

TP n°23 : rappels sur les boucles à verrouillage de phase : étude comme un système bouclé et réalisation d'une démodulation FSK .

→ But du TP : le but de ce TP de seconde année est l'étude d'une boucle à verrouillage de phase (PLL) comme système bouclé permettant de démoduler un signal binaire modulé en fréquence. Une étude de la PLL à l'aide du composant 4046 a déjà été effectuée en début d'année : c'est l'occasion de le revoir et de le découvrir sous un autre point de vue : la PLL est-elle capable de réagir à un signal qui varie par saut de fréquence comme le signal FSK ?

2) Rappels sur la PLL et mesures.

a) Rappels sur la PLL.

Compléter le schéma suivant en inscrivant le nom des blocs qui constituent une PLL :

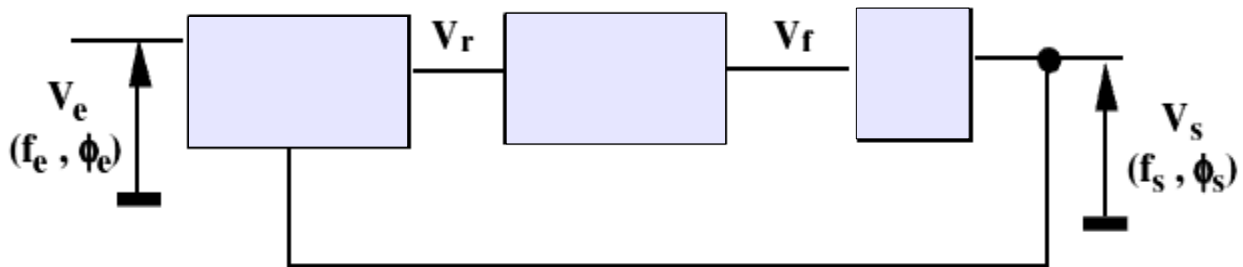


Figure 1: Schéma d'une Boucle à Verrouillage de Phase

Lire la page 1 du document "TP_PLL.pdf" et répondre aux questions suivantes :

- Comment sait-on que la PLL est verrouillée ?
- Quelles sont les fréquences contenues dans le signal Vr ?
- À quoi sert le filtre entre Vr et Vf ? Comment faut-il choisir sa fréquence de coupure ?
- Quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie du VCO.

b) Mesures sur la PLL.

On utilise le composant 4046 câblé suivant le schéma page 6 du document "74HC4046A.pdf" avec les valeurs de composant :

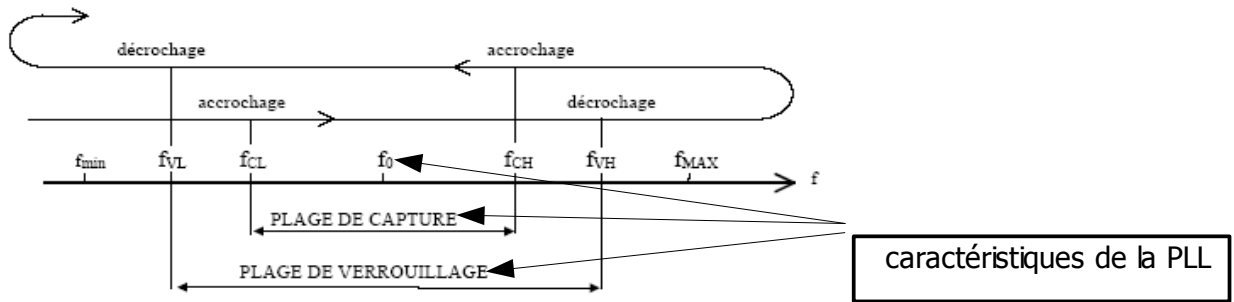
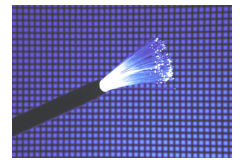
$R1 = 15 \text{ k}\Omega$, $R2 = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 100 \text{ nF}$, $R3 = 47 \text{ k}\Omega$, $C2 = 68 \text{ nF}$, $R4 = 0$.

On alimentera le composant avec $V_{dd} = 10 \text{ V}$ et $V_{ss} = 0\text{V}$.

On utilisera le comparateur de phase numéroté 1 (OU exclusif). Ce comparateur permet d'obtenir une valeur moyenne de Vr telle que $\langle V_r \rangle = K_d \cdot (\Phi_e - \Phi_s)$ avec $K_d = V_{dd}/\pi$ (voir page 7 du datasheet 74HC4046A.pdf).

Faire le montage du 4046 avec les valeurs indiquées.

Calculer la fréquence de coupure du filtre R3C2.

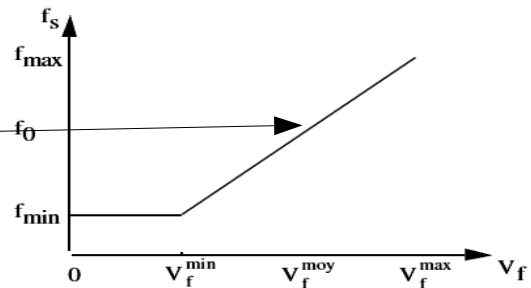


On veut relever les trois paramètres essentiels de la PLL 4046 que vous allez utiliser, à savoir :

- la fréquence propre f_0
- la plage de verrouillage définie par F_{VL} et F_{VH} .
- la plage de capture définie par F_{CL} et F_{CH} .

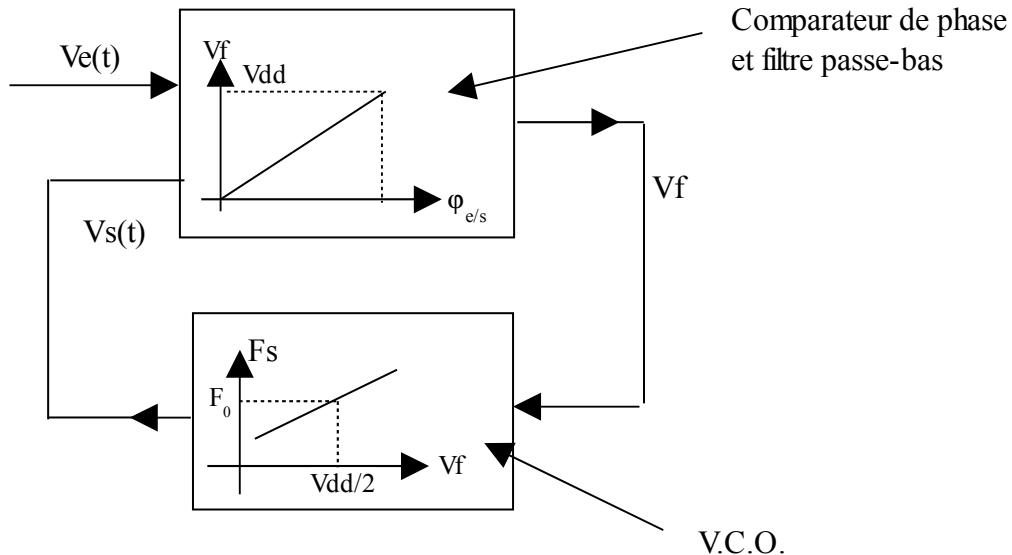
Préciser sur votre compte-rendu la **méthode** utilisée pour trouver **chaque** paramètre et faites l'expérience décrite en donnant vos résultats.

A l'intérieur de la plage de verrouillage, relever la caractéristique du VCO et donner la pente K_0 de cette caractéristique en se limitant au domaine linéaire autour de f_0 .



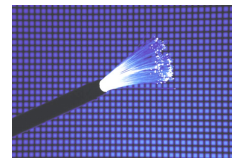
2) **démodulation d'un signal de modulation FSK.**

a) Rappels sur la PLL et la démodulation de fréquence.



On impose en entrée un signal $v_e(t)$ modulé en fréquence autour de F_0 (porteuse) tel que la fréquence F_e a pour expression $F_e = F_0 + K \cdot x(t)$ avec $x(t)$ information BF modulante (bande de base).

En quel point de la boucle retrouve-t-on un signal BF à l'image de $x(t)$? Justifier la réponse. Quelles conditions doit-on respecter sur \hat{X} et sur la fréquence de coupure du filtre ?



Rappeler par un dessin le principe de la modulation d'un signal (porteuse) de fréquence f_0 par un signal modulant binaire [0-5V] de basse fréquence.

On dessinera en concordance de temps la porteuse, le signal modulant et le signal modulé. Quel est le paramètre du signal modulé qui contient l'information du signal binaire ?

b) Modulation et démodulation FSK.

Modulation : Le signal modulé FSK est obtenu à partir de l'entrée de modulation du générateur Metrix GX 239.

On rappelle que la fréquence instantanée du signal modulé sortant est : $f_e = f_0 + K_g \cdot x(t)$ avec f_0 valeur indiquée sur le cadran du générateur et $K_g \approx -180 \text{ Hz/V}$ **si le calibre de fréquence est sur la gamme 1 kHz.**

On impose un signal $x(t)$ carré [0-5V] et de fréquence inférieure à 40Hz avec $f_0 = 2 \text{ kHz}$. Visualiser et représenter $x(t)$ et le signal de sortie du GBF. Mesurer la fréquence correspondant à $x(t)=0$ (qu'on appellera $F(0)$) et la fréquence correspondant à $x(t)=5V$ (qu'on appellera $F(1)$). La relation : $f_e = f_0 + K_g \cdot x(t)$ avec $K_g \approx -180 \text{ Hz/V}$ est-elle valable ? $F(0)$ et $F(1)$ sont-elles dans la plage de verrouillage de la PLL ?

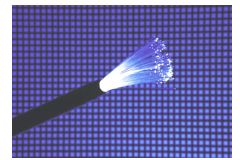
Démodulation du signal modulé en fréquence : préciser à quel endroit de la boucle à verrouillage de phase on doit retrouver une image du signal modulant $x(t)$. Reprendre son cours si nécessaire.

On impose à l'entrée de modulation du GBF un signal $x(t)$ sinusoïdal de fréquence $F < 40 \text{ Hz}$ et d'amplitude $\hat{X} = 0,5 \text{ V}$. On prendra pour f_0 la fréquence centrale de la PLL mesurée au 1). Visualiser $x(t)$ et $V_f(t)$. Conclure.

On impose maintenant un signal carré $x(t)$ de fréquence $F < 40 \text{ Hz}$ et d'amplitude $\hat{X} = 0,5 \text{ V}$. Le signal de sortie du GBF (donc d'entrée de la PLL) est donc un signal modulé FSK. Déterminer de la même façon que précédemment $F(0)$ et $F(1)$. Vérifier que ces deux fréquences sont dans la plage de verrouillage. Visualiser l'évolution de $x(t)$ et de $V_f(t)$. Noter les caractéristiques du régime transitoire et du régime permanent.

Conclusions :

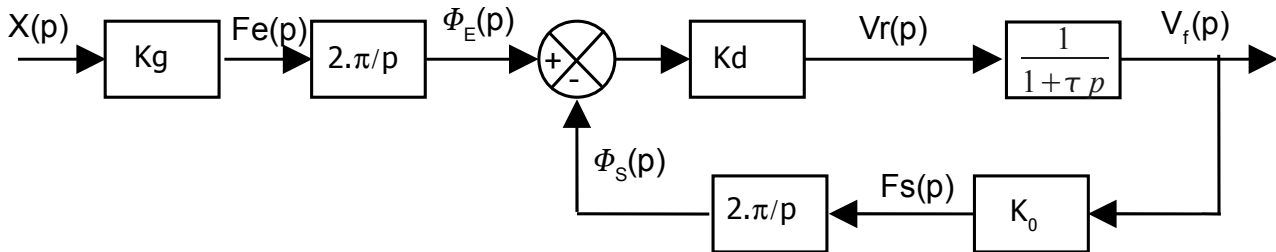
- l'asservissement est-il capable de suivre les sauts de fréquence ?
- l'asservissement est-il stable ?
- l'asservissement est-il précis ?
- l'asservissement est-il rapide ?



3) justification théorique .

Rappel du schéma bloc représentant l'asservissement.

On a vu en cours que le schéma bloc de l'asservissement correspondant à la PLL était :



étude de la stabilité de l'asservissement.

Donner l'expression de la transmittance en boucle ouverte, notée $T_{BO}(p) = \frac{\Phi_S(p)}{\Phi_E(p)}$ lorsque le soustracteur est décâblé.

Donner l'expression de la transmittance complexe associée $\underline{I}(j\omega)$ en inscrivant les valeurs numériques associées.

Représenter l'évolution de $\underline{I}(j\omega)$ dans le plan de Bode à partir de son diagramme asymptotique.

Que peut-on dire sur la valeur de la marge de phase ? Conclure sur la stabilité de l'asservissement.

On veut imposer une marge de phase de l'ordre de 45°

En se limitant au tracé asymptotique concernant l'évolution de $T(j\omega)$ dans Bode, donner la valeur à attribuer à τ .

En déduire les valeurs à attribuer à R3 et C2.

Avec ces nouvelles valeurs, visualiser et représenter $x(t)$ et $v_f(t)$. Conclure.

Que proposez-vous pour améliorer $v_f(t)$?

étude de la précision de l'asservissement.

Écrire la fonction de transfert en boucle fermée $T_{BF}(p) = \frac{\Phi_S(p)}{\Phi_E(p)}$ et montrer que $\frac{\Phi_S(p)}{\Phi_E(p)} = \frac{F_S(p)}{F_E(p)}$

On impose à l'entrée du système un saut de fréquence de ΔF .

Donner l'expression de $F_E(p)$, puis celle de $F_S(p)$ à partir de $T_{BF}(p)$.

À l'aide du théorème de la valeur finale, montrer que l'asservissement est précis.