

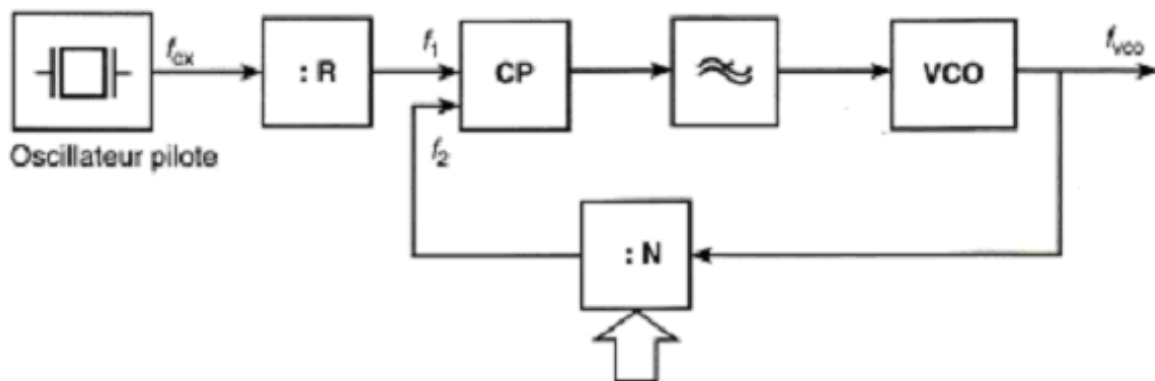
**EXAMEN 2013/2014**  
**BOUCLES A VERROUILLAGE DE PHASE**  
**(Epreuve sans documents)**

**EXERCICE 1 :**

**Synthétiseur de fréquence à PLL**

On souhaite concevoir un synthétiseur de fréquence à PLL pour un émetteur FM ayant les caractéristiques suivantes :

- fréquence de la porteuse pouvant varier de 144 MHz à 148 MHz par pas de 5 kHz.
- fréquence de l'oscillateur pilote :  $f_{CX} = 5$  MHz.



On suppose la PLL verrouillée.

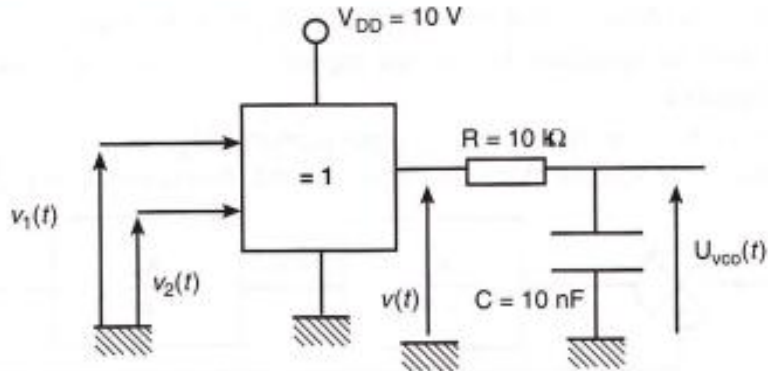
- a. Que peut-on dire des fréquences  $f_1$  et  $f_2$  ?
- b. Déterminer l'expression de la fréquence du VCO,  $f_{VCO}$ , en fonction de  $f_{CX}$ , N et R.
- c. Quelle est l'expression du pas de fréquence du synthétiseur ?  
En déduire la valeur de la fréquence des signaux appliqués à l'entrée du comparateur de phase.
- d. Calculer la valeur R du diviseur de fréquence fixe, en déduire le nombre de bits nécessaires pour coder R en binaire.
- e. Calculer les valeurs  $N_{\min}$  et  $N_{\max}$  du diviseur de fréquence programmable pour obtenir la plage de fréquence souhaitée.  
En déduire le nombre de bits nécessaires pour coder N en binaire.

## EXERCICE 2 :

### PLL utilisant un OU exclusif

#### 1) Comparateur de phase

On utilise un OU exclusif associé à un filtre passe-bas.



$v_1(t)$  et  $v_2(t)$  sont des signaux créneaux 0 V – 10 V, de rapport cyclique 0,5 et de fréquence  $f_A = 100$  kHz.

1.1)  $v_2(t)$  est en retard de  $\frac{T_A}{4}$  par rapport à  $v_1(t)$ .

Représenter  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  et  $v(t)$ .

Que vaut la valeur moyenne de  $v(t)$  :  $\langle v \rangle$  ?

1.2) On note  $\varphi$  le déphasage associé au retard  $t_d$  de  $v_2(t)$  par rapport à  $v_1(t)$  :

$$\varphi = 2\pi \left( \frac{t_d}{T_A} \right).$$

Représenter la caractéristique de transfert statique :  $\langle v \rangle$  pour  $0 < \varphi < 2\pi$ .

En déduire l'expression et la valeur numérique du coefficient de sensibilité du comparateur de phase  $K_d$  pour la partie linéaire de la caractéristique.

#### 2) Oscillateur contrôlé en tension : V.C.O.

Pour une tension de commande  $u_{vco}$  variant de 0 V à 10 V, la fréquence du VCO évolue linéairement de 20 kHz à 180 kHz.

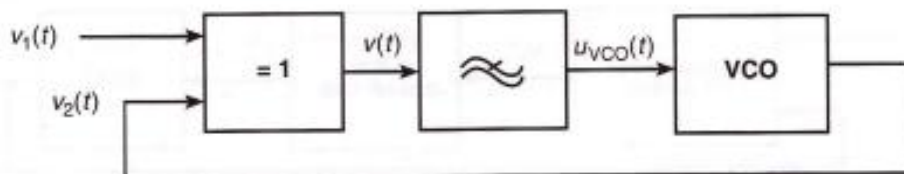
Représenter la caractéristique de transfert du VCO :  $f_{vco}(u_{vco})$ .

Indiquer la valeur numérique de la fréquence centrale  $f_A$  du VCO.

En déduire la valeur numérique de  $K_0 = \frac{\Delta\omega_{vco}}{\Delta u_{vco}}$ .

#### 3) Étude du verrouillage : régime statique

On réalise l'asservissement suivant :



On suppose la PLL verrouillée soit :  $f_{VCO} = f_1$  ( $f_1$  fréquence du signal d'entrée).

Déterminer la valeur de la plage de verrouillage :  $\Delta f_L = f_{\max} - f_{\min}$ .

Quel est le déphasage de  $v_2(t)$  par rapport à  $v_1(t)$  pour  $f_1 = f_{\min}$  et  $f_1 = f_{\max}$  et que vaut la tension de commande du VCO pour ces deux fréquences ?

#### 4) Étude dynamique de la PLL en « petits signaux »

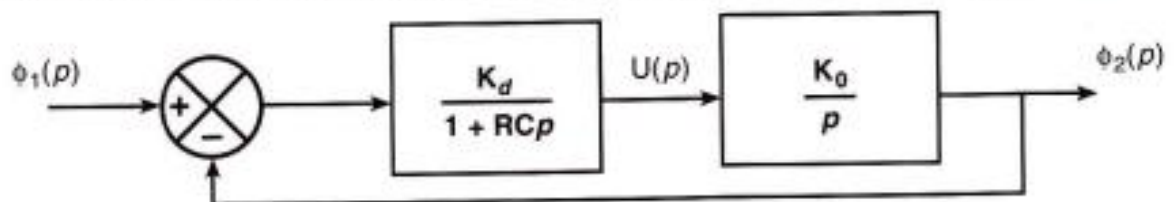
On choisit comme point de fonctionnement la fréquence centrale du VCO  $f_A$  avec  $u_{VCO} = U_A$ .

On appelle  $\varphi_1$  la phase à l'origine de  $v_1(t)$  et  $\varphi_2$  la phase à l'origine de  $v_2(t)$ .

Soit  $\omega_1$  l'écart de pulsation de  $v_1(t)$  par rapport à  $\omega_A$  et  $\omega_2$  l'écart de pulsation de  $v_2(t)$  par rapport à  $\omega_A$ .

On note  $u(t)$  l'écart de tension de  $u_{VCO}(t)$  par rapport à  $U_A$ .

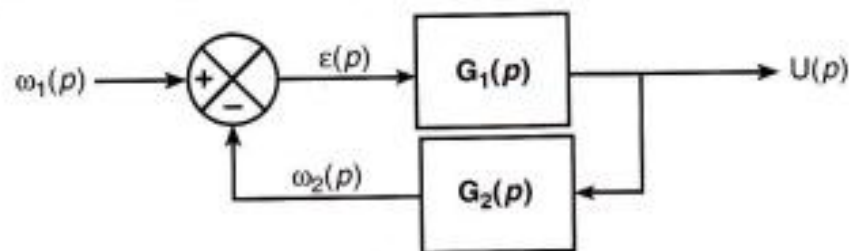
On obtient alors le schéma bloc suivant pour la PLL fonctionnant en régime linéaire :



4.1) Calculer la fonction de transfert en boucle fermée  $H(p) = \frac{\phi_2(p)}{\phi_1(p)}$  et la mettre sous la forme canonique d'un second ordre passe-bas.

En déduire les valeurs de  $H_0$ ,  $\omega_0$  et  $m$ .

4.2) On représente un nouveau schéma bloc de la PLL en prenant comme grandeur d'entrée  $\omega_1(p)$  et comme grandeur de sortie  $U(p)$ .



Exprimer les transmittances  $G_1(p)$  et  $G_2(p)$ .

4.3) Le VCO se comporte en fait comme un premier ordre de constante de temps  $\tau_1 = 3 \mu s$ .

Représenter le nouveau schéma bloc et montrer que la transmittance de boucle est donnée par :

$$T(p) = \frac{\omega_2(p)}{\epsilon(p)} = \frac{K_d K_0}{p(1 + \tau p)(1 + \tau_1 p)} \quad \text{avec } \tau = RC.$$

Calculer la marge de gain  $M_G$  et la marge de phase  $M_\phi$  du système bouclé : conclusion.