TD8 : Modulation et démodulation FM pour la vidéo
On effectue les hypothèses suivantes :

- Les deux signaux $\begin{cases} d_r(t) \text{ transmis en FM à } f_r \text{ avec } \Delta f_r = 280kHz \\ d_b(t) \text{ transmis en FM à } f_b \text{ avec } \Delta f_b = 230kHz \end{cases}$

- Modulante FM de constante caractéristique k_f $(Hz.V^{-1})$

- $\begin{cases} d_r(t) \\ d_b(t) \end{cases}$ de spectre inclut dans $[0; B_0 = 2MHz]$

1.

$$s_r(t) = A_2 cos(2\pi f_r t + \phi_r(t)) \text{ avec } \begin{cases} \Phi_r(t) = 2\pi f_r t + \phi_r(t) \\ \phi_r(t) = \text{dérivation en phase} \end{cases}$$

La fréquence instantanée est :

$$\begin{aligned} f_i(t) &= \frac{1}{2\pi}\frac{d\Phi(t)}{dt} \\ &= f_r + \frac{1}{2\pi}\frac{df_r(t)}{dt} \end{aligned}$$

La dérivation de phase instantanée est donc :

$$\Delta f(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{df_r(t)}{dt}$$

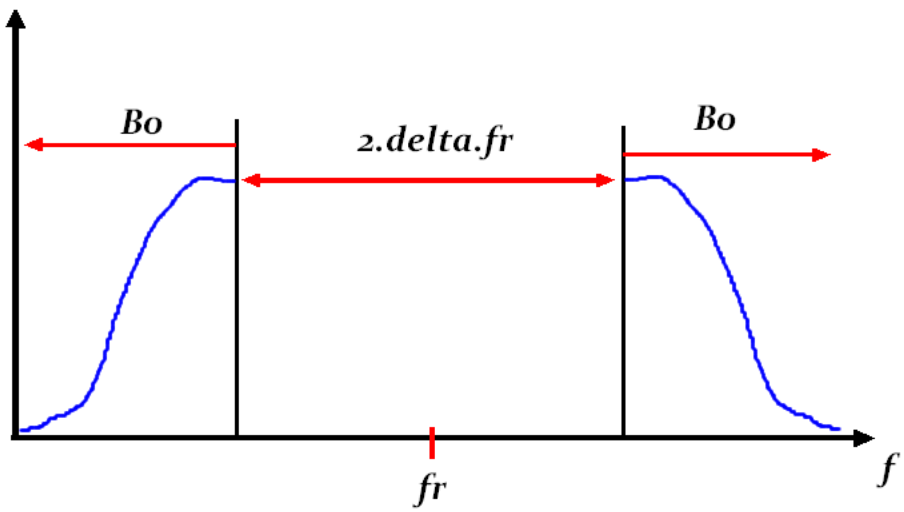
De plus, on a $\Delta f(t) = k_f d_r(t)$, d'où :

$$s_r(t) = A_2 cos(2\pi f_r t + 2\pi k_f \int_0^t d_r(u)du)$$

L'excursion en fréquence est alors $|\Delta f|_{max} = \Delta f_r$

2. Déterminons l'indice de modulation β_r :

$$\beta = \frac{\text{excursion en fréquence}}{\text{frequence max du modulant}} \beta_r \qquad = \frac{\Delta f_r}{B_0}$$



3. Determinons l'encombrement en frequence B_{ur} :

   Règle de Carson :
   L'encombrement utile en fréquence d'une modulation FM est :

$$B_{ur} = 2B_0(1+\beta) = 2(B_0 + \Delta f_r) = 4.56MHz$$

4. Quand la PLL est accrochée, les fréquences instantanées des signaux d'entrée et de sortie de la PLL sont égales donc :

$$f_e(t) = f_r + k_r d_r(t)$$

5. Où retrouve-t-on le signal modulant? on a :

$$f_e(t) = f_r + k_{VCO} v_m(t)$$

   or,

$$f_e(t) = f_r + k_r d_r(t)$$

   d'où,

$$v_m(t) = \frac{k_r d_r(t)}{k_{VCO}}$$

   On retrouve le signal modulant en entrée du VCO.

6. Il faut que la caractéristiqu $f_e(t) = f_r + k_{VCO} v_m$ soit linéaire sur l'intervalle $[f_r - \Delta f_r ; f_r + \Delta f_r]$

7. Le schéma bloc associé est :

8. On commence par exprimer avec la formule de Black : $\frac{V_m(p)}{\Phi_{sr}(p)} = \frac{K_\Phi F(p)}{1+K_\Phi F(p) K_{VCO} \frac{2\pi}{p}}$
   $\Phi_{sr}(t)$ est tel que $f_{sr}(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d\Phi_{sr}(t)}{dt}$
   Après transformée de Laplace, on a :
   $$F_{sr}(p) = \frac{1}{2\pi} p \Phi_{sr}(p) \Rightarrow \Phi_{sr}(p) = \frac{2\pi}{p} F_{sr}(p)$$
   d'où :
   $$\frac{V_m(p)}{F_{sr}(p)} = \frac{K_\Phi F(p) \frac{2\pi}{p}}{1 + K_\Phi F(p) K_{VCO} \frac{2\pi}{p}}$$
   On fait l'hypothèse que les deux filtre passses bas sont envisagées avec :
   cas 1 : $T_{01}(p) = \frac{2\pi K_\Phi K_{VCO}}{p(1+RCp}$
   cas 2 : $T_{02}(p) = 2\pi K_\Phi K_{VCO} \frac{1+RCp}{R_2 C p^2}$

9. Ammortissement ξ et bande passante $f_B F$ de la PLL

   Exprimons la FTBF pour le filtre F1
   $$\frac{V_m(p)}{F_r(p)} = \frac{1}{K_{VCO}} \frac{1}{1 + \frac{1}{2\pi K_\Phi K_{VCO}} p + \frac{RC}{2\pi K_\Phi K_{VCO}} p^2}$$
   On identifie :
   $$f_{BF} = \sqrt{\frac{K_\Phi K_{VCO}}{2\pi RC}}$$
   $$\xi = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi K_\Phi K_{VCO} RC}}$$
   Exprimons la FTBF pour le filtre F_2 :
   $$\frac{V_m(p)}{F_r(p)} = \frac{K_\Phi (\frac{1+R_1 Cp}{R_2 Cp}) \frac{2\pi}{p}}{1 + K_\Phi \frac{1+R_1 Cp}{R_2 Cp} K_{VCO} \frac{2\pi}{p}}$$
   $$= \frac{\frac{(1+R_1 Cp)}{K_{VCO}}}{1 + R_1 Cp + \frac{R_2 C p^2}{2\pi K_\Phi K_{VCO}}}$$
   $$f_{BF} = \sqrt{\frac{K_\Phi K_{VCO}}{2\pi R_2 C}}$$
   $$\xi = \frac{R_1 C}{2} \sqrt{\frac{2\pi K_\Phi K_{VCO} RC}{R_2 C}}$$

Conclusion : Il est plus facile de régler la PLL avec F_2, car on peut régler indépendemment f_{BF} et ξ via R_2 et R_1

10. 10 Réglage de f_{BF} Il faut $f_{BF} > B_0$ pour que le signal informatif soit correctement restitué.

11. Erreurs de phase

$$\begin{aligned}\Phi_\epsilon(p) =& \Phi_{sr}(p) - \Phi_e(p)\\ &\vdots\\ =&\Phi_{sr}(p)\frac{1}{1 + K_\Phi K_{VCO} F(p)\frac{2\pi}{p}}\end{aligned}$$

Si une rampe de phase (ie, un échelon de fréquence) est appliqué en entrée de la PLL, on a : $\Phi_{sr}(p) = \frac{\Phi_0}{p^2}$
Pour le filtre F_1 on a,

$$\Phi_\infty = \frac{\Phi_0}{2\pi K_\Phi K_{VCO}}$$

Pour le filtre F_2 on a,

$$\Phi_\infty = 0$$

12. Conclusion : F_2 est plus intéressant et permet d'annuler l'erreur de phase.