

Q19. À partir de l'étude qualitative, on obtient $G_0 = \frac{V_s}{V_e}(\omega = 0) = -\frac{R_2}{R_1}$

Partie I – Détection synchrone CCINP PSI 2023

Q16. Système = {voiturette}

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : poids (force conservative)
 Réaction normale qui ne travaille pas
 Pas de réaction tangentielle car frottements négligés

L'utilisation du théorème de l'énergie mécanique conduit à la conservation de l'énergie mécanique, d'où entre le haut (A) et le bas (B) de la piste inclinée, on obtient :

$$E_m(A) = E_m(B) \Leftrightarrow E_c(A) + E_{pp}(A) = E_c(B) + E_{pp}(B)$$

Or voiturette sans vitesse initiale $v_B = 0$, d'où : $E_c(A) = 0$ et $E_{pp}(B) = 0$

Conclusion : $mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 \Leftrightarrow v_B = \sqrt{2gh}$

L'énergie potentielle de pesanteur est intégralement convertie en énergie cinétique.

AN : $v_B = \sqrt{2 \times 10 \times 0,5} = \sqrt{10} \Leftrightarrow v_B \approx 3 \text{ m.s}^{-1}$

Q17. À température ambiante, la vitesse de propagation des ondes sonores est de l'ordre de $c_0 = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

D'après la relation de l'énoncé, on a :

$$f_R = \left(1 - 2 \frac{v}{c_0}\right) f_E = \left(1 - 2 \frac{3}{340}\right) \times 40.10^3 \approx (1 - 2 \cdot 10^{-2}) \times 40.10^3 = 0,98 \times 40.10^3$$

Ce qui donne une fréquence à la réception très proche de celle d'émission, c'est-à-dire de l'ordre de 40 kHz.

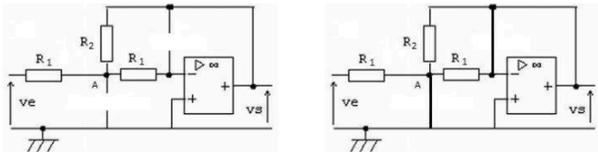
L'écart relatif entre f_R et f_E vaut : $\frac{|f_R - f_E|}{f_E} = 2 \frac{v}{c_0} \approx 2 \cdot 10^{-2} = 2 \%$

L'écart relatif entre ces deux fréquences est inférieur à 20 %, par conséquent elles ne peuvent être directement distinguées à l'oscilloscope. Il est donc nécessaire d'utiliser le montage à détection synchrone.

Q18

Pour déterminer la nature du filtre sans calcul, nous remplaçons dans le montage les condensateurs par leurs équivalents à basse et haute fréquence :

— Basse fréquence ($f \ll f_0$) : les condensateurs sont remplacés par des interrupteurs ouverts (figure de gauche).



On a alors, en supposant les courants de polarisation nuls (ALI parfait)

$$\frac{V_c - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_s}{R_2} \Rightarrow V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_c$$

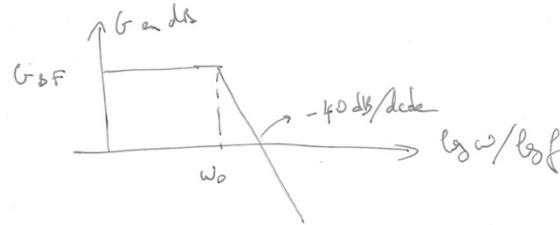
— Haute fréquence ($f \gg f_0$) : les condensateurs sont remplacés par des fils (figure de droite). On a : $V_s = V^- = V^+ = 0$ (ALI idéal en régime linéaire).

Le filtre laisse passer les signaux de basse fréquence mais coupe les signaux de haute fréquence : c'est un filtre passe-bas.

En faisant tendre ω vers 0 et vers $+\infty$ dans les fonctions de transfert H_1 et H_2 , on remarque que H_1 est la fonction de transfert d'un filtre passe bas de gain statique G_0 et H_2 celle d'un filtre passe-haut.

Le montage (le bon, pas celui de l'énoncé) correspond à la fonction de transfert H_1 .

220 - Allure du diag. de Bode



droites asymptotiques

$\bullet BF = \omega/\omega_0 \ll 1$

$H_{BF} \approx G_0$

$G_{BF} = 20 \log G_0$

$\bullet HF : \omega/\omega_0 \gg 1$

$H_{HF} \approx \frac{G_0}{(\omega/\omega_0)^2} \rightarrow G_{HF} = 20 \log G_0 - 40 \log(\omega/\omega_0)$

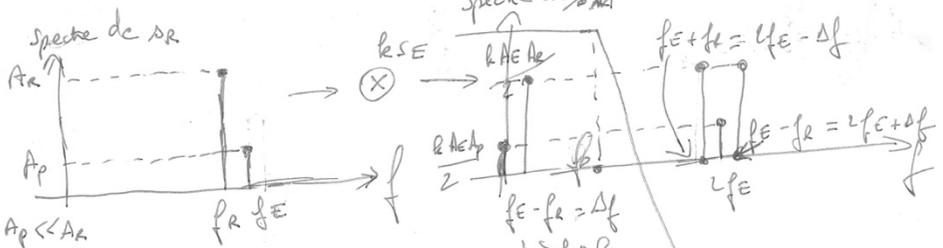
Intersection $\Rightarrow G_{BF} = G_{HF} \Rightarrow \omega/\omega_0 = 1 \rightarrow \omega = \omega_0$

220 bis - $S_R = A_R \cos(\omega(f_E)t) + A_p \cos(2\omega(f_E)t) \rightarrow$ on pourrait introduire un déphasage dû à la propagation.

$S_E = A_E \cos(\omega(f_E)t) \rightarrow$ en phase

$s_m = k S_E S_R = k A_R A_E \cos(\omega(f_E)t) \cos(\omega(f_E)t) + k A_p A_E \cos(\omega(f_E)t) \cos(2\omega(f_E)t)$

$= \frac{k A_E}{2} [A_R \cos(\omega(f_E - f_R)t) + A_R \cos(\omega(f_E + f_R)t) + A_p + A_p \cos(\omega(2f_E)t)]$



Contraintes du filtre PB : conserver la fréquence utile $f_E - f_R$ = Δf et supprimer les hts felq. au lieu de $2f_E$ sûr

$f_E - f_R = \Delta f < f_0 \ll 2f_E \rightarrow f_E/c_0 < f_0 \ll 2f_E$

Avec $|v/c_0| \approx 10^{-2} \rightarrow f_0 = 10 f_E/c_0$ convient par exemple!

Q21. Mesurons la fréquence des signaux sur l'oscillogramme. La période est de 5 ms donc la fréquence est $f = \frac{1}{T} = 200$ Hz.

On lit en page 5 de l'énoncé que la fréquence de résonance des transducteurs piézoélectriques est de 40 kHz. On en déduit que $f_E = 40$ kHz. Ainsi, $f_0 = 20 f_E \frac{v}{c_0} \simeq 7$ kHz.

On a $f \ll f_0$, ce qui confirme que l'essai est réalisé à "basse fréquence".

On peut alors mesurer le rapport $\frac{V_s}{V_e}$. L'amplitude du signal d'entrée est de 100 mV et celle du signal de sortie 10 V. De plus, les signaux sont en opposition de phase. On a alors $\frac{V_s}{V_e} = -1,0 \cdot 10^2$.

$$\text{Or, } \frac{V_s}{V_e} = G_0 = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = -R_1 G_0 \text{ soit } R_2 = 100 \text{ k}\Omega.$$

Q22. Pour déterminer les expressions des tensions de sortie $s_1(t)$ et $s_2(t)$, il faut déterminer l'amplitude et la phase à l'origine de ces signaux grâce à la fonction de transfert. Les signaux de sortie auront la même pulsation que les signaux d'entrée (filtre linéaire).

$$1. \text{ Signal d'entrée } e_1(t) : \omega = \omega_0. \text{ On a alors } \underline{H}_1 = \frac{G_0}{2jm} = \frac{G_0}{j\sqrt{2}}.$$

L'amplitude du signal de sortie s'écrit alors : $S_{1,m} = |\underline{H}_1| E_{1,m} = \frac{|G_0|}{\sqrt{2}} E_{1,m} = \frac{R_2}{\sqrt{2} R_1} E_{01}$ (ce qui confirme bien que $\omega_0 = \omega_c$ avec le choix de la valeur de m).

$$\text{La phase à l'origine du signal de sortie s'écrit alors : } \varphi_{1,s} = \varphi_{1,e} + \arg(\underline{H}_1) = \frac{\pi}{2}$$

Finalement, on obtient

$$s_1(t) = \frac{R_2}{\sqrt{2} R_1} E_{01} \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{R_2}{\sqrt{2} R_1} E_{01} \sin(\omega_0 t)$$

$$2. \text{ Signal d'entrée } e_2(t) : \omega = 100\omega_0. \text{ On a alors } \underline{H}_1 \simeq \frac{G_0}{-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = -\frac{G_0}{10^4}.$$

$$\text{L'amplitude du signal de sortie s'écrit alors : } S_{2,m} = |\underline{H}_1| E_{2,m} = \frac{|G_0|}{10^4} E_{2,m} = \frac{R_2}{10^4 R_1} E_{02}.$$

$$\text{La phase à l'origine du signal de sortie s'écrit alors : } \varphi_{2,s} = \varphi_{2,e} + \arg(\underline{H}_1) = 0$$

Finalement, on obtient

$$s_2(t) = \frac{R_2}{10^4 R_1} E_{02} \cos(100\omega_0 t)$$

Q23. À la sortie du montage, on doit obtenir un signal de fréquence $f_E - f_R$ (avec une composante continue en présence d'obstacles fixes pour lesquels s_E et s_R ont la même fréquence).

On s'intéresse ici à la fréquence de la composante variable. La donnée de deux oscillogrammes n'est pas forcément intéressante et peut, au contraire, perturber les étudiants (on voit une sorte de "battement" dans l'oscillogramme 2 ...).

On utilise ici l'oscillogramme 3 et on mesure la fréquence du signal.

$$\text{On compte 7 carreaux pour 4 périodes donc } T = \frac{7}{4} \text{ ms puis } f = \frac{4}{7} \text{ kHz.}$$

$$\text{Enfin, } v = \frac{c_0 f}{2 f_E} \text{ donc } v = \frac{3,4 \cdot 10^2 \times 4 \cdot 10^3}{14 \times 4 \cdot 10^4} = \frac{3,4}{1,4} \simeq 2,5 \text{ m/s} \text{ On obtient bien l'ordre de grandeur prévu en } \mathbf{Q16}.$$

Partie II. CCINP 2016 PSI

Mesure des parties réelle et imaginaire de l'impédance d'une bobine à l'aide d'une détection synchrone

Étude du convertisseur courant-tension

Q17 – Loi des nœuds à l'entrée - de l'ALI : R_1 est parcourue par i car le courant d'entrée de l'ALI est nul. Loi d'Ohm aux bornes de R_1 : $-\varepsilon - u_A = R_1 i$. Fonction de transfert de l'ALI : $\underline{u}_A = K \underline{\varepsilon}$. Soit $\frac{\underline{u}_A}{\underline{i}} = -\frac{R_1 K_0}{1 + K_0} \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{(1+K_0)\omega_0}}$. En identifiant, $\omega_c = \omega_0(1 + K_0)$ et $G_0 = -\frac{R_1 K_0}{1 + K_0}$.

Avec $K_0 = 10^6$, $G_0 \approx -R_1$, $\omega_c = 2 \cdot 10^8 \text{ rad s}^{-1}$, soit $f_0 = 32 \text{ MHz}$, donc $f \ll f_0$ et $u_A(t) \approx -R_1 i(t)$.

Q18 – Intervertir les bornes revient à remplacer K_0 par $-K_0$. Sous l'hypothèse $K_0 \gg 1$, cela donne $\frac{\underline{u}_A}{\underline{i}} = -R_1 \frac{1}{1 - j \frac{\omega}{K_0 \omega_0}}$. L'équation différentielle associée est $u_A(t) - \frac{1}{K_0 \omega_0} \frac{du_A}{dt} = -R_1 i(t)$.

La solution générale de l'équation homogène est $u_A(t) = A \exp(K_0 \omega_0 t)$, donc une solution qui diverge : le système n'est pas stable.

Étude du circuit déphaseur

Q19 – $\left| \frac{1 - jx}{1 + jx} \right| = \sqrt{\frac{1 + x^2}{1 + x^2}} = 1$, la tension de sortie a même amplitude que celle d'entrée, la grandeur variable est donc la phase.

$\text{Arg}\left(\frac{1 - jx}{1 + jx}\right) = \text{Arg}(1 - jx) - \text{Arg}(1 + jx)$. Ces deux arguments sont opposés et donc

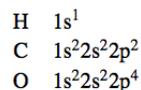
$$\text{Arg}\left(\frac{\underline{u}_D}{\underline{u}_A}\right) = 2 \text{Arg}(1 - jR_a C \omega) = \pm \frac{\pi}{2}. \text{ On a donc } R_a C \omega = 1 \text{ et la phase est de } -\frac{\pi}{2}.$$

A.N. $R_a = 36 \text{ k}\Omega$.

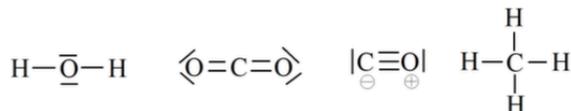
$$u_D = -R_1 I_0 \cos(\omega t - \varphi - \pi/2) = -R_1 I_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

Partie III. Thermokast CCINP MP 2022

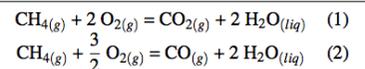
17. (a) Voici les configurations électroniques à l'état fondamental demandées :



Voici les schémas de Lewis demandés :



(b) On écrit les réactions de combustion complète et incomplète du méthane :



Remarque : L'énoncé ne le précise pas, mais vu les données thermodynamiques dont on dispose, on considère que l'eau formée est à l'état liquide.

(c) On utilise la loi de Hess, en sachant que l'enthalpie standard de formation de $\text{O}_2(\text{g})$ est nulle :

$$\Delta_r H_1^0 = \Delta_f H^0(\text{CO}_2(\text{g})) + 2\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{liq})) - \Delta_f H^0(\text{CH}_4(\text{g}))$$

$$\Delta_r H_2^0 = \Delta_f H^0(\text{CO}(\text{g})) + 2\Delta_f H^0(\text{H}_2\text{O}(\text{liq})) - \Delta_f H^0(\text{CH}_4(\text{g}))$$

$$\text{AN : } \Delta_r H_1^0 = -890,7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \text{ et } \Delta_r H_2^0 = -608,2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

(d) On cherche la quantité de matière de méthane contenue dans la bulle :

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{PV}{RT} \text{ avec } V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

L'énergie maximale libérée sera obtenue pour une combustion complète (1) et totale du méthane. Pour une combustion effectuée de manière isobare, le premier principe s'écrit :

$$\Delta H = n_{\text{CH}_4} \Delta_r H_1^0 = Q_p$$

$$\text{AN : } n = 1,2 \cdot 10^7 \text{ mol et } Q_p = -1,1 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

La quantité de matière de dioxygène nécessaire pour réaliser cette combustion vaut :

$$n_{\text{O}_2} = 2n_{\text{CH}_4}, \text{ soit une quantité de matière d'air } n_{\text{air}} = 5n_{\text{O}_2} = 10n_{\text{CH}_4}$$

On en déduit le volume d'air nécessaire :

$$V_{\text{air}} = \frac{n_{\text{air}} RT}{P}$$

$$\text{AN : } V_{\text{air}} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

(e) *Remarque : L'unité de la capacité thermique molaire de l'eau liquide est fautive, il faut lire $C_p' = 75 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.*

L'énoncé ne précise pas la température de vaporisation de l'eau sous 1 bar, on prendra $T_{\text{vap}} = 100^\circ\text{C}$.

L'unité de l'enthalpie molaire de vaporisation est fautive, il faut lire $L_{\text{vap}} = 40,8 \cdot 10^3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$. Cette grandeur dépend de la température, non précisée ici.

On cherche ici à calculer une température de flamme isobare adiabatique. On applique le premier principe au système constitué du méthane dans une bulle et du volume d'air nécessaire pour l'oxyder. La transformation étant isobare adiabatique, on trouve : $\Delta H = Q_p = 0$.

— A l'instant initial, le système est constitué de n moles de $\text{CH}_4(\text{g})$, $2n$ moles de $\text{O}_2(\text{g})$ et $8n$ moles de $\text{N}_2(\text{g})$ à la température $T_i = 27^\circ\text{C}$.

— A l'instant final, le système est constitué de $2n$ moles de $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, n moles de $\text{CO}_2(\text{g})$ et $8n$ moles de $\text{N}_2(\text{g})$ à la température T_f inconnue.

On utilise les propriétés de fonction d'état de l'enthalpie en calculer ses variations le long du chemin suivant :

— Étape (1) : combustion complète isotherme : $\Delta H_1 = n\Delta_r H_1^0$

— Étape (2) : changement de température et d'état pour les produits de la réaction :

$$\Delta H_2 = 9nC_p(T_f - T_i) + \Delta H_{\text{eau}}$$

On calcule la variation d'enthalpie de l'eau en décomposant la transformation en 3 étapes :

— Réchauffement de l'eau liquide jusqu'à la température de vaporisation $T_{\text{vap}} = 100^\circ\text{C}$:

$$\Delta H_{\text{eau},1} = 2nC_p'(T_{\text{vap}} - T_i)$$

— Vaporisation isotherme isobare de l'eau à $T_{\text{vap}} = 100^\circ\text{C}$: $\Delta H_{\text{eau},2} = 2nL_{\text{vap}}$

— Réchauffement de la vapeur d'eau jusqu'à la température finale T_f : $\Delta H_{\text{eau},3} = 2nC_p(T_f - T_{\text{vap}})$

On obtient alors :

$$0 = n\Delta_r H_1^0 + 9nC_p(T_f - T_i) + 2nC_p'(T_{\text{vap}} - T_i) + 2nL_{\text{vap}} + 2nC_p(T_f - T_{\text{vap}})$$

$$\text{soit } T_f = \frac{-\Delta_r H_1^0 + 9C_p T_i - 2C_p'(T_{\text{vap}} - T_i) - 2L_{\text{vap}} + 2C_p T_{\text{vap}}}{11C_p}$$

AN : $T_f = 3,8 \cdot 10^3 \text{ K}$: Cette température est bien supérieure à la température d'auto-inflammation des herbes sèches et brindilles, on en déduit que ces bulles de méthane produisent de violents incendies.

Partie IV – Production méthanol CCINP TSI 2022

On s'intéresse à $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ (1)

Q44. D'après la loi de Hess : $\Delta_r H_1^0 = \Delta_f H^0(\text{CH}_3\text{OH}) - \Delta_f H^0(\text{CO}) - 2\Delta_f H^0(\text{H}_2)$ soit $\Delta_r H_1^0 = -91 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q45. $\Delta_r H_1^0 < 0$, ce qui signifie que la réaction (1) est exothermique.

Q46. Le catalyseur joue sur la cinétique de la réaction sans modifier l'équation bilan : la réaction est alors plus rapide.

Q47. D'après la loi de modération de Le Chatelier, une augmentation de pression déplace l'équilibre dans le sens de la consommation des gaz soit ici dans le sens direct \rightarrow . D'après la loi de modération de Van't Hoff, une augmentation de température déplace l'équilibre dans le sens endothermique soit ici dans le sens indirect \leftarrow . En résumé, pour favoriser la réaction (1), il faut travailler à haute pression et faible température.

Q48. La réaction de combustion du méthanol s'écrit : $2\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (2).

Q49. Pour une mole de méthanol brûlée, on obtient 2 moles d'eau. Déterminons la quantité de matière n_m de méthanol contenue dans 5,0 L :

$$n_m = \frac{\rho_{\text{eau}} dV}{M_{\text{methanol}}} \text{ soit } n_m = \frac{1000 \times 0,8 \times 5}{32} = 125 \text{ mol}$$

On obtient donc 250 mol d'eau après combustion complète, soit $V = 4,5 \text{ L}$ d'eau liquide.

Q50. Déterminons $\Delta_r H_2^0$: on trouve $\Delta_r H_2^0 = -1454 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. La réaction totale correspond à un avancement $\xi_f = \frac{n_m}{2} = 62,5 \text{ mol}$. On en déduit l'énergie libérée par la combustion complète de 5,0 L de méthanol : $\Delta H = \Delta \xi \cdot \Delta_r H_2^0$, soit numériquement $\Delta H \approx -90,9 \text{ MJ}$.