MATERIAUX ET NANOTECHNOLOGIES

4 MNT
DEVOIR SURVEILLE
Fonctions de l'Electronique

le mercredi 13 juin 2007
Durée : 3 heures

Nota Bene : - Documents non autorisés.
- Nombre de pages totales : 11
- Nombre de pages annexes : 5
- Nombre d'annexe à rendre avec la copie : 1

Le sujet comporte un exercice et un problème ainsi qu'une partie « bonus » comportant des questions de cours. Chaque partie peut être traitée de manière indépendante. La qualité, la clarté de la présentation ainsi que l'orthographe seront pris en considération dans la notation. Le barème est donné à titre indicatif.

EXERCICE N°1 : modulation d'amplitude et de fréquence (8 points)

1) Rappeler en quelques lignes l'intérêt de la modulation.
2) La figure de l'annexe A représente une simulation d'un signal **modulé en amplitude avec porteuse**.
   a. Indiquer directement sur la figure, et dans les cases prévues à cet effet, quelle est l'onde porteuse et quelle est l'onde modulante.
   b. Déterminer graphiquement la fréquence de l'onde porteuse f_p et la fréquence de l'onde modulante f_m.
   c. Sachant que le taux de modulation est m = 50% et que l'amplitude de l'onde porteuse est A_p = 1V, déterminer l'amplitude du signal modulant A_m.
3) Un signal modulé en amplitude est créé avec une onde porteuse de fréquence f_p = 162 kHz et un signal de modulation sinusoïdal de fréquence f_m = 10 kHz[†].
   a. Quelles sont les fréquences contenues dans le signal modulé ? Calculer les longueurs d'ondes correspondantes. En déduire la largeur spectrale, en fréquence et en longueur d'onde. On prendra pour la célérité de la lumière c = $3\ 10^8$ m.s^{-1}.
   b. Sachant que la puissance totale de l'émetteur de France-Inter est P_T = 2000 kW et que le taux de modulation est m = 75%, calculer les puissances transportées respectivement dans les bandes latérales P_B et dans la porteuse P_P.

[†] Ces données correspondent à l'émetteur de France-Inter.

Rappel : le rapport de la puissance véhiculée dans les bandes latérales à la puissance totale s'exprime selon la relation :

$$\frac{P_B}{P_T} = \frac{m^2}{m^2 + 2}$$

4) Un modulateur de fréquence délivre un signal tel que S_m = 2V, f_m = 15 kHz, f_p = 10 MHz et m_{FM} = 1.

a. Calculer l'excursion (ou déviation) de fréquence Δf de ce signal.

b. En utilisant la table des fonctions de Bessel fournie en annexe B, déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Calculer leurs amplitudes respectives et représenter le spectre de l'onde FM.

5) On considère une porteuse sinusoïdale d'amplitude S_m, modulée en fréquence autour de f_c = 10 MHz par un signal modulant sinusoïdal de fréquence f_m = 10 kHz. L'indice de modulation vaut m_{FM} = 3. La puissance du signal est de 25 dBm sur une résistance de 25 Ω. On rappelle que la puissance totale P fournie par l'onde modulée dans une résistance R est égale à la somme des puissances véhiculées par la porteuse et par les deux bandes latérales. Celle-ci s'exprime selon la relation :

$$P = \frac{S_m^2}{2R} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} J_k^2(m_{FM})$$

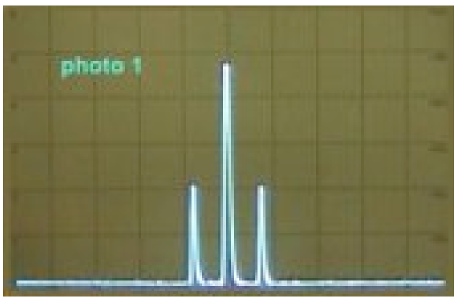
a. Quelle différence majeure y a t-il par rapport à la puissance totale véhiculée par un signal modulé en amplitude avec porteuse ?

b. Déterminer l'amplitude S_m du signal modulé.

c. En utilisant la table des fonctions de Bessel fournie en annexe B, déterminer les différentes composantes spectrales attendues. Calculer leurs amplitudes respectives et représenter le spectre de l'onde FM.

Rappel : $P(dBm) = 10\log(P/P_{ref})$ avec P_{ref} = 1mW

6) L'analyseur de spectre permet de visualiser l'amplitude d'un signal en fonction de la fréquence. Partant d'un signal inconnu s(t) modulé en amplitude, on réalise une mesure au laboratoire. Comme le montre l'enregistrement ci-dessous, **<u>l'analyseur de spectre détecte trois pics</u>** : un pic principal à la fréquence 650 kHz et deux pics secondaires, de même amplitude, respectivement à 640 kHz et à 660 kHz, dans le rapport de 30% par rapport au pic principal.



a. Déterminer la fréquence de la porteuse f_p et celle du signal modulant f_0. Quelle est la largeur spectrale de ce signal ?

b. L'analyse spectrale du signal inconnu s(t) s'obtient en prenant sa transformée de Fourier. Le spectre S(f) de s(t) peut se mettre sous la forme suivante :

$$S(f) = A_p[\delta(f - f_p) + \frac{m}{2}(\delta(f - f_p + f_0) + \delta(f - f_p - f_0))]$$

Déterminer la valeur de l'indice de modulation m.

<u>PROBLEME</u> : étude d'un oscillateur à quartz (12 points)

L'oscillateur à cristal est la solution naturelle lorsque la **<u>fréquence des oscillations doit être stable et précise</u>**. Un oscillateur à quartz permet d'obtenir des oscillations dont la fréquence est comprise entre quelques dizaines de kHz et quelques dizaines de MHz. L'objectif de ce problème est d'étudier le principe de fonctionnement d'un tel oscillateur. Pour ce faire, le modèle électrique du quartz sera étudié dans la partie A. L'oscillateur à quartz ainsi que la condition d'oscillation nécessaire à la génération de la tension sinusoïdale seront analysés dans la partie B.

<u>PARTIE A : ETUDE DU QUARTZ</u>

1) On utilise un quartz de fréquence 3,2768 MHz. Le schéma équivalent du quartz est représenté sur la figure 1 de l'annexe C. Montrer que l'expression de l'impédance complexe $Z_Q(j\omega)$ du quartz s'exprime en fonction de la pulsation ω selon la relation :

$$Z_Q(j\omega) = \frac{1 + jC_s\omega(r + jl_s\omega)}{j(C_s + C_p)\omega + j^2C_sC_p\omega^2(r + jl_s\omega)}$$

2) On néglige la résistance r du quartz. Donner l'expression simplifiée de l'impédance complexe $Z_Q(j\omega)$. En déduire la valeur de l'impédance du quartz en continu.

3) En négligeant la résistance r du quartz, montrer que l'expression simplifiée de l'impédance complexe peut se mettre sous la forme :

$$Z_Q(j\omega) = \frac{1}{jC_{eq}\omega}[\frac{1 - (\frac{\omega}{\omega_1})^2}{1 - (\frac{\omega}{\omega_2})^2}]$$

En déduire par identification les expressions de la capacité équivalente C_{eq}, ainsi que des pulsations ω_1 et ω_2.

4) Le système possède deux fréquences de résonance définies par : $f_1 = \omega_1/2\pi$ (**<u>fréquence de résonance série</u>**) et $f_2 = \omega_2/2\pi$ (**<u>fréquence de résonance parallèle</u>**). Montrer que $\mathbf{f_1 < f_2}$.

5) Déterminer la valeur des fréquences f_1 et f_2 ainsi que l'écart f_1-f_2 pour le quartz considéré. On prendra : l_s = 66,266 mH ; C_s = 3,560 10^{-14} F ; C_p = 8,900 10^{-12} F.

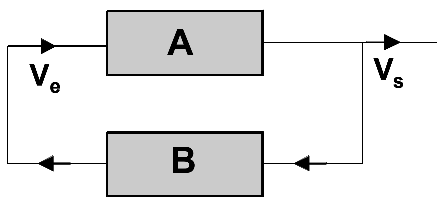
6) Etudier les variations du module et de l'argument de $Z_Q(j\omega)$ en fonction de la pulsation ω.

7) En déduire **la nature de l'impédance du quartz** à l'intérieur des différents intervalles de pulsation définis par ω_1 et ω_2. Conclure.

PARTIE B : ETUDE DE L'OSCILLATEUR

L'oscillateur à quartz étudié est représenté sur la figure 2 de l'annexe C. Ce dernier est réalisé à partir d'un inverseur CMOS (C : Complémentaire ; M : Métal ; O : Oxyde ; S : Semiconducteur)‡ possédant une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. La caractéristique de l'inverseur est donnée sur la figure 3 de l'annexe C. Soit V_e la tension d'entrée de l'inverseur, V_s sa tension de sortie en régime statique (régime continu de polarisation) et P son point de polarisation caractérisé par $V_e = V_s = V_{cc}/2$ (V_{cc} correspondant à la tension d'alimentation fixée à 15 V).
Lorsque l'inverseur est associé au quartz (association inverseur-quartz), les variations des grandeurs d'entrée et de sortie autour du point P sont respectivement notées $V_e(t)$ et $V_s(t)$. Ainsi, l'inverseur, travaillant autour de son point de fonctionnement se comporte comme **un amplificateur linéaire**. On appelle $A=V_s/V_e$ sa transmittance qui sera supposée réelle.
Dans la suite du problème, on ne tiendra pas compte de la résistance R_{31} (1MΩ) et on posera $C_{31} = C_{32} = C_3$.

1) L'oscillateur à cristal représenté sur la figure 2 de l'annexe C peut se mettre sous la forme du schéma-blocs ci-dessous :



avec **A le schéma-bloc représentant l'amplificateur réalisé à partir de l'opérateur CMOS et B celui lié à la chaine de retour** (comprenant les composants R_{32}, C_{31}, C_{32} et le quartz).

Montrer que la fonction de transfert du réseau de réaction B constituée par le quartz associé aux deux condensateurs C_3, et à la résistance R_{32} peut se mettre sous la forme :

$$B(j\omega) = \frac{1}{jR_{32}C_3\omega + (1 + jR_{32}C_3\omega)(1 + jC_3\omega Z_Q(j\omega))}$$

‡ La technologie CMOS est une technologie utilisant systématiquement deux transistors MOS complémentaires : un de type N (conduction assurée par les électrons) et l'autre de type P (conduction assurée par des trous).

Dans cette expression $Z_Q(j\omega)$ est l'impédance complexe du quartz définie à la question 3) de la partie A du problème.

2) Si l'on admet une légère variation de la tension d'entrée $V_e(t)$ autour du point de repos P, alors le point de fonctionnement suit la caractéristique $V_s(V_e)$ entraînant ainsi une variation de la tension de sortie $V_s(t)$. On obtient donc un point de fonctionnement linéaire caractérisé par les points limites A et B. En utilisant la figure 3 de l'annexe C, déterminer la valeur numérique de la fonction de transfert A de l'amplificateur.

3) Enoncer le critère d'oscillation de Barkhausen.

4) Montrer que la fréquence d'oscillation du système étudié peut s'écrire selon la relation :

$$f_0 = \frac{\omega_1\omega_2}{2\pi}\sqrt{\frac{2C_{eq}+C_3}{2C_{eq}\omega_1^2+C_3\omega_2^2}}$$

Calculer la valeur numérique de la fréquence d'oscillation f_0. On prendra C_3 = 100 pF.

5) Montrer que l'application du critère de Barkhausen permet également de dégager la condition d'oscillation du système. En particulier, on montrera qu'il existe une valeur minimale de A notée A_{min} pouvant s'exprimer directement en fonction de C_3, C_{eq}, ω_1, ω_2 et ω_0.

6) La figure 4 de l'annexe C représente les courbes $|B(j\omega)|$ et Arg $(B(j\omega))$ obtenues avec un quartz réel. Déterminer la fréquence d'oscillation du système. Le système oscille t-il ? Comment est la tension de sortie ? Discuter et conclure.

<u>QUESTIONS DE COURS BONUS</u> (3 points)

Toute réponse devra être justifiée avec quelques lignes explicatives. Les questions sont indépendantes.

1) Rappeler brièvement le principe de fonctionnement d'un démodulateur à détection d'enveloppe.
2) Donner la définition d'une bascule monostable ? astable ?
3) Quel est l'intérêt du circuit intégré NE555 ?
4) Qu'est ce qu'une « boucle à verrouillage de phase » ? Donner un exemple d'application.
5) Qu'appelle t-on « oscillateur commandé en tension » ? Donner un exemple d'application.