

ETUDE D'UNE BOUCLE A VERROUILLAGE DE PHASE CIRCUIT P.L.L.(HEF 4046 B)

PREAMBULE

Dans le domaine des télécommunications, on a souvent besoin d'un signal dont la fréquence soit à la fois très stable et variable par pas. C'est le cas de l'oscillateur local qui fournit la porteuse d'un émetteur, ou de l'oscillateur local d'un récepteur. Cependant, les seuls oscillateurs stables qu'on puisse réaliser facilement sont les oscillateurs à quartz, et pour ce type d'oscillateur il est difficile de faire varier la fréquence, sauf en changeant le quartz. La **boucle à verrouillage de phase** ou **Phase Locked Loop** (invention française datant de 1932) permet de répondre à ce problème en fournissant en sortie un signal ayant la stabilité d'un quartz de référence, mais avec un choix de fréquences quasi illimité.

On trouve une boucle à verrouillage de phase dans de très nombreux équipements (décodeurs TV numériques, modems téléphoniques et câbles, téléphones GSM etc)

En génie électrique, parmi les applications les plus exploitées, on peut citer le verrouillage de système sur la phase du réseau électrique.

Le cœur de la PLL est l'oscillateur qui fournit en sortie un signal en général sinusoïdal ou carré, mais dont la fréquence instantanée $f_e(t)$ est asservie à la fréquence $f_s(t)$ du signal injecté dans la boucle.

I INTRODUCTION

Un circuit à verrouillage de phase ou P.L.L. (Phase Locked Loop) peut être considéré comme un asservissement dont la grandeur d'entrée est la fréquence du signal d'entrée f_e et la grandeur de sortie la fréquence du signal de sortie f_s . D'une manière similaire à celle d'un filtre en tension, lorsque la variable d'entrée f_e varie trop rapidement, la variable de sortie f_s ne dépend plus linéairement de l'entrée. Quand la sortie f_s suit linéairement l'entrée f_e , la boucle est dite verrouillée. Ces circuits servent à faire de la multiplication de fréquence et de la démodulation de fréquence.

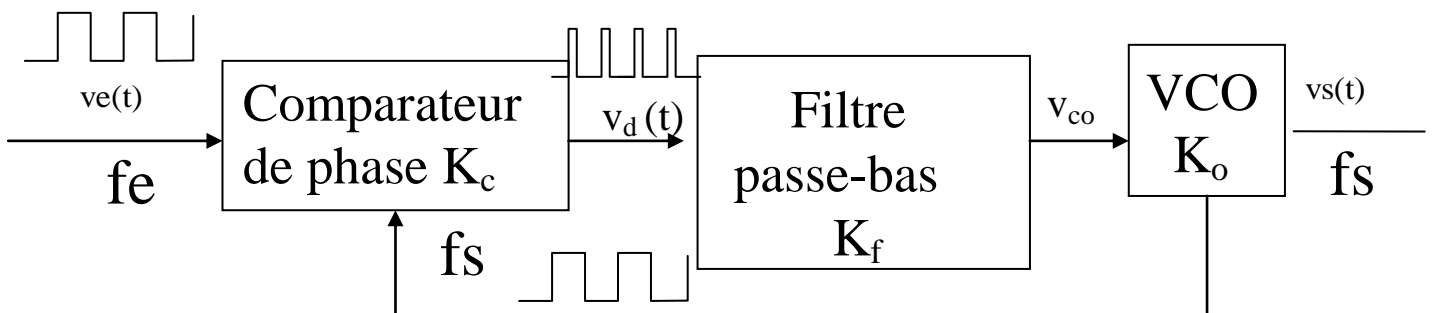


Figure 1 : Schéma bloc d'une PLL.

II ELEMENTS D'UNE P.L.L.

Une boucle à verrouillage de phase est un système bouclé, qui comprend 3 éléments :

1. un oscillateur contrôlé en tension (K_o) ou V.C.O. (Voltage Controlled Oscillator) de fréquence f_0 .
2. un comparateur de phase (K_c)
3. un filtre passe-bas (gain statique K_f)

1) L'oscillateur contrôlé en tension (V.C.O.) :

1. Il délivre un signal de fréquence estimée proportionnelle à sa tension d'entrée : $f_s = K_o V_{co}$
2. Le domaine de fonctionnement du montage est défini par f_0 , la fréquence centrale d'oscillation du V.C.O. et par le domaine de fréquences $[f_0 - f_1, f_0 + f_1]$ qu'il est capable de parcourir de part et d'autre de f_0

2) Le comparateur de phase :

Ce circuit fournit un signal $v_d(t)$ dont la moyenne dépend du déphasage $\Phi_e - \Phi_s$ entre le signal d'entrée de fréquence f_e et le signal de sortie du V.C.O. de fréquence f_s . Pour des signaux logiques, un simple ou exclusif (XOR) peut remplir ce rôle.

3) Le filtre passe-bas moyennneur :

Son rôle est d'extraire la valeur moyenne glissante V_{co} du signal $v_d(t)$. Il est ici constitué par un réseau R_3, R_4, C_2 , dont la bande passante sera prise très inférieure à f_e (fréquence du signal d'entrée).

III PREPARATION

1) Choix des caractéristiques du V.C.O.

$$f = \frac{I}{2C(v_{ref} + v_d)} \# \frac{\left(\frac{V_{co} + V_{cc}}{R_1 + R_2} \right)}{2C(v_{ref} + v_d)}$$

On choisit de travailler à $f_0 = 2\text{KHz}$, $f_{min} = 800\text{Hz}$ et $f_{max} = 3200\text{Hz}$

La bande linéaire du VCO est donc $[f_{min}, f_{max}] = [f_0 - \Delta f, f_0 + \Delta f]$

1^{er} cas $R_1 \rightarrow \infty$; d'après les abaques, à résistance R_2 donnée, on en déduit la valeur de capacité C_1 qui assure la fréquence minimale de fonctionnement du V.C.O. On en déduit alors la valeur de

$$\tau_2 = R_2 \cdot C_1$$

2^{ème} cas $R_2 \rightarrow \infty$; La bande de linéarité est alors ramenée à $[0, f_{max} - f_{min}]$. On pose f_0^* la fréquence

$$\text{centrale de cette bande : } f_0^* = \frac{f_{max} - f_{min}}{2}$$

L'abaque permet, pour une résistance R_1 et une fréquence f_0^* données, de déterminer la valeur du condensateur C_1 qui assure une bande de linéarité entre $[0, f_{max} - f_{min}]$. On en déduit alors $\tau_1 = R_1 \cdot C_1$.

En connaissance τ_1 et τ_2 avec $C_1 = 22\text{nF}$ on en déduit alors $R_1 = \tau_1 / C_1$ et $R_2 = \tau_2 / C_1$

- Quelles valeurs de résistances (série de composants E12) sont les plus proches des valeurs calculées ?
- Estimez K_o d'après la courbe
- Exprimez Θ_s en fonction de V_{co} en calcul symbolique

2) Comparateur de phase

2.1. Comparateur1 XOR sur 2 signaux carré déphasés

1. Rappelez la table de vérité du ou exclusif (XOR).

Deux signaux logiques 0-10V de fréquence f_e déphasés de $\pi/3$ sont appliqués aux entrées du XOR. Tracez les chronogrammes des 3 signaux.

2. Quelle est la fréquence du signal de sortie V_d du XOR ?

3. De quoi dépend le rapport cyclique du signal V_d de sortie ?

Pour une modélisation au sens des valeurs moyennes exprimer $\langle V_d \rangle$ en fonction de $(\Theta_e - \Theta_s)$. On appelle K_c la constante de la fonction. En déduire K_c .

2.2. Comparateur2 analogique sur 2 signaux carré déphasés

L'étude du comparateur analogique ne peut pas se faire indépendamment du filtre Passe Bas

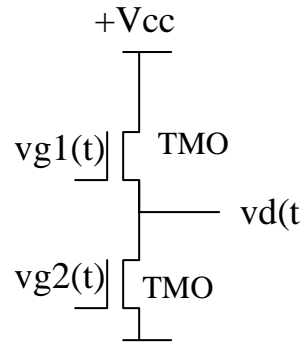


Figure 2 Schéma du comparateur analogique

3) Etude du filtre passe-bas

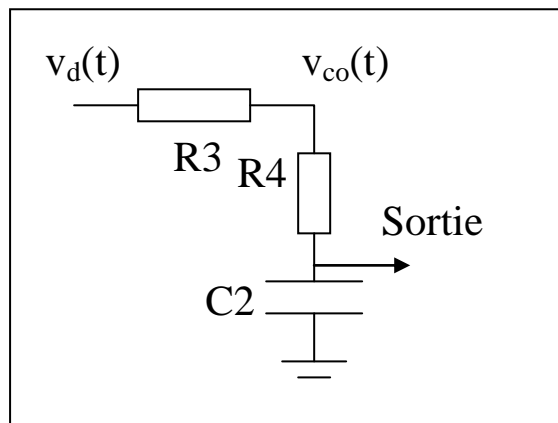


Figure 3 Schéma du filtre Passe Bas

a) Signal Sinusoïdal

Calculez la fonction de transfert de ce filtre $V_{co}(p)/V_d(p)$ avec dans ce cas $p=j\omega$.

b) Signal carré

Exprimez V_{co} en fonction de $\Theta_e - \Theta_s$ pour le comparateur 1 à XOR

Exprimez la valeur moyenne de V_{co} en fonction de la différence de phase moyenne $\langle \Theta \rangle = \langle \Theta_e - \Theta_s \rangle$ pour le comparateur 2

Quelle fonction réalise l'association en série du XOR et du filtre passe-bas ?

3) Etude du filtre passe-bas

Calculez la fonction de transfert du système en boucle fermée $\frac{\Theta_s(p)}{\Theta_e(p)}$. Identifiez cette fonction de

transfert à un second ordre exprimer ξ le facteur d'amortissement et ω_n la fréquence de centrale de la boucle.

On choisira $\xi = 0.5$ pour permettre à la boucle de réagir relativement vite. Si l'on prend le cas d'une ligne minitel en réception on a $V = 1200 \text{ Bds}^{-1}$. On choisira la pulsation de coupure de l'asservissement ω_n voisine de $2\pi V/2$.

Si on choisit $C_2 = 10 \text{ nF}$, calculer R_3 et R_4 ?

IV MANIPULATION

Alimentez le circuit avec une tension continue constante de 10 V. Placez tous les commutateurs sur "ouvert".

1) L'oscillateur commandé en tension (V.C.O).

Sur la maquette, appliquez entre VCO in (patte 9) et la masse une tension continue réglable de 0 à 10 V. Relevez et tracez la courbe de fréquence f_s de VCO out en fonction de VCO in. Comparez avec les calculs théoriques effectués pendant la préparation.

2) Plage de Verrouillage et démodulation FSK

Déterminez expérimentalement la bande de capture. Régler le signal modulant carré compris entre 0 et 10V sur l'entrée de la modulation externe de votre GBF. Régler les amplitudes et sa valeur moyenne pour obtenir des fréquences min et max dans la bande de capture.

Tracez le déphasage $\Theta_e - \Theta_s$ en fonction de f_e dans la bande de capture. Justifiez théoriquement cette courbe en considérant que $v_{CO} = \bar{v}_d$ en régime stationnaire.

Identifiez la réponse du démodulateur FSK (dépassement et temps de réponse) ; comparez aux valeurs théoriques

NB La documentation concernant la PLL 4046 se trouve en annexe