

PLL : Un décodeur sub audio

Sujet + Corrigé

Un décodeur sub audio SUJET

On s'intéresse dans le cadre de cet exercice à un dispositif de décodage utilisé dans une transmission d'information numérique dissimulée dans un signal audio pour une ligne de sonorisation professionnelle. Le procédé consiste à insérer dans le signal audio un signal sub-audio quasi inaudible sur les hauts parleurs de diffusion dont le niveau est extrêmement faible. La transmission d'information numérique est effectuée avec une modulation FSK autour de la fréquence 12kHz.

On vous propose d'étudier le décodeur qui met en œuvre une boucle à verrouillage de phase dont le schéma est donnée sur la figure 2 suivante.

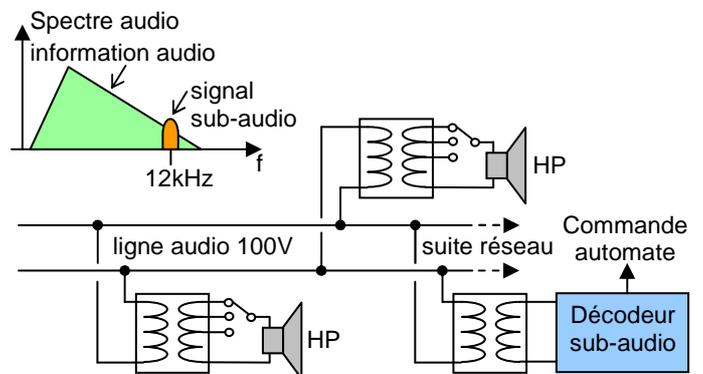


Figure 1 : Procédé de transmission sub-audio

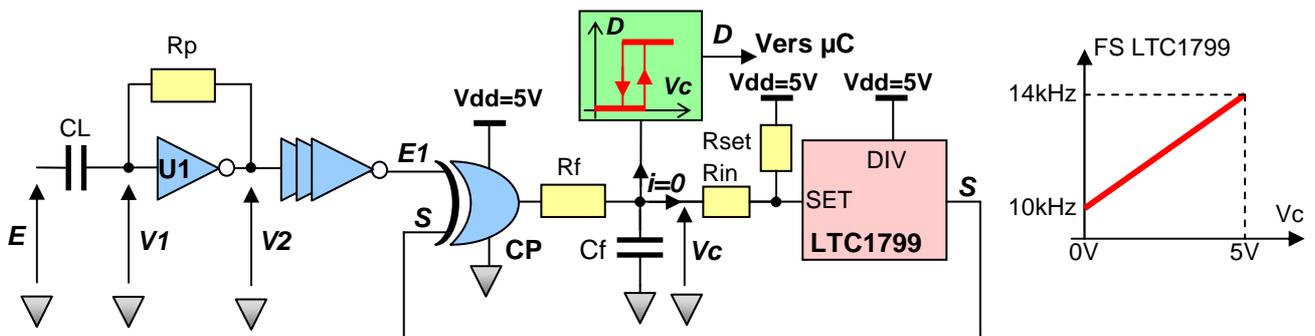


Figure 2 : Décodeur sub-audio à base d'une PLL

Q1 : Quel est le rôle du montage se trouvant entre l'entrée E et l'entrée E1 du comparateur de phase ? Vous expliquerez le fonctionnement du montage constitué par CL, Rp & U1.

Q2 : Rappeler la caractéristique de transfert du comparateur de phase de type OU-exclusif. Compte-tenu de la caractéristique du VCO, peut-on déterminer l'une des 2 plages de fonctionnement de la PLL ?

Q3 : Justifier et compléter le schéma bloc représenté ci-contre qui modélise la boucle à verrouillage de phase. On donne $K_{CP} = V_{dd}/\pi$.

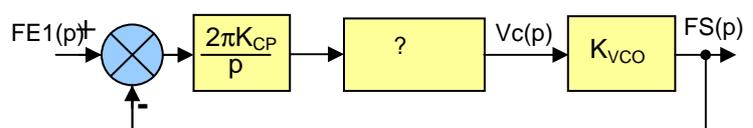


Figure 3 : Schéma bloc de la PLL

Q4 : En sachant que les données utilisées sur la ligne audio ont un débit de 600bits/s, on fixe comme valeur de fréquence de coupure du filtre passe bas $f_c = 600\text{Hz}$ pour préserver l'intégrité du message binaire. Quelle autre contrainte doit-on aussi vérifier pour le choix de f_c ? On fixe $C_f = 68\text{nF}$, en déduire la valeur de R_f .

Q5 : 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 ω_N en fonction des éléments de la boucle. Calculer les valeurs de m et ω_N

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

Q6 : Représenter alors l'allure du signal $V_c(t)$ lorsque la fréquence du signal d'entrée fait un saut entre 11,6kHz et 12,4kHz. Vous indiquerez avec précision les niveaux de tensions du signal V_c . Calculer la valeur du premier dépassement et le temps du premier pic dont 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 :

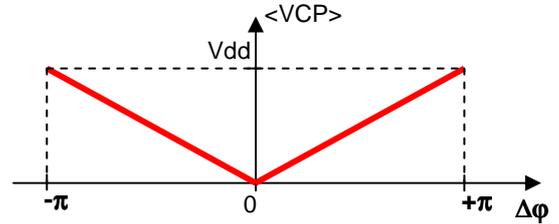
$$t_{pic} = \frac{T_p}{2} = \frac{\pi}{\omega_0 \cdot \sqrt{1-m^2}}$$

Q7 : Expliquer la présence du comparateur de tension sur l'entrée Vc du VCO et montrer que la PLL joue bien le rôle de démodulation de fréquence de type FSK (Frequency Shift Keying : Saut de fréquence).

CORRECTION

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.

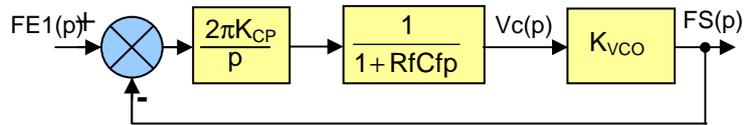
Q2 : Caractéristique de transfert du comparateur de phase de type OU-exclusif :



L'association comparateur de phase + filtre de boucle RC passe bas est capable de délivrer une tension de commande évoluant entre 0 et Vdd. Dans ces conditions la plage de maintien est alors indiqué par les limites de la caractéristique du VCO à savoir :

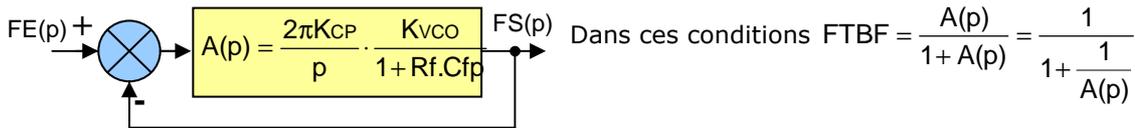
10kHz - 14kHz

Q3 : Justification : Voir poly de cours



Q4 : Il faut que $f_c \ll$ fréquence de travail du comparateur de phase = 12kHz $R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f} = 3,9k\Omega$

Q5 : Le schéma bloc peut se mettre sous la forme simplifiée suivante :



Dans ces conditions $FTBF = \frac{A(p)}{1 + A(p)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{A(p)}}$

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

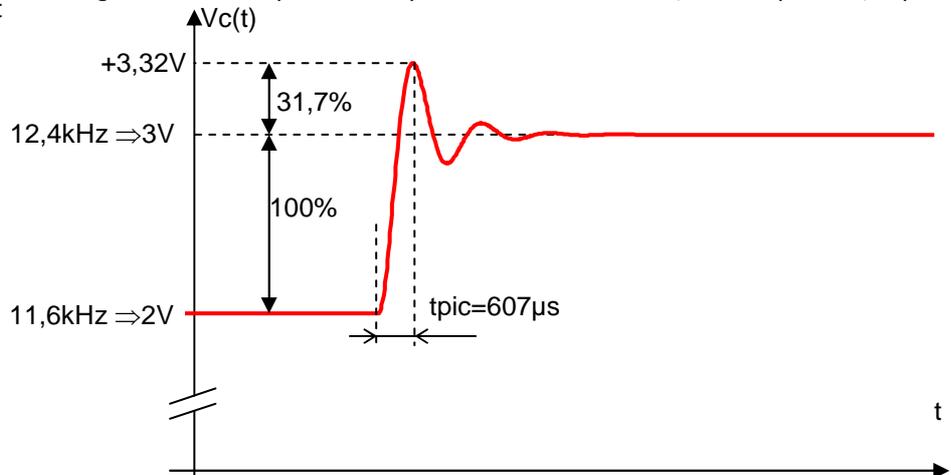
$FTBF = \frac{1}{1 + 2m \frac{p}{\omega_N} + \left(\frac{p}{\omega_N}\right)^2}$ avec $\omega_N = \sqrt{\frac{2\pi K_{CP} K_{VCO}}{RfCf}}$ et $\frac{2m}{\omega_N} = \frac{1}{2\pi K_{CP} K_{VCO}}$ soit $m = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{RfCf \cdot 2\pi \cdot K_{CP} \cdot K_{VCO}}}$

Comme $K_{CP} = \frac{V_{dd}}{\pi} = 1,59V/rd$ et

$K_{VCO} = 800Hz/V$
alors

$\omega_N = 5,5krad/s$ et $m = 0,34$

Q6 : Valeur du premier dépassement en : $D = 31,7\%$ $t_{pic} = 61,37\mu s$



Q7 : Comme on retrouve sur le signal de commande du VCO l'image des variations de fréquences (+2V pour $f = 11,4kHz$ et 3V pour $f = 12,4kHz$) un comparateur permet de mettre en forme ce signal pour obtenir un signal numérique compatible TTL (0 / 5V)