

CORRECTION PHYSIQUE

EPREUVE A BANQUE PT 2018

Christophe Martineau PTSI Dumont d'Urville Caen

PARTIE I

I-1-a

Non car de fréquence supérieure à 20kHz.

I-1-b

Ces signaux sont harmoniques, on obtient en sortie le signal, selon la formule trigo et en prenant l'origine des temps de telle manière à avoir une phase nulle à l'origine pour le premier signal :

$$s(t) = \frac{S_0}{2} [\cos(2\pi(f_1 - f_2)t) - \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)]$$

Soit un signal présentant un spectre de deux fréquences : $f'_1 = 160,440kHz$ et $f'_2 = 440Hz$. Seule la fréquence f'_2 est audible.

I-2

Ce qui nous intéresse pour un instrument de musique est la fréquence audible. Donc il faut garder la fréquence de 440Hz, il faut donc un filtre passe-bas.

I-3-a

On a les relations $U_{C_0} = -L \frac{di}{dt} = \frac{q}{C}$ avec le condensateur en convention récepteur. Comme $\frac{di}{dt} = \ddot{q}$ on a donc :

$$U_{C_0} = -L_0 C_0 \frac{d^2 U_{C_0}}{dt^2}$$

soit

$$\frac{d^2 U_{C_0}}{dt^2} + \frac{1}{L_0 C_0} U_{C_0} = 0$$

I-3-b

La solution est de la forme

$$U_{C_0}(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

I-3-c

On a $2\pi f_2 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$ donc

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$$

I-4

On retrouve l'effet hétérodyne au niveau du "mélangeur" (qui est un mutliplieur) qui permet d'obtenir la fréquence "différence" qui est ensuite filtrée par le "filtre".

I-5-a

Placer 2 condensateurs en parallèle revient à sommer leurs capacités donc :

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0(C_0 + C_{hi})}}$$

I-5-b

Par analogie avec la question I-1-b le spectre est composé des fréquences f_1^+ et f_1^- :

$$f_1^+ = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0}} \frac{2C_0 + C_{hi}}{C_0(C_0 + C_{hi})}$$
$$f_1^- = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0}} \frac{C_{hi}}{C_0(C_0 + C_{hi})}$$

On peut choisir une fréquence de coupure au dessus de la fréquence audible la plus élevée 20kHz, soit une fréquence de coupure de 50kHz.

I-6-a

Pont diviseur de tension en RSF :

$$T(jf) = \frac{\frac{1}{2\pi C(jf)}}{R + \frac{1}{2\pi C(jf)}}$$

soit

$$T(jf) = \frac{1}{1 + 2\pi RC(jf)}$$

On a

$$T(jf_c) = \frac{1}{2} = \frac{1}{1 + 2\pi RC(jf)}$$

d'où

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

I-6-b

On a donc :

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c} = \frac{1}{2\pi 10^{-8} 50.10^3} = 320\Omega$$

I-7

On se place à 20 cm pour obtenir le La_3 . On a ensuite les 2 équations si l'on considère que x est une fonction affine de $\log(f)$:

$$x = a \log(f) + b$$

et

$$x - 12 = a(\log(f) + 0.3) + b$$

Ce qui donne :

$$x = -40 \log(f) + 20 + 40 \log(440)$$

I-8

Si on éloigne la main on rend le son plus grave. L'instrument couvre un peu plus de 5 octaves car $1760 = 55 \times 2^5$. On avance de 12cm pour doubler la fréquence et donc changer d'octave.

Partie II

II-A-1

Antenne de volume : addition de C_{h2} . Filtre passe bande : sélection de la fréquence utile autour de la fréquence du fondamental. Détecteur : détecteur de crête qui permet d'obtenir une tension quasi continue si le temps caractéristique de décharge du condensateur est suffisamment grand.

$$f' = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1(C_1 + C_{h2})}}$$

II-A-2-a

- Montage 1 : Passe bande
- Montage 2 : Passe bas
- Montage 3 : Passe haut
- Montage 4 : Passe bande

II-A-2-b

Adaptation d'impédance

II-A-3

La figure 9-c est un diagramme de passe-bande.

II-A-4-a

H_0 est le gain statique quand $f = 0$. Q est le facteur de qualité et f_0 est la fréquence de résonnance.

II-A-4-b

Les pulsations de coupure à -3dB vérifient $20 \log |H(jf_c)| = -3$ ce qui donne :

$$1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2 = 2$$

$$Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) = \pm 1$$

Qui se résoud en

$$f = \frac{\pm \frac{f_0}{Q} \pm \sqrt{\Delta}}{2}$$

d'où une bande passante à -3dB telle que $\Delta f' = \frac{f_0}{Q}$

II-A-5

On a la loi des noeuds en tension :

$$\frac{e}{R + \frac{1}{jC\omega}} + s(jC\omega + \frac{1}{R}) = 0$$

soit

$$H(jf) = -\frac{\frac{1}{2}}{1 + j\frac{1}{2} \left(\frac{f'}{f_0} - \frac{f_0}{f'} \right)}$$

avec $H_0 = -\frac{1}{2}$, $Q = 1/2$, $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$.

II-A-6

On fait l'approximation que la fréquence de résonance correspond à la moyenne des capacités $C_{moy} = \frac{C_m + C_M}{2}$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_m}} - \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_M}} = \frac{1}{Q} \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{moy}}}$$

donc

$$\frac{1}{Q} = \sqrt{C_{moy}} \left(\frac{1}{\sqrt{C_m} - \sqrt{C_M}} \right)$$

d'où

$$Q = \sqrt{\frac{2C_m C_M}{C_M + C_m}} (\sqrt{C_M} - \sqrt{C_m})$$

II-B-1-a

Par continuité de la tension aux bornes du condensateur on a $S(0) = 0$ donc D est passant. On le remplace par un fil.

II-B-1-b

On a $e(t) = S(t)$ et selon la loi des noeuds :

$$I(t) = \frac{e(t)}{R} + C \frac{de(t)}{dt}$$

II-A-2-c

Selon l'expression de $e(t)$:

$$I(t) = \frac{E_{max}}{R} \sin(2\pi f' t) + C E_{max} 2\pi f' \cos(2\pi f' t)$$

Ce qui donne lorsque $I = 0$:

$$\tan(2\pi f' \theta_1) = -RC 2\pi f'$$

donc si

$$\theta_1 = \frac{T'}{4}$$

on a

$$RC 2\pi f' = \tan\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

soit

$$RC \gg \frac{1}{f'}$$

.

II-B-2

On a alors la résistance et le condensateur en parallèle. On a

$$\frac{S(t)}{R} + C \frac{dS(t)}{dt} = 0$$

soit

$$\frac{dS(t)}{dt} + \frac{1}{RC} S(t) = 0$$

Qui admet pour solution :

$$S(t) = E_{max} e^{-\frac{t-\theta_1}{RC}}$$

II-B-3

On aura en régime permanent une valeur de $S(t)$ pratiquement constante à E_{max}

II-B-4

$$E_{max} = \frac{V_{max}|H_0|}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{f'}{f_0} - \frac{f_0}{f'}\right)^2}}$$

II-B-5-a

Lorsque la fréquence f' est proche de f_0 :

$$E_{max} = V_{max}|H_0|$$

II-B-5-b

$$S(f') = \frac{V_{max}H_0}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{f'}{f_0} - \frac{f_0}{f'}\right)^2}}$$

II-B-6

Il serait intéressant de placer un ALI en sortie pour avoir en effet une impédance de charge infinie.

Partie III

III-A-1-a

On lit $U_A = 125V$ et $R_C I_A = U_0 - U_A$ donc $R_C \approx 60k\Omega$.

III-A-1-b

On lit graphiquement $U_G \approx 1,25V$ en interpolant.

III-A-2-a

Le point se déplace sur la caractéristique de la figure 13 pour $U_G = -1V$, autour de F_0 .

III-A-2-b

On a les équations :

$$U_R = R_C I_A$$

et

$$I_A = G U_A + b$$

En les combinant on obtient :

$$U_R = \frac{R_C G}{1 + R_C} U_0 + \frac{R_C b}{1 + R_C G} + U_{maxR} \sin(2\pi f t)$$

soit

$$U_R = U_{0R} + U_{maxR} \sin(2\pi f t)$$

avec

$$U_{0R} = \frac{R_C G}{1 + R_C} U_0 + \frac{R_C b}{1 + R_C G}$$

III-A-3

Si U_G augmente alors G aussi, donc il faut augmenter U_G pour augmenter U_{maxR} qui est une fonction croissante de G .

III-B-1

Selon le document 1 il faut bouger la main droite pour faire varier la tonalité. Une main plus proche correspond à une plus faible capacité rajoutée donc une fréquence plus élevée.

III-B-2

Selon le document 1 il faut bouger la main gauche pour faire varier la tonalité. Une main plus proche d'une position moyennement éloignée correspond à une fréquence proche de la fréquence de résonance donc à un volume plus grand.

Partie IV

IV-1

Le temps de propagation est de $t_p = \frac{L}{c} = 3,3.10^{-8}$ et la période du signal utile vaut $T = \frac{1}{1760} = 5,7.10^{-4}s$ donc il est inutile de prendre en compte le temps de propagation dans le câble coaxial.

IV-2

Il y a un phénomène d'induction par variation du champ magnétique à l'intérieur de la bobine et des forces de laplace apparaissent lorsque la bobine est alimentée avec un courant. La force de laplace vaut

$$\vec{F} = -2\pi a i N b_0 \vec{u}_z$$

IV-3

Il y a également la force de rappel du ressort et les forces de frottements visqueux à prendre en compte. Sur l'axe (Oz) :

$$m\ddot{z} = -kz - f\dot{z} - 2\pi a i N b_0$$

IV-4

e dû au phénomène d'induction de Lorentz. Le schéma est équivalent à une résistance R, une bobine d'inductance L et un générateur de tension -e en série.

IV-5

On passe en RSF :

$$jm\omega \underline{v} + \frac{k}{j\omega} \underline{v} - h\underline{v} = -2\pi a i N b_0$$

$$\underline{s} + 2\pi N a b_0 \underline{v} = R\underline{i} + j\omega L\underline{i}$$

ce qui donne :

$$\frac{\underline{v}}{\underline{s}} = \frac{-2\pi a N b_0}{(2\pi a i N b_0)^2 + (R + j\omega L)(jm\omega + \frac{k}{j\omega} + h)}$$

qui est de la forme demandée avec :

$$A = 2\pi a N b_0$$

$$B = 2\pi a N b_0$$

$$C = (R + jL2\pi f)$$

Soit la forme simplifiée

$$\frac{\underline{v}}{\underline{s}} = \frac{-2\pi a N b_0}{(2\pi a N b_0)^2 + R(jm\omega + \frac{k}{j\omega} + h)}$$

IV-6

Filtre passe-bas et filtre passe-bande.

IV-7

Similitudes : utilisation de l'effet hétérodyne dans le "détector" à partir de la position du ruban qui modifie la capacité de l'oscillateur variable.

Différences : Le volume est établi par une touche et la pédale d'expression et non pas avec la distance de la main gauche avec une antenne. On envoie un signal sur 4 haut-parleurs.

partie V

V-1

Un condensateur est composé de 2 armatures métalliques de surface S séparées de e par un diélectrique de permittivité diélectrique ϵ_0 . Sa capacité est telle que la charge accumulé sur l'électrode chargée positivement vaut $q = CU$ vaut $C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$

V-2

En appliquant le théorème de Gauss à une surface de part et d'autre d'une armature, on trouve une expression du champ électrique $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. En superposant les champs créés par les 2 armatures au coeur du condensateur on obtient :

$$\vec{E} = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{u}_x$$

Comme $E = \frac{U}{d}$ on en déduit

$$U = \frac{d\sigma}{\epsilon_0}$$

Or $q = S\sigma$ donc $S\sigma = C \frac{d\sigma}{\epsilon_0}$
d'où

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

V-3

Le modèle correspond à la mise en parrallèle de 2 condensateurs :

$$C_{h1} = \frac{\epsilon_0(S-s)}{d} + \frac{\epsilon_0 s}{x}$$

V-4

La nouvelle capacité devient

$$C'_{h1} = \frac{\epsilon_0(S-s)}{d} + \frac{\epsilon_0 s}{x + \delta x}$$

En différenciant on obtient :

$$\delta C_{h1} = -\frac{s\epsilon_0 \delta x}{x^2}$$

$$\text{A.N. : } \delta C_{h1} = \frac{100.8.85.10^{-14} * 0.5}{20^2} \approx -10^{-14} F$$

C'est une valeur bien inférieures aux valeurs données auparavant.

V-5

On obtient

$$\frac{\Delta C_{a0}}{C_{a0}} = \frac{\ln(\frac{2.50}{1})}{20 \ln(\frac{2.20}{1})} = \frac{\ln(100)}{20 \ln(40)} = \frac{\log(100)}{20 \log(40)} = \frac{2}{20(0.6 + 1)} = \frac{1}{16}$$

Partie VI

VI-1-a

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un point matériel est égale au travail des forces exercées.

VI-1-b

On a comme la cathode est au potentiel nul :

$$E_c = W_{lec} = eU_A$$

VI-1-c

Il faut que le potentiel soit positif afin que les électrons soient accélérés de la cathode vers l'anode.

VI-1-d

Le courant électrique est dirigé de l'anode vers la cathode.

VI-1-e

Si le potentiel de l'anode est négatif le courant est bloqué et si le potentiel de l'anode est positif, l'ampoule est passante. Cependant on ne peut avoir la même caractéristique car on ne peut avoir une tension strictement positive appliquée au diode, ce qui contredit les questions précédentes.

VI-2

Equation de Poisson :

$$\Delta V = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Ce qui donne

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = -\frac{-en(x)}{\epsilon_0}$$

soit

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{j}{v(x)\epsilon_0}$$

VI-3

Selon la conservation de l'énergie mécanique :

$$eV_0 = \frac{1}{2}m_e v(x)^2 - eV(x)$$

Soit

$$v(x) = \sqrt{\frac{2e(V_0 + V(x))}{m_e}}$$

la condition pour qu'un plan $x = a$ soit atteint par les électrons est donc :

$$V_a > -V_0$$

VI-4-a

On représente $E_p = -eV_x$.

VI-4-b

L'énergie mécanique est inférieure à eV_m donc les électrons ne peuvent se déplacer dans le tube à vide car ils ne peuvent passer la barrière de potentiel. L'intensité du courant sera donc nulle.

VI-4-c

Dans ce cas tous les électrons peuvent passer la barrière de potentiel mais le courant est saturé en raison du débit limité émis par la cathode. On aura donc :

$$I_{max} = S j_{max}$$

VI-5-a

En $x_0 = x_m$, sommet de la barrière de potentiel où la totalité de l'énergie cinétique a été convertie en énergie potentielle.

VI-5-b

$$\vec{E}(x_0) = -\overrightarrow{\text{grad}V} = \vec{0}$$

VI-5-c

On a une intensité i dans le tube à vide donc, pour $x > x_0$:

$$j = \frac{i}{S}$$

VI-6-a

Selon la loi des noeuds en x_0 :

$$-j^+ + j^- - j = 0$$

VI-6-b

On a donc un flux j^+ correspondant à I_{max} :

$$j^+ = \frac{I_{max}}{S}$$

et donc par différence :

$$j^- = -\frac{i - I_{max}}{S} = \frac{I_{max} - i}{S}$$

VI-6-c

Les électrons partent tous avec la même énergie mécanique et suivent tous le même profil de potentiel. Donc par conservation de l'énergie mécanique, les électrons ont tous la même énergie cinétique à la même abscisse x , qui en arrivent où qu'ils en reviennent.

VI-6-d

On calcule $n^+(x)$ et $n^-(x)$:

$$n^+(x) = \frac{j^+}{ev(x)} = \frac{I_{max}}{Sev(x)}$$

$$n^-(x) = \frac{j^-}{ev(x)} = \frac{I_{max} - i}{Sev(x)}$$

donc

$$\rho(x) = -e(n^+(x) + n^-(x)) = \frac{2I_{max} - i}{Sv(x)}$$

Donc

$$\Delta V = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_0} = \frac{2I_{max} - i}{Sv(x)\epsilon_0}$$

donc

$$j = \frac{2I_{max} - i}{S}$$

VI-7

On considère la relation donnée en $x = d$:

$$(V_0 + U_A)^{\frac{3}{4}} = (d - x_0) \sqrt{\frac{i \sqrt{\frac{m_e}{2e}}}{\epsilon_0}}$$

soit

$$i = \frac{\epsilon_0 S}{(d - x_0)^2} \sqrt{\frac{2e}{m_e}} (V_0 + U_A)^{\frac{3}{2}}$$

qui est de la forme demandée avec

$$p = \frac{\epsilon_0 S}{(d - x_0)^2} \sqrt{\frac{2e}{m_e}}$$