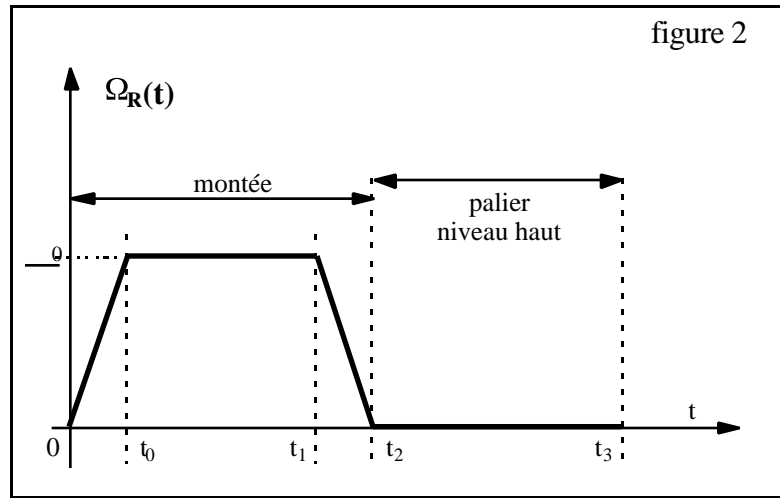


On ne s'intéresse qu'à la partie mobile et à son déplacement linéaire entre deux positions extrêmes bien précises : la position « basse » et la position « haute ». La masse véhiculée est constante et vaut M . L'équipage mobile, bras et support, est supposé de masse négligeable devant M . Le moteur alimente la roue d'entraînement par le biais d'un réducteur parfait (rendement unitaire) de coefficient de réduction en vitesse noté λ . La roue entraîne ensuite le bras par un système de crémaillère supposé parfait. La roue principale est de rayon R ; sa vitesse angulaire de rotation sera notée ω_R , la vitesse angulaire de rotation du moteur étant notée ω_m ($\omega_m = \lambda \cdot \omega_R$).

On note J_R le moment d'inertie de la roue principale et J_m celui de la partie tournante du moteur. On désignera par f le coefficient de frottement visqueux sur l'arbre moteur et l'on négligera tout autre frottement dans la chaîne cinématique (notamment au niveau du contact roue-bras).

La machine à courant continu sera supposée parfaitement compensée, à excitation indépendante et constante. Le bobinage d'induit est de résistance constante notée r , son inductance étant négligée. La force électromotrice sera notée E et le coefficient de vitesse k : $E = k \cdot \omega_m$. Le couple moteur est noté C_m et le courant d'induit i .

Les variations de la vitesse de la roue suivent le graphique de la figure 2.



A. Etude électrocinétique

Dans cette partie, on s'intéresse au fonctionnement du chariot décrit par une montée de la masse M suivie d'une stabilisation pendant une durée fixe (palier au niveau haut).

A.1. Equations du mouvement.

On rappelle qu'un couple s'exerçant sur un axe de rotation est de signe positif, par rapport au sens de rotation, s'il est moteur et négatif s'il est résistant.

A.1.1. Donner l'expression algébrique du couple de charge noté c_c que doit vaincre le chariot lors de la montée en fonction de M , R et de l'accélération de la pesanteur notée g .

A.1.2. Compte tenu du réducteur, déterminer l'expression du couple c_R fourni par la roue au chariot en fonction du couple moteur c_m et du coefficient k .

A.1.3. Rappeler l'expression du couple moteur c_m en fonction du courant d'induit i .

A.1.4. Déterminer l'expression du moment d'inertie global ramené sur l'axe moteur, noté J , en fonction de J_m , J_R et k .

A.1.5. En déduire l'équation différentielle décrivant la rotation de l'axe moteur pendant le mouvement en utilisant uniquement les variables θ et i ainsi que les paramètres du système.

A.1.6. Donner ensuite l'équation régnant la phase de maintien en position haute.

A.2. Evolution du couple moteur.

On s'intéresse à la variation du couple moteur $c_m(t)$ lors du fonctionnement décrit précédemment. Les expressions demandées de $c_m(t)$ devront être formulées en fonction des paramètres R , M , g , J , f , θ_0 , t_0 et du temps t .

A.2.1. Déterminer l'expression $c_m(t)$ du couple moteur entre les instants 0 et t_0 .

A.2.2. Déterminer de la même façon l'expression du couple $c_m(t)$ entre les instants t_0 et t_1 où la roue tourne à vitesse constante.

A.2.3. Déterminer ensuite l'expression $c_m(t)$ du couple moteur entre les instants t_1 et t_2 .

A.2.4. Donner enfin l'expression du couple (t) pendant la phase de maintien (t_2 à t_3).

A.2.5. Tracer l'une au-dessous de l'autre l'allure de l'évolution du couple (t) et celle de la vitesse angulaire (t) sur l'intervalle de temps $[0, t_3]$.

A.2.6. Tracer dans le plan $[,]$ l'évolution du point de fonctionnement du moteur sur ce même intervalle de temps en indiquant le sens de parcours (le couple sera choisi en abscisse, la vitesse en ordonnée).

A.3. Bilan de puissance.

A.3.1. Rappeler l'expression de la tension u aux bornes de l'induit en fonction du courant i et de la vitesse angulaire (on utilise bien sûr une convention « récepteur électrique »).

A.3.2. Tracer l'allure de cette tension lors du fonctionnement en tenant compte du fait que la chute ohmique est toujours très faible devant la force électromotrice, mais cependant non négligeable.

A.3.3. Comment pourrait-on calculer la puissance moyenne P_J perdue par effet Joule dans le moteur durant cette phase ? On ne fera pas le calcul...

A.3.4. Comment pourrait-on calculer la puissance moyenne P_m fournie par le moteur à la roue, et donc au chariot ? Quel serait son signe ? On ne fera pas le calcul...

A.3.5. Donner l'expression du rendement du dispositif en fonction de ces deux puissances P_J et P_m .

B. Asservissement de vitesse du moteur.

Afin de maintenir la vitesse du moteur suivant la loi décrite sur la figure 2, il est nécessaire d'asservir la vitesse réelle, toujours notée v , à une consigne, notée v_e . Pour cela, on utilise un capteur de vitesse délivrant une tension « image » de la vitesse suivant la relation : $v_T = k_T v$. On construit également une tension de référence, notée v_e , « image » de cette vitesse v_e , par une loi de même coefficient : $v_e = k_T v_e$. On asservit alors la tension de sortie v_T à la tension d'entrée v_e .

La machine est pilotée par un hacheur dont la tension de sortie, c'est à dire la tension u aux bornes de l'induit du moteur, est proportionnelle à une tension de commande v : $u = A.v$.

Dans cette partie, on considère que le couple moteur doit uniquement vaincre les frottements visqueux de coefficient f , le moment d'inertie ramené sur l'axe moteur étant noté J , le couple de charge γ_c étant négligé.

B.1. Modélisation du système.

B.1.1. Ecrire le système de deux équations auxquelles satisfont les variables v et i . Ces équations feront également apparaître la tension d'induit u qui est la grandeur de commande et les différents paramètres J , f , r et k .

B.1.2. En déduire la fonction de transfert $M(p)$ reliant les transformées de Laplace de la tension u , notée $U(p)$, et de la vitesse v , notée $V(p)$: $M(p) = V(p) / U(p)$.

B.1.3. Déterminer l'expression de la constante de temps τ_m caractéristique de cette fonction de transfert. Quelle est son origine ?

B.1.4. Dessiner le schéma-bloc de cet asservissement ayant pour entrée de consigne

B.1.5. Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p)$ de ce système, mise sous la forme : $T(p) = \frac{T_0}{1 + \tau \cdot p}$. On exprimera T_0 et τ en fonction des différents paramètres.

Expérimentalement, on mesure $T_0 = 1,25$ et $\tau = 0,01$ s (valeurs numériques conservées dans toute la suite du problème). On rappelle que, par définition, l'« erreur » représente la différence entre l'entrée et la sortie du système bouclé (retour unitaire).

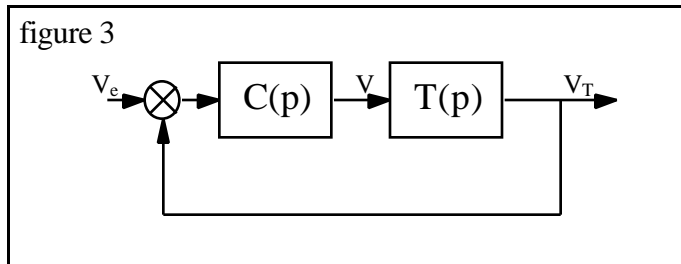
B.1.6. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée, notée $H(p)$, mise sous la forme : $H(p) = \frac{H_0}{1 + \tau_f \cdot p}$. On donnera les expressions du gain statique H_0 en boucle fermée ainsi que la constante de temps en boucle fermée τ_f . Effectuer l'application numérique.

B.1.7. Calculer numériquement l'erreur statique e_0 (mesurée en régime permanent) du système bouclé lors d'un échelon de tension d'amplitude $V_0 = 10$ V.

B.1.8. Que vaut l'erreur de traînage e_1 , erreur mesurée lors d'une entrée en forme de rampe dont la pente vaut $W = dv/dt$?

B.2. Correction de l'asservissement.

Afin de réduire considérablement les erreurs calculées précédemment, on insère un correcteur de fonction de transfert $C(p)$ dans le système comme l'indique la figure 3.



On choisit comme correcteur : $C(p) = K_c \cdot \frac{1 + \tau_c \cdot p}{p}$.

B.2.1. Tracer le diagramme de Bode asymptotique (module et phase) de ce correcteur. On précisera les différents points remarquables en fonction des paramètres τ_c et K_c .

B.2.2. Calculer la nouvelle erreur statique e_0 à la réponse à un échelon.

B.2.3. Déterminer l'expression de l'erreur de traînage e_1 calculée lors d'une entrée en forme de rampe de pente $W = dv/dt$. On exprimera cette erreur en fonction de W , T_0 et K_c .

B.2.4. La pente maximale de la rampe du signal d'entrée vaut : $W_{max} = 20$ V.s⁻¹. Calculer la valeur numérique à donner à K_c pour que l'erreur de traînage ne dépasse pas $e_{1,max} = 0,1$ V.

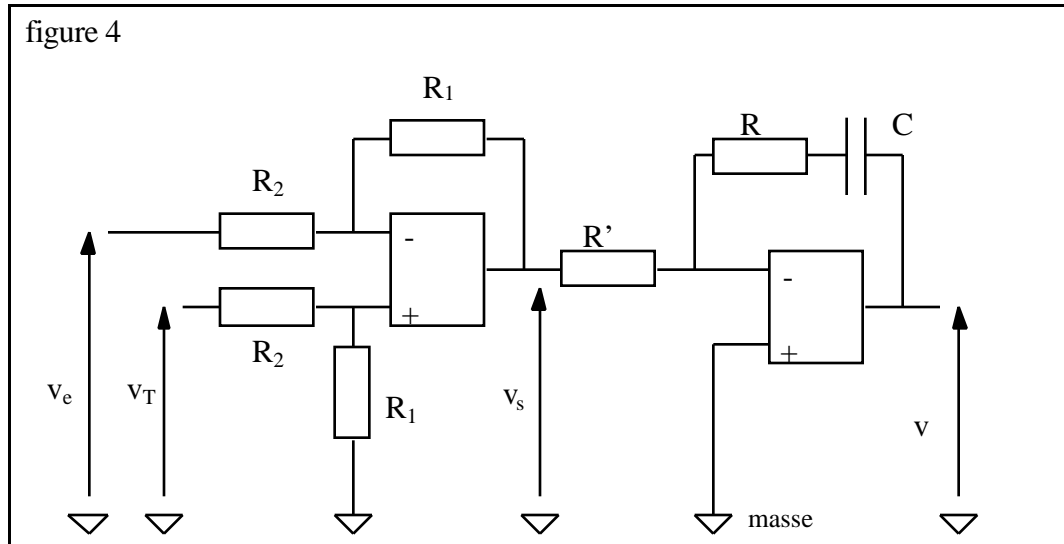
B.2.5. Quelle valeur doit-on donner à τ_c pour obtenir une fonction de transfert du système corrigé en boucle fermée qui soit du premier ordre ?

B.2.6. Calculer alors la bande passante à -3dB (en boucle fermée) de l'asservissement ainsi corrigé.

B.2.7. Comment faudrait-il modifier la structure du correcteur de la façon la plus simple pour annuler l'erreur de traînage ?

B.3. Réalisation du correcteur.

Pour réaliser le correcteur précédent, on utilise un montage à amplificateurs opérationnels (supposés parfaits) comme l'indique la figure 4.



B.3.1. Quelle relation doivent vérifier R_1 et R_2 pour obtenir $v_s = v_T - v_e$?

B.3.2. En utilisant le formalisme de Laplace, déterminer la relation reliant $V(p)$, transformée de Laplace de $v(t)$, et $V_s(p)$, transformée de Laplace de $v_s(t)$.

On choisit $C = 100 \text{ nF}$ dans toute la suite.

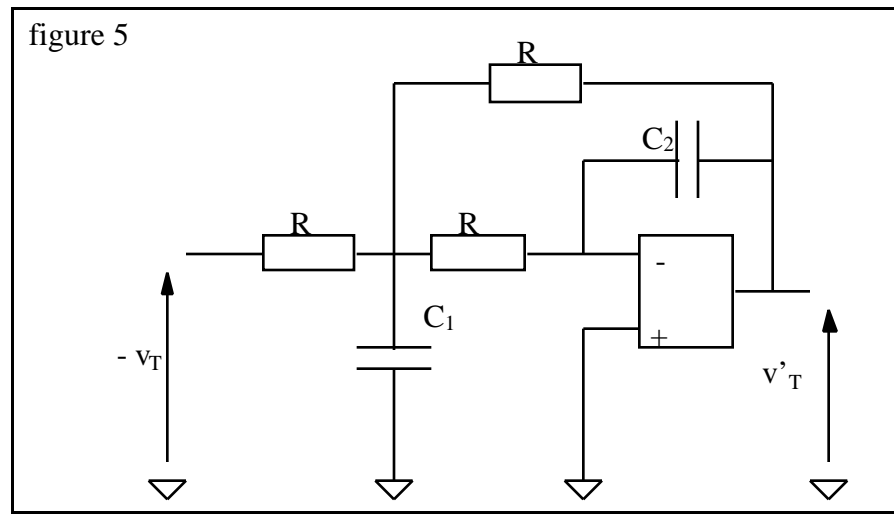
B.3.3. Déterminer les valeurs numériques de R et R' pour obtenir les valeurs suivantes des paramètres du correcteur : $\tau_c = 0,01 \text{ s}$ et $K_c = 190 \text{ s}^{-1}$.

B.4. Filtrage du capteur de vitesse.

La génératrice tachymétrique servant de capteur de vitesse délivre un signal très bruité : il est nécessaire de le filtrer au moyen d'un filtre passe-bas. Ce filtre est du second ordre, de fréquence de coupure à -3dB notée f_0 .

B.4.1. Quelle condition doit remplir f_0 pour que la modélisation faite précédemment reste valable ?

B.4.2. Montrer que le montage donné sur la figure 5 permet de réaliser la fonction souhaitée.



B.4.3. Quelle valeur doit-on donner au coefficient d'amortissement de ce filtre pour que sa fréquence propre soit égale à sa fréquence de coupure à -3dB ?

B.4.4. En n'utilisant que des résistances de valeur $R = 4,7 \text{ k}$, compte tenu du résultat de la question précédente, déterminer les valeurs numériques des éléments réactifs du montage permettant d'obtenir $f_0 = 2,26 \text{ kHz}$ sans résonance.

Commentaires du jury de génie électrique

Le problème proposé portait sur l'étude d'un chariot élévateur simplifié. Les deux parties indépendantes abordaient successivement la modélisation du système puis l'analyse d'un asservissement de vitesse.

Dans la première partie, il faut noter le nombre important de candidats qui semblent déroutés à l'écriture d'une simple équation différentielle.

C'est ainsi qu'environ 40 % des candidats abordent correctement la première question (A.1.1. à A.1.3.) mais seulement 10 % arrivent à trouver l'équation du mouvement (A.1.4. à A.1.6.).

La deuxième question n'a, quant à elle, été correctement traitée que par une minorité de candidats (moins de 10 %) alors que la description du mouvement dans le plan (couple, vitesse) permettait de bien comprendre le fonctionnement.

La troisième et dernière question de cette première partie a été abordée par beaucoup de candidats (environ 50 %) mais peu d'entre eux arrivent à déterminer une expression correcte de la puissance mécanique et donc du rendement (A.3.4. à A.3.5.).

Pour conclure sur cette première partie assez « formelle », les candidats devraient s'attacher à exposer clairement les équations fondamentales avant d'entamer de longs calculs souvent inutiles.

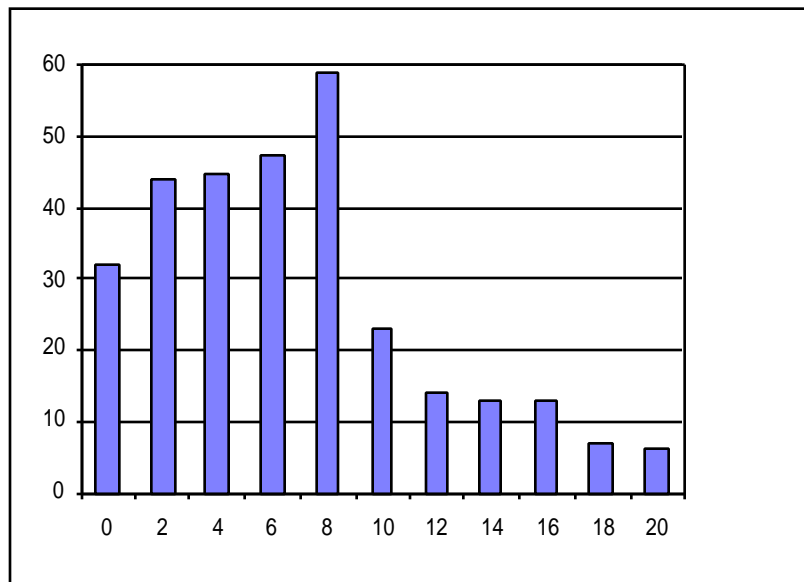
La deuxième partie abordait l'asservissement de vitesse analogique et se décomposait elle-même en quatre grandes questions relativement indépendantes. La première question avait pour objet de modéliser le système à étudier moyennant certaines hypothèses simplificatrices. Il faut malheureusement constater que seulement 16 % des candidats arrivent correctement à donner l'expression de $M(p)$ (question B.1.2.). Des confusions sont souvent faites entre les grandeurs temporelles et leur transformées de Laplace ou de Fourier, ces confusions se retrouvant sur le tracé du schéma-bloc (B.1.4.). Le passage de la boucle ouverte à la boucle fermée (B.1.5. à B.1.6.) est assez bien maîtrisé alors que la détermination de l'erreur statique l'est beaucoup moins (moins de 5 % de bonnes réponses à la question B.1.7.).

Dans la deuxième question, à l'exception du diagramme de Bode tracé correctement par environ 20 % des candidats (B.2.1.), les différentes questions posées ont été très peu abordées et souvent mal

En conséquence, quelques candidats arrivent à proposer une structure de correcteur annulant l'erreur de traînage (B.2.7). Les questions 3 et 4 de cette deuxième partie ont semble-t-il « rassuré » les candidats car elles portaient sur des montages à amplificateur opérationnel. Elles ont été traitées assez convenablement dans l'ensemble, tout du moins dans leur début. Les mécanismes de calculs des fonctions de transfert associées semblent assez bien maîtrisés puisque 75 % des candidats donnent le bon résultat à la question B.3.1. puis 50 % à la question B.3.2., seuls 40 % arrivant à traiter complètement cette question (B.3.1. à B.3.3.). La dernière question est souvent bien abordée (20 % de bonnes réponses à la question B.4.2.) mais peu de candidats connaissent ou savent retrouver les propriétés principales de la structure étudiée.

De manière générale, l'indépendance de nombreuses questions a permis à beaucoup de candidats de « grappiller » quelques points. Les meilleures copies correspondent à des candidats qui ont su clairement exposer leurs résultats tout en sachant mener à terme les calculs.

L'histogramme suivant donne la répartition des notes obtenues à cette épreuve :



Le tableau suivant résume les pourcentages de bonnes réponses par question :

	A	A	A	B	B	B	B
1	2	3	1	2	3	4	B
	3	6	1	1	6	5	1
	8 %	%	7 %	1 %	%	0 %	2 %

Epreuve orale de génie électrique

L'épreuve orale de génie électrique était organisée en 30 minutes de préparation et 30 minutes d'interrogation. Les sujets permettaient d'aborder un ou plusieurs domaines faisant partie du tronc commun, avec des extensions possibles vers le programme complémentaire d'enseignements en génie électrique. Un trop grand nombre de candidats ont eu des difficultés à résoudre des problèmes simples, en raison de lacunes dans les notions de base.