

# DS N°3 : Éléments de correction

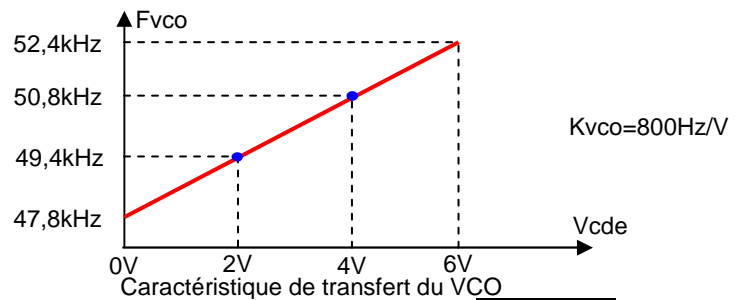
## Pb1 : Un compte rendu de TP incomplet

#PLL #Questions de cours #Caractérisation

**Q1 :** La boucle à verrouillage de phase proposée est constituée de trois fonctions élémentaires :  
 Un Comparateur de Phase (CP) qui délivre une tension ou un courant dont la valeur est proportionnelle à l'écart de phase des signaux d'entrée. Pour assurer son fonctionnement il est associé au filtre de boucle de nature passe bas qui est le 2nd élément présent dans une PLL. Ce filtre détermine les performances dynamiques de la boucle à verrouillage de phase. L'oscillateur contrôlé en tension ou VCO (Voltage Controlled Oscillator) permet d'atteindre l'objectif recherché à savoir l'égalité des fréquences instantanée en entrée du CP.

**Q2 :** Comme les deux signaux en entrée du bloc CP sont sinusoïdaux on retrouve souvent un comparateur de phase analogique de type multiplieur de tension. Pour ce type de CP la caractéristique de transfert n'est pas linéaire (courbe en  $\cos\phi$ ) et le gain de conversion dépend de l'amplitude des signaux en entrée. Toutefois sa mise en œuvre est simple et il est très performant lorsque les signaux d'entrées sont bruités.

**Q3 :** Il s'agit de la réponse indicielle.  
 Les 2 fréquences sont :  
 $50\text{kHz} + 800\text{Hz} = 50,8\text{kHz}$   
 et  $50\text{kHz} - 800\text{Hz} = 49,4\text{kHz}$



**Q4 :** Les 2 valeurs de tensions obtenues sur l'entrée du VCO en régime permanent sont 2V et 4V.

**Q5 :** Le dépassement est de 0,28V alors que 2V correspond à 100%. On en déduit donc  $D1\% = 14\%$   
 Le pic apparaît pour un temps  $T_{pic} = 400\mu\text{s}$

On en déduit donc  $m = \frac{\ln\left(\frac{100}{D\%}\right)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{100}{D\%}\right)}}$  soit  $m = 0,53$  et  $\omega_0 = \frac{\pi}{T_{pic} \cdot \sqrt{1-m^2}}$  soit  $\omega_0 = 9,265\text{krad/s}$

**Q6 :** La fonction de transfert  $\frac{F_{OUT}(p)}{F_{IN}(p)} = \frac{1}{1 + \frac{p}{2\pi K_{CP}K_{VCO}} + \frac{RC \cdot p^2}{2\pi K_{CP}K_{VCO}}}$

est de la forme  $\frac{F_{OUT}(p)}{F_{IN}(p)} = \frac{1}{1 + 2m \cdot \frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$  avec  $\frac{1}{2\pi K_{CP}K_{VCO}} = \frac{2m}{\omega_0}$  et  $\frac{RC}{2\pi K_{CP}K_{VCO}} = \frac{1}{\omega_0^2}$

soit  $K_{CP} = \frac{\omega_0}{4\pi \cdot m \cdot K_{VCO}} = 1,74\text{V/rd}$  et  $RC \cdot \frac{2m}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0^2}$  soit  $R = \frac{1}{C \cdot 2m \cdot \omega_0} = 2,16\text{k}\Omega$  (2,2kΩ en pratique)

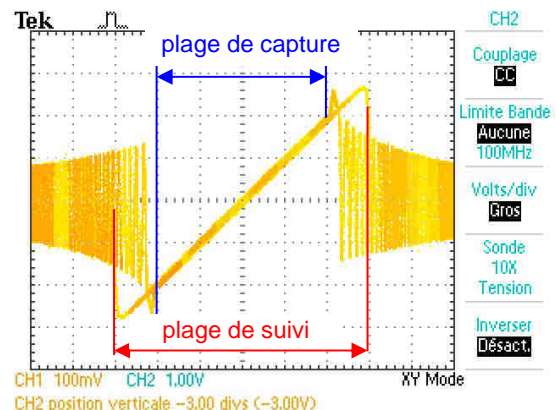
**Q7 :** Le relevé n°2 permet de déterminer les 2 plages de fonctionnement d'une PLL :  
 La plage de capture et la plage de verrouillage (de maintien ou de suivi)

Comme sur la voie CH1 la tension varie entre -0,5V & +0,5V la fréquence varie entre 46kHz (50kHz-4kHz) & 54kHz (50kHz+4kHz). Chaque division représente donc 800Hz (8kHz / 10).

On peut donc donner rapidement les plages de fonctionnement de la PLL

Plage de verrouillage : 47,6kHz - 52,4kHz

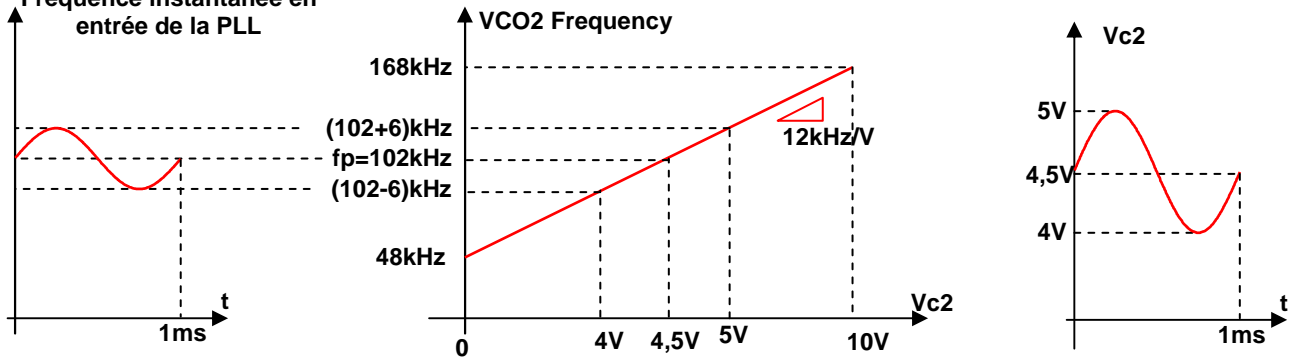
Plage de capture : 58,4kHz - 51,6kHz



**Q1 :** Ce montage permet de passer d'un signal sinusoïdal à un signal carré compatible avec la porte logique XOR utilisée comme comparateur de phase. Voir poly de cours pour les explications sur le fonctionnement du montage.

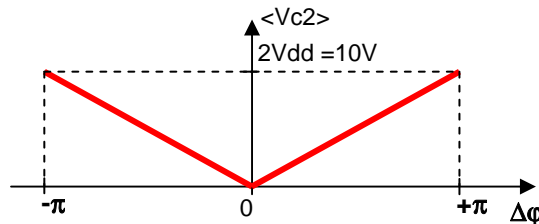
**Q2 :** Lorsque la PLL est verrouillée la fréquence en sortide du VCO évolue au même rythme que le signal modulé en entrée. En conséquence on retrouve en entrée du VCO l'allure du signal modulant au rapport d'amplitude prés.

**Q3 :** Fréquence instantanée en entrée de la PLL



**Q4 :** Le montage qui se trouve entre Vc1 et Vc2 est un amplificateur non inverseur dont le facteur d'amplification est de 2.

**Q5 :** Caractéristique de transfert du comparateur de phase de type OU-exclusif avec la sortie en Vc2

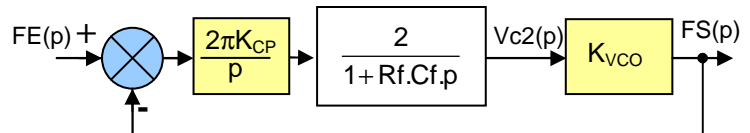


**Q6 :** Comme l'association comparateur de phase + filtre de boucle peut délivrer une tension comprise entre 0 et 10V, on peut déterminer la plage de suivi (maintien, verrouillage) de la PLL à partir de la caractéristique du VCO à savoir 48kHz - 168kHz.

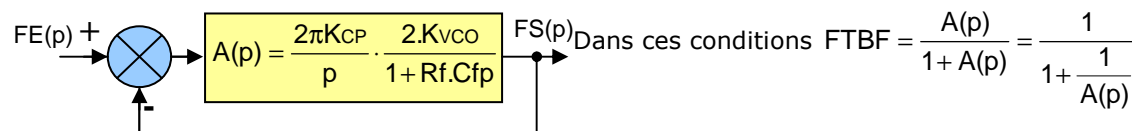
**Q7 :** Justification : voir Poly cours.

$K_{VCO} = 12\text{kHz/V}$

$K_{CP} = V_{dd}/\pi$  correspond au gain de conversion de la porte ou exclusif seule !



**Q8 :** Le schéma bloc peut se mettre sous la forme simplifiée suivante :



donc  $FTBF = \frac{A(p)}{1+A(p)} = \frac{1}{1+\frac{p \cdot (1+RfCfp)}{2\pi K_{CP} \cdot 2 \cdot K_{VCO}}}$  donc  $FTBF = \frac{1}{1+\frac{p}{2\pi K_{CP} \cdot 2 \cdot K_{VCO}} + \frac{RfCfp^2}{2\pi K_{CP} \cdot 2 \cdot K_{VCO}}}$  de la forme

$FTBF = \frac{1}{1+\frac{p}{Q1 \cdot \omega_1} + \left(\frac{p}{\omega_1}\right)^2}$  avec  $\omega_1 = \sqrt{\frac{4\pi K_{CP} K_{VCO}}{RfCf}}$  soit  $f_{o1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{4\pi K_{CP} K_{VCO}}{RfCf}} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{V_{dd} \cdot K_{VCO}}{RfCf}}$

et  $\frac{1}{Q1 \cdot \omega_1} = \frac{1}{4\pi K_{CP} K_{VCO}}$  soit  $Q1 = \frac{4\pi \cdot K_{CP} \cdot K_{VCO}}{\omega_1} = \sqrt{4\pi \cdot K_{CP} \cdot K_{VCO} \cdot Rf \cdot Cf} = 2\sqrt{V_{dd} \cdot K_{VCO} \cdot Rf \cdot Cf}$

Comme on fixe  $Q_1=5,58$  alors  $RfCf = \frac{Q_1^2}{4.V_{dd}.K_{VCO}}$  soit  $RfCf=129,74\mu s$

on en déduit  $f_{o1}=6,85kHz$  ce qui permet d'en déduire la fréquence du filtre  $f_c=7,2kHz$ . Cette fréquence est bien évidemment compatible avec la bande passante du signal modulant [100Hz - 7kHz].

**Q10** : Comme  $Rf=13k\Omega$  alors  $Cf=10nF$

Afin de réaliser ce filtre, on propose le montage de la figure 4 ci-contre qui est une cellule de Sallen & Key. On donne la fonction de transfert du montage  $T(j\omega) = \frac{1}{1 + 2jR.C_2.\omega + C_1.C_2.(jR\omega)^2}$

**Q11** : la fonction de transfert du montage  $T(j\omega) = \frac{1}{1 + 2jR.C_2.\omega + C_1.C_2.(jR\omega)^2}$  peut s'écrire sous la forme

$$FTBF = \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{Q_2.\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

en sachant que l'on fixe  $Q_2=1,07$  et  $f_{o2}=0,44.f_c=3,17kHz$

Par identification  $2RC_2 = \frac{1}{Q_2.\omega_0}$  donc  $C_2 = \frac{1}{2R.Q_2.2\pi.f_{o2}} = 1,47nF$  (1,5nF)

$$C_1.C_2.R^2 = \frac{1}{\omega_0^2}$$

donc  $C_1 \cdot \frac{1}{2R.Q_2.\omega_0} = \frac{1}{R^2.\omega_0^2}$  soit  $C_1 = \frac{2.Q_2}{R.\omega_0} = \frac{Q_2}{R.\pi.f_{o2}} = 6,71nF$  (6,8nF)

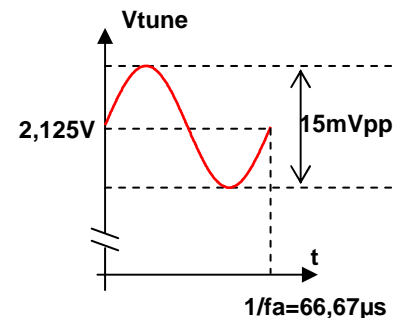
### Pb3 : Une liaison audio en modulation FM pour casque sans fil

#PLL #Synthèse de fréquence

**Q1** : La caractéristique du VCO peut s'écrire sous la forme  $F_{VCO}=851MHz+K_{VCO}.V_{TUNE}$  avec  $K_{VCO}=8MHz/V$

Une émission sur le canal n°10 correspond à une fréquence porteuse  $f_p=868MHz$  soit une tension de commande  $V_{TUNE}=2,125V$ . Une déviation en fréquence de 60kHz correspond à une amplitude de 7,5mV

Dans ces conditions le signal modulant est de la forme suivante :



**Q2** : La bande de Carson permet de déterminer la bande passante maximale. En effet  $B_c=2.(\Delta f_{max}+f_{amax})$  soit  $B_c=2.(60kHz+15kHz)=150kHz$  ce qui est bien inférieur à l'écart entre 2 canaux qui est de 200kHz.

**Q3** : Il s'agit d'une diode Varicap. Voir Poly.

**Q4** : Les 2 capacités  $C_d$  sont en série vu de l'inductance donc  $f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot \frac{C_d}{2}}}$  donc  $C_d = \frac{2}{L.(2\pi.f_{osc})^2}$

pour  $V_{TUNE}=0V$   $f_{osc}=851MHz$  donc  $C_d=7pF$   
 pour  $V_{TUNE}=3V$   $f_{osc}=875MHz$  donc  $C_d=6,6pF$

La capacité diminue lorsque la tension de polarisation augmente ce qui est classique pour une diode varicap.

**Q5** :  $F_{rf} = \frac{N.F_{xtal}}{R}$

**Q6** : Cette synthèse de fréquence permet de fixer la fréquence porteuse avec une grande précision et facilité en ne changeant que le taux de division N. Par ailleurs on assure la stabilité à long terme de l'oscillateur.

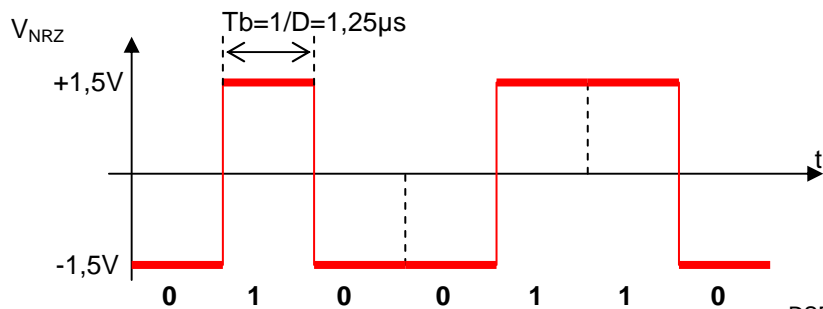
**Q7** :  $F_{rf} + 200kHz = \frac{(N+1).F_{xtal}}{R}$  donc  $\frac{F_{xtal}}{R} = 200kHz$  soit  $R=20$ .

**Q8** : Valeurs de N permettant de couvrir l'ensemble des 16 canaux radio  
 $i=1$   $F_p=866,2MHz$  donc  $N=4331$

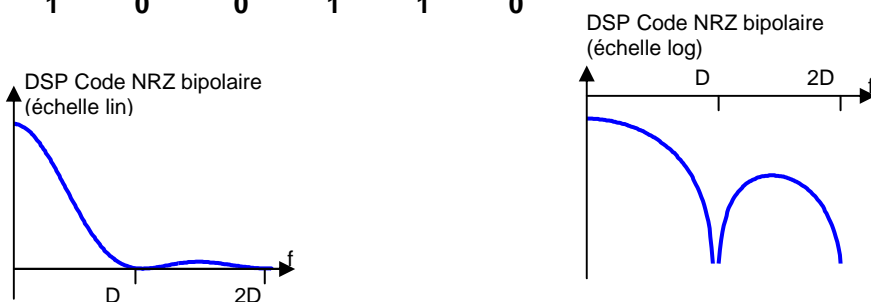
$i=16$   $F_p=869,2MHz$  donc  $N=4346$

**Q9** : Il faut choisir un filtre de boucle avec une fréquence de coupure relativement petite afin que le temps de réaction de la boucle soit lent pour ne pas s'opposer aux variations de fréquence provoquées par l'entrée de modulation Audio In

**Q1 :** Comme  $V_{NRZ} = V(7) - V(6)$ , un bit 0 est codé par une tension de -1,5V et un bit 1 par une tension de 1,5V.



**Q2 :**



**Q3 :**  $D_{max}$  : Débit maximum (bit/s) BP : Bande passante du canal de transmission  
 $S/B$  : Rapport Signal sur Bruit en linéaire

**Q4 :** En modifiant la formule précédente il vient  $\frac{S}{B} = 2^{\frac{D_{max}}{BP}} - 1$  avec  $\frac{S}{B} \text{ dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{S}{B}\right)$

on en déduit que  $\frac{S}{B} = 1,38$  et  $\frac{S}{B} \text{ dB} = 1,39\text{dB}$

**Q5 :** Il s'agit du diagramme de l'oeil. Voir Poly.