Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Concours d'inspecteur de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes du 7 janvier 2020

Concours externe dominante scientifique

EPREUVE N° 2 : Option C→ Physique

Résolution de problèmes et/ou cas pratiques

(Durée 3 heures - coefficient 1)

L'utilisation de la calculatrice est interdite

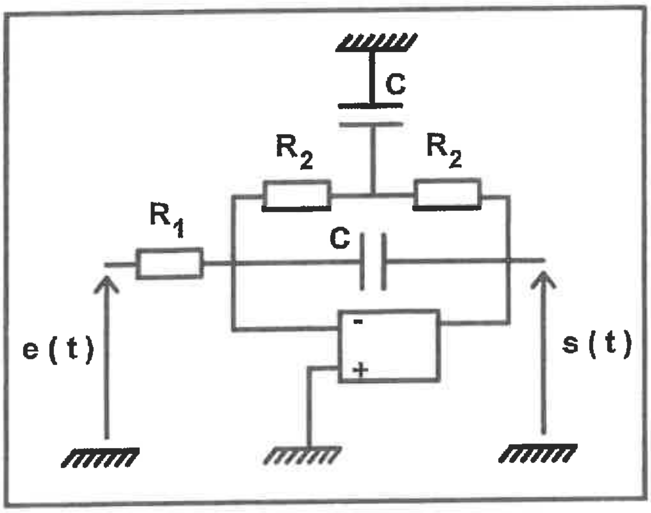
MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
ET DES FINANCES

L'usage de la calculatrice (ainsi que de tout dispositif électronique) est interdit.

Le candidat traitera les 3 problèmes indépendants.

PB 1 : Filtre actif

On considère le montage suivant, dans lequel l'amplificateur opérationnel, supposé idéal, fonctionne linéairement. On définit la constante $\omega_0 = \dfrac{1}{R_2 C}$; on prendra les valeurs numériques $C = 10\,nF$, $R_1 = 1\,k\Omega$ et $R_2 = 10\,k\Omega$.



On note V_N le potentiel du nœud associant les deux conducteurs ohmiques de résistance R_2 et un condensateur de capacité C.

1) En régime sinusoïdal forcé, à la pulsation ω, montrer que les grandeurs complexes $\underline{V_N}$ et $\underline{s}$ (associées respectivement à $V_N(t)$ et $s(t)$) vérifient la relation $\dfrac{\underline{V_N}}{\underline{s}} = \dfrac{1}{2+jx}$ (avec $x = \dfrac{\omega}{\omega_0}$).
2) En déduire que la fonction de transfert du filtre, en sortie à vide, est donnée par l'expression $\underline{H} = \dfrac{\underline{s}}{\underline{e}} = k\,\dfrac{2+jx}{1-x^2+2jx}$. On exprimera la constante réelle k en fonction uniquement des résistances R_1 et R_2.
3) Que dire du comportement de ce filtre dans la limite des basses fréquences, puis dans celle des hautes fréquences ?

L'équation différentielle reliant la tension d'entrée, notée $e(t)$, à la tension en sortie à vide, notée $s(t)$, est de la forme $\dfrac{d^2s}{dt^2} + 2\,\omega_0\dfrac{ds}{dt} + \omega_0^{\,2}\, s = A\dfrac{de}{dt} + B\,e$ (avec A et B deux constantes réelles).

4) Quel est l'ordre de ce filtre ?
5) Exprimer la constante B en fonction de k.

La tension d'entrée étant désormais un signal créneau symétrique, d'amplitude crête à crête $2V_0 = 1V$, de fréquence $f = 120\,Hz$ et de valeur moyenne nulle, on constate que la tension de sortie est un signal commutant entre deux paliers opposés, de tensions notées $+W_0$ et $-W_0$ $(W_0 > 0)$.

6) Déterminer la valeur moyenne du signal de sortie.
7) Déterminer la valeur numérique de W_0.

Afin d'étudier précisément les commutations observées, on adopte désormais la démarche consistant à étudier la réponse à un échelon. On pose donc les notations suivantes :

	Instants strictement négatifs	Instants strictement positifs
e	- V0	+ V0
s	W0	

8) Vérifier que, dans ce cadre, le signal de sortie est donné, par l'expression $s(t) = -W_0\left[1-(\omega_0 t+2)\exp(-\omega_0 t)\right]$.
9) Les commutations observées sont elles instantanées ?
10) Tracer, sur le même graphe, l'allure des fonctions $e(t)$ et $s(t)$.

PB 2 : Conducteur thermique

Un milieu matériel solide occupe le volume compris entre deux sphères, de même centre O, de rayons r_1 et $r_2 > r_1$, notées respectivement (S_1) et (S_2). On note λ, c et μ la conductivité thermique, la capacité thermique massique à volume constant et la masse volumique de ce milieu (supposées constantes). Le système étudié est en contact, à travers (S_1), avec un thermostat à la température T_1 et à travers (S_2), avec un thermostat à la température $T_2 > T_1$. Le régime permanent est établi : en tout point M du système, la densité volumique de flux thermique est donnée par une expression de la forme $\overrightarrow{j_{TH}}(M) = \frac{K}{r^2}\vec{u}$ avec K une constante

$(r = \left\|\overrightarrow{OM}\right\| \in [r_1, r_2], \vec{u} = \frac{\overrightarrow{OM}}{r})$.

1) Justifier l'expression de $\overrightarrow{j_{TH}}(M)$.
2) Montrer que le profil de température est donné par une expression de la forme $T(M) = A + \frac{B}{r}$. Déterminer les signes des constantes A et B.
3) Tracer l'allure du graphe de $T(M) = T(r)$, pour tout $r \in [r_1, r_2]$.

On interrompt brutalement le contact entre le système et le thermostat à T_2, le contact thermique avec l'autre thermostat étant maintenu.

4) Décrire l'état final du système.

5) On note S_R l'entropie reçue par le système lors de la transformation qu'il subit.
Justifier l'expression $S_R = 4\Pi c\,\mu \int_{r_1}^{r_2} \left[1 - \frac{T(r)}{T_1}\right] r^2\, dr$.

6) On note ΔS la variation d'entropie du système lors de la transformation qu'il subit.
Exprimer, de même, ΔS à l'aide d'une intégrale sur $[r_1, r_2]$.

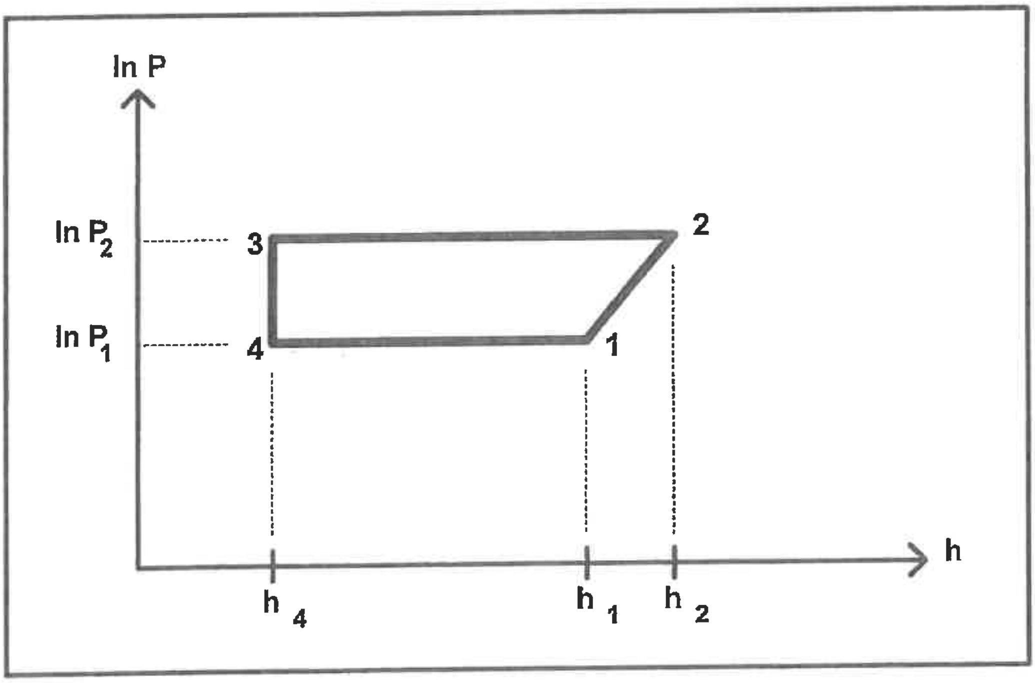
7) Quel est le signe de la différence $\Delta S - S_R$? La transformation imposée au système est-elle réversible ?

PB 3 : Cycle frigorifique

Un système fermé, constitué d'un fluide en écoulement permanent, décrit un cycle frigorifique. Lors de celui-ci, le fluide reçoit un transfert thermique massique de la part d'une source chaude à la température T_3, noté q_C (négatif), un transfert thermique massique de la part d'une source froide à la température T_1, noté q_F. Il reçoit également un travail massique noté w.

1) Quels sont les signes de q_F et w ?
2) Définir l'efficacité de ce cycle, notée e. Montrer que, dans le cas d'un cycle réversible, celle-ci serait donnée par le rapport $e = e_{REV} = \frac{T_1}{T_3 - T_1}$.

Le cycle décrit par le fluide (corps pur) est représenté ci-dessous, dans un diagramme montrant la pression (en échelle logarithmique) en fonction de l'enthalpie massique (noter que la portion 1 2 n'est pas forcément un segment).



Le cycle résulte de la succession de quatre phases : le fluide (totalement gazeux) traverse un compresseur (processus supposé adiabatique et réversible, la température de sortie est notée T_2) ; le fluide traverse ensuite un condenseur (processus isobare à la pression P_2) en sortie duquel il est totalement en phase liquide ; le fluide traverse ensuite un détendeur calorifugé (la pression de sortie est P_1) ; le fluide traverse enfin un évaporateur (processus isotherme et isobare) dont il sort totalement vaporisé.

3) Parmi les points numérotés de 1 à 4, quels sont ceux qui appartiennent à la courbe de saturation du corps pur utilisé ?
4) La pression du point critique étant strictement supérieure à P_2, donner l'allure de la courbe de saturation (recopier le diagramme précédent).
5) Le cycle possède-t-il d'autres points d'intersection avec la courbe de saturation que ceux identifiés à la question 3 ? Si oui, que se passe-t-il précisément en ces points ?
6) Justifier la relation $q_C = h_4 - h_2$.
7) Exprimer l'efficacité du cycle frigorifique, notée e, en fonction de h_1, h_2 et h_4. L'évaluer numériquement à l'aide du diagramme.
8) Parmi les étapes successives constituant le cycle, quelles sont celles qui causent l'irréversibilité de celui-ci ?