

A l'occasion des vacances de Toussaint je propose un devoir sur l'étude de systèmes électroniques reprenant les thèmes abordés depuis le début du S3 : Oscillateurs et oscillateurs contrôlés en tension, transmission en modulation de fréquence et boucle à verrouillage de phase (PLL). Un corrigé sera publié d'ici une semaine.

**Problème n°1 : Un générateur de tonalité**

**Contexte :**

Dans le cadre de ce problème, on vous propose d'étudier un oscillateur permettant de délivrer une tonalité audio correspondant à un SOL3 c'est à dire une fréquence fondamentale égale à 392Hz. Afin d'obtenir un signal audio le plus « doux » possible on souhaite obtenir un signal sinusoïdal avec le minimum d'harmoniques. Le schéma de cet oscillateur est donné sur la figure 1 suivante.



**Etude de l'oscillateur**

Le montage d'étude est représenté sur la figure 1 ci-contre. On considère dans toute cette partie que les amplificateurs opérationnels sont parfaits et fonctionnent en régime linéaire.

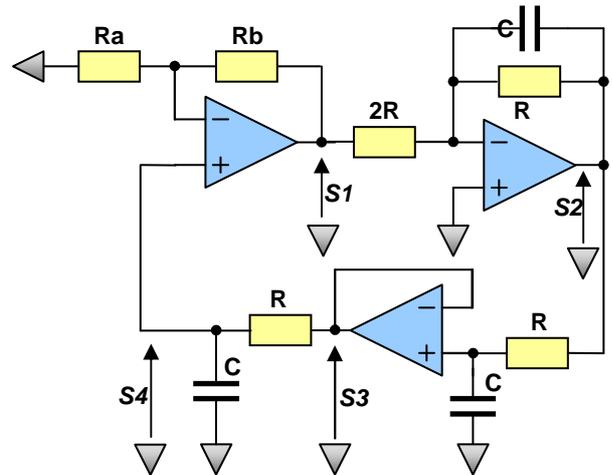


Figure 1 : Schéma de l'oscillateur

Q1 : Exprimer S1 en fonction de S4, Ra et Rb.

Q2 : Montrer que  $\frac{S2}{S1} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+jRC\omega}$

Q3 : Exprimer S3 en fonction de S2, R, C et jω et en déduire une relation entre S4 et S2.

Q4 : Montrer alors que le schéma électrique peut se mettre sous la forme du schéma bloc représenté sur la figure 2.

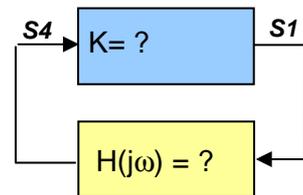


Figure 2 : Schéma bloc

Q5 : Rappeler le critère de Barkhausen et les équations correspondantes.

On rappelle que  $(1+x)^3 = 1+3x+3x^2+x^3$

Q6 : A partir d'une condition du critère de Barkhausen en déduire la fréquence des oscillations fosc.

Q7 : En se plaçant à la fréquence des oscillations fosc, en déduire la valeur de K qui permet d'obtenir des oscillations. On fixe Ra=10kΩ, en déduire la valeur de Rb qui permet d'obtenir des oscillations.

Q8 : On fixe C=27nF. En déduire la valeur de la résistance R pour obtenir la fréquence d'oscillation souhaitée.

Q9 : En quel point le signal est-il « le plus sinusoïdal » sur le montage de la figure 1 dont l'analyse FFT est représentée sur la figure 3 ? Justifier simplement votre réponse.

Q10 : Si l'on néglige les composantes harmoniques, quelle est l'amplitude du signal sinusoïdal obtenu ?

On rappelle que  $U_{dBV} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{eff}}{1V}\right)$

Q11 : Proposer une estimation du taux de distorsion harmonique de cet oscillateur que vous exprimerez en %

Pour rappel :  $THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} A_i^2}}{A_1}$    
 { A1 : amplitude fondamentale   
 Ai : amplitude harmonique de rang i

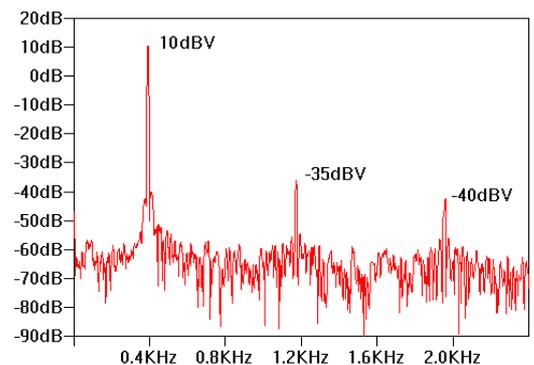


Figure 3 : Analyse FFT

## Problème n°2 : Un microphone sans fil

### Contexte

L'objet de cet exercice porte sur l'étude d'un microphone sans fil utilisant une transmission par modulation de fréquence dans la bande des 40MHz.

Afin de permettre l'utilisation de plusieurs micros sur la même scène, on opte pour une définition de 6 canaux radios (F1..F6). Le premier canal est centrée sur la fréquence  $F1=39,1\text{MHz}$  et l'espacement entre chaque canal est de 50kHz (Modulation FM en bande étroite). Afin de réaliser une modulation de fréquence, il est indispensable de mettre en œuvre un VCO. Le schéma proposé est représenté sur la figure 1 ci-dessous dans lequel on utilise une diode varicap double.



**Q1 :** Quelles sont les caractéristiques principales d'une diode Varicap ? Montrer qu'en régime continu la diode Varicap est correctement polarisée.

**Q2 :** Montrer que le schéma équivalent en alternatif vu des bornes du circuit IC1 peut se mettre sous la forme d'un circuit  $Leq\ Ceq$  représenté sur la figure 2 ci-dessous. (pour répondre à cette question on ne prend pas en compte la résistance  $Rp$  et on oublie le potentiel de masse)

**Q3 :** Montrer alors que la fréquence d'oscillation peut s'écrire  $f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot (2C_o + C_d)}}$

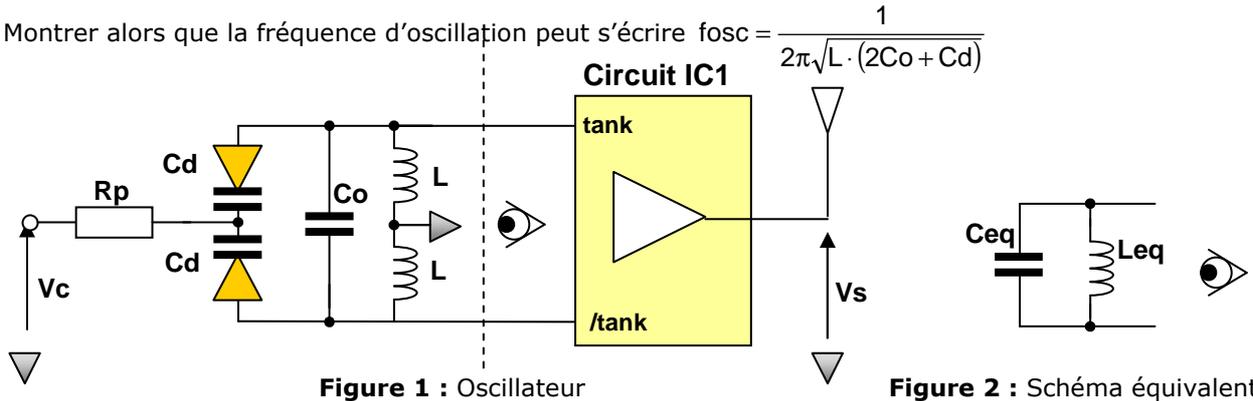


Figure 1 : Oscillateur

Figure 2 : Schéma équivalent

**Q4 :** On donne  $L=180\text{nH}$  et  $C_o=33\text{pF}$ . A partir des données constructeurs figurant dans le tableau ci-dessous, tracer la caractéristique  $f_{osc}$  en fonction de  $V_c$ .



$V_c$	1V	2V	3V	4V	5V
$C_d$	40pF	28pF	18pF	10pF	5pF
$F_{osc}$	?	?	?	?	?

**Q5 :** Dans la zone de fréquence qui nous intéresse (Canaux radio F1 à F6), montrer que la fréquence d'oscillation peut s'écrire sous la forme  $F_{osc}=F_o+Kv_{co}.V_c$ . Précisez les valeurs de  $F_o$  et  $Kv_{co}$ .

**Q6 :** On désire effectuer une modulation de fréquence avec les paramètres suivants :

Fréquence porteuse : canal radio F5

Déviaton en fréquence : 13kHz

Signal modulant sinusoïdal :  $V_c=V_{co}+V_{c1}.\cos(2\pi f_1.t)$

Calculer les valeurs de  $V_{co}$  et de  $V_{c1}$  afin d'obtenir les caractéristiques de la modulation.

## Problème n°3 : Etude d'un récepteur pour transmission numérique IR

Dans le cadre d'une compétition de robotique pour petit robot mobile on souhaite mettre en œuvre un système de transmission d'information numérique par infrarouge utilisant une fréquence porteuse de 75kHz très différente des produits classiquement disponible sur le marché. La transmission est effectuée en modulation FSK et l'on vous propose d'étudier dans ce problème la PLL permettant de d'effectuer la démodulation. Le schéma synoptique est représenté sur la figure suivante.



On ne s'intéresse pas à la réception du signal infrarouge et l'on suppose que l'on dispose sur l'entrée E d'un signal carré compatible avec le comparateur de phase.

Pour la transmission FSK, le bit 0 est codée par une fréquence de 74kHz et le bit 1 par une fréquence de 76kHz.

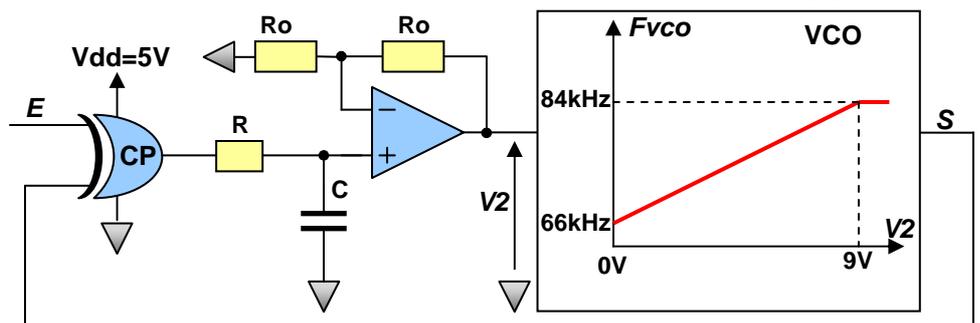


Figure 1 : Schéma de la PLL utilisée en démodulation FSK

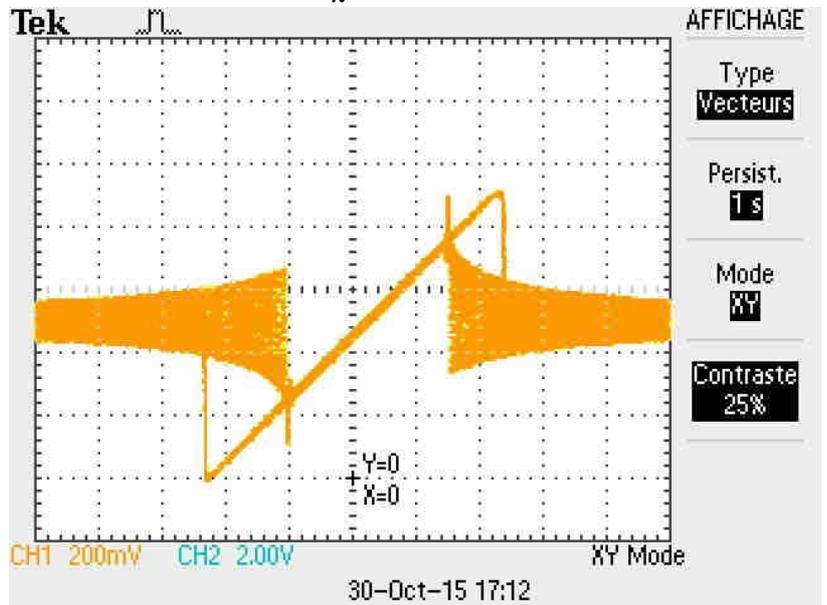
**Analyse du fonctionnement de la PLL**

**Q1 :** Montrer simplement que dans la partie linéaire du VCO il est possible de traduire la caractéristique de transfert sous la forme :  $F_{vco}=K_{vco}.V_2+f_0$ . Préciser le nom et l'unité du coefficient  $K_{vco}$ .

**Q2 :** En supposant que la PLL reste verrouillée et que le filtre RC joue parfaitement son rôle, quelle est l'amplitude du signal  $V_2$  lorsque le signal d'entrée à une fréquence de 74kHz puis de 76kHz ?

**Q3 :** Rappeler la caractéristique de transfert du comparateur de phase réalisé par la porte OU-exclusif. Montrer que le gain de conversion de ce comparateur de phase est bien  $K_{CP} = \frac{V_{dd}}{\pi}$

Afin de caractériser automatiquement les plages de fonctionnement de la PLL, on connecte sur son entrée un signal carré dont la fréquence varie entre 55kHz & 95kHz. Ce signal est délivré par un générateur de fonction qui reçoit comme signal de commande le signal observé en CH1 (X) et dont l'amplitude est comprise entre -1V & +1V. On connecte sur la voie CH2 le signal de commande du VCO ( $V_2$ ) et l'on obtient la figure représentée ci-contre lorsque l'on place l'oscilloscope en mode XY.



**Figure 2 :** Caractérisation des plages de fonctionnement

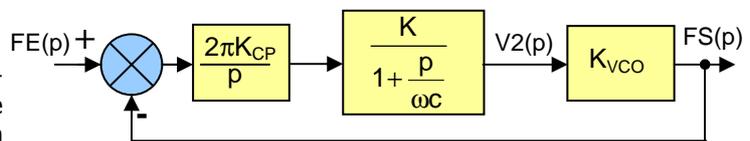
**Q4 :** Rappeler le nom des différentes plages de fonctionnement d'une PLL et montrer que cette figure permet de déterminer ces plages. Précisez les valeurs de fréquences pour chaque plage.

**Q5 :** Compte tenu des caractéristiques de transferts des éléments de la PLL, justifier la plage de fonctionnement la plus grande.

**Q6 :** Quelle est l'action du filtre de boucle sur ces plages de fonctionnement ?

**Etude dynamique de la PLL**

**Q7 :** Justifier le schéma bloc représenté ci-contre qui modélise la boucle à verrouillage de phase. Indiquer la valeur de  $K$  et l'expression de  $\omega_c$ .



**Figure 3 :** Schéma bloc de la PLL

**Q8 :** En sachant que les données émises sont fixées à un débit de 2400bit/s, on fixe comme valeur de fréquence de coupure du filtre passe bas  $f_c=2,4kHz$  pour préserver l'intégrité du message binaire. Quelle autre contrainte doit-on aussi vérifier pour le choix de  $f_c$  ? On fixe  $R=20k\Omega$ , en déduire la valeur du condensateur  $C$ .

**Q9 :** Calculer la fonction de transfert en boucle fermée et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme suivante :  
Exprimer le coefficient d'amortissement  $m$  et la pulsation propre  $\omega_N$  en fonction des éléments de la boucle. Calculer les valeurs de  $m$  et  $\omega_N$

$$FTBF = \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_N} + \left(\frac{p}{\omega_N}\right)^2}$$

**Q10 :** Représenter alors l'allure du signal  $V_2(t)$  (en précisant les différentes amplitudes) lorsque la fréquence du signal d'entrée fait un saut entre 74kHz et 76kHz. Calculer la valeur du premier dépassement et le temps du premier pic. Pour un système du 2<sup>nd</sup> ordre passe bas on rappelle les relations suivantes :

Valeur du premier dépassement en % :  $D\% = 100 \cdot \exp\left(\frac{-\pi m}{\sqrt{1-m^2}}\right)$       Temps du premier pic :  $t_{pic} = \frac{T_p}{2} = \frac{\pi}{\omega_N \cdot \sqrt{1-m^2}}$

**Q11 :** Comment peut-on mettre en forme les données numériques récupérées ? Proposer un schéma de montage simple mettant en œuvre un comparateur de tension classique.

## Problème n°4 : Une liaison audio en modulation FM pour casque sans fil

On vous propose l'étude d'un émetteur pour une transmission audio pour un casque sans fil fonctionnant dans la bande ISM européenne 866MHz-869MHz. La transmission est effectuée avec une modulation FM dont on donne les caractéristiques suivantes :

- Puissance du signal en sortie du modulateur FM : 16dBm
- Bande passante audio : 20Hz-15kHz
- Fréquence porteuse :  $F_p=866\text{MHz}+i \times 0.2\text{MHz}$  où  $i$  est le numéro du canal radio compris entre 1 et 16.



### Etude de la modulation FM et du modulateur

Pour la réalisation du modulateur FM, on utilise un VCO intégré MAX2622 dont on représente sur la figure 1 ci-contre la caractéristique de transfert et dont le schéma synoptique est proposé sur la figure 2 suivante.

Afin de tester les performances de ce modulateur on connecte sur l'entrée  $V_{TUNE}$  un signal modulant sinusoïdal de fréquence  $f_a=15\text{kHz}$  et l'on souhaite obtenir une émission FM sur le canal n°10 avec une déviation en fréquence de 36kHz.

**Q1 :** A partir de la caractéristique du VCO, en déduire l'allure du signal modulant qu'il convient d'appliquer sur l'entrée  $V_{tune}$  pour obtenir la modulation de test. Vous préciserez la valeur moyenne du signal  $V_{tune}$  ainsi que l'amplitude crête à crête du signal sinusoïdal.

**Q2 :** Quelle est la valeur de l'indice de modulation ? Quelle est la particularité de cet indice de modulation ?

Pour cet indice on donne les fonctions de Bessel suivantes :  $J_0=0$   $J_1=0,52$   $J_2=0,431$   $J_3=0,198$   $J_4=0,064$

**Q3 :** Rappeler les relations entre la puissance en dBm et l'amplitude crête  $U$  d'un signal sinusoïdal. En déduire l'amplitude crête  $S_o$  en sortie du modulateur ?

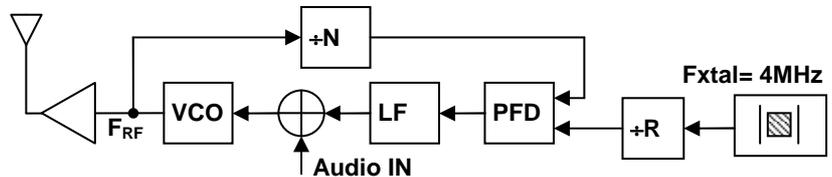
**Q4 :** Représenter alors le spectre du signal modulé en indiquant le niveau en dBm de chaque composante fréquentielle. Indiquer clairement les fréquences des composantes fréquentielles.

**Q5 :** Quelle est la bande passante maximale du signal modulé dans le cas où l'on fixe une déviation en fréquence maximale de 75kHz ? Justifier l'écart entre chaque canaux radio.

**Q6 :** Exprimer la fréquence des oscillations en fonction de  $L$  et  $C_d$ . On donne  $L=10\text{nH}$ , en déduire les valeurs de  $C_d$  pour une tension  $V_{TUNE}=0\text{V}$  puis  $V_{TUNE}=3\text{V}$  et justifier le sens des variations obtenues.

### Mise en œuvre d'une synthèse de fréquence

L'emploi du VCO seul pour effectuer la transmission radio pose quelques problèmes que l'on propose de résoudre en utilisant une PLL en synthèse fréquence dont on représente le schéma synoptique suivant.



**Figure 3 :** Schéma synoptique de la PLL en synthèse de fréquence

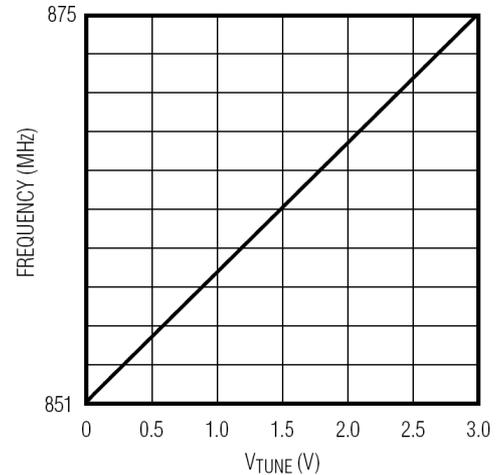
**Q7 :** Si l'on suppose que la PLL est verrouillée, exprimer la fréquence en sortie du VCO  $F_{RF}$  en fonction des éléments proposés sur le schéma ci-dessus.

**Q8 :** Quels sont les avantages de cette synthèse de fréquence par rapport à l'utilisation d'un simple VCO ?

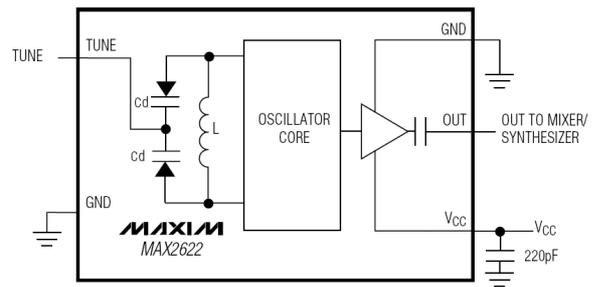
**Q9 :** Sachant que l'on souhaite changer de canal lorsque le diviseur  $N$  s'incrémente d'une unité, en déduire la valeur du diviseur de fréquence  $R$ .

**Q10 :** En déduire les valeurs de  $N$  permettant de couvrir l'ensemble des 16 canaux radio.

**Q11 :** Quel type d'oscillateur retrouve-t-on couramment pour la réalisation de l'oscillateur à quartz ?



**Figure 1 :** Caractéristique du VCO



**Figure 2 :** Schéma synoptique du VCO MAX2622