

Filtre en peigne (F4DXU)

<http://pagesperso-orange.fr/F4DXU/>

Le filtre en peigne (figure 1) possède une structure de filtre à capacité(s) commutée(s). Ce type de filtre est intermédiaire entre le filtre analogique et le filtre numérique. Les différents interrupteurs sont commandés successivement pendant une durée $\frac{T_0}{N}$, T_0 étant la période de récurrence et N le nombre de cellule élémentaire de commutation. La tension $V_s(t)$ représente la tension aux bornes du condensateur correspondant chargé à $V_e(t)$ pendant cette période.

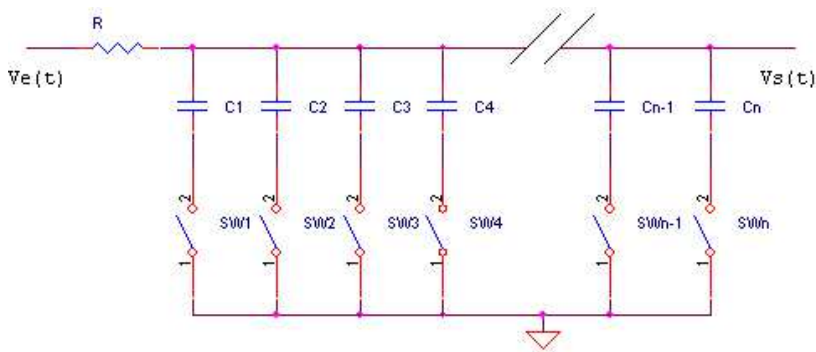


figure 1

Les différents signaux de commande des interrupteurs sont représentés figure 2, ils montrent qu'un seul condensateur est commuté à la fois.

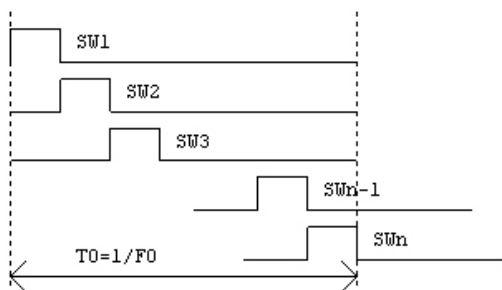


figure 2

Appliquons une tension $V_e(t)$ périodique de période T , chaque condensateur se charge à une tension qui est la valeur moyenne de $V_e(t)$ pendant cet intervalle et cela au bout d'environ $5.N.R.C$ (pseudo temps de charge). Lorsque $T=T_0$ la forme d'onde à la sortie $V_s(t)$ est représentée figure 3 (pour 8 commutateurs).

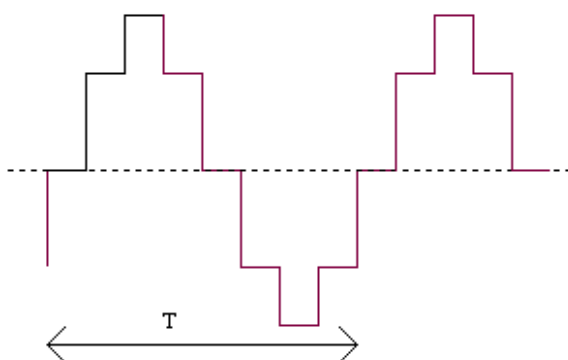
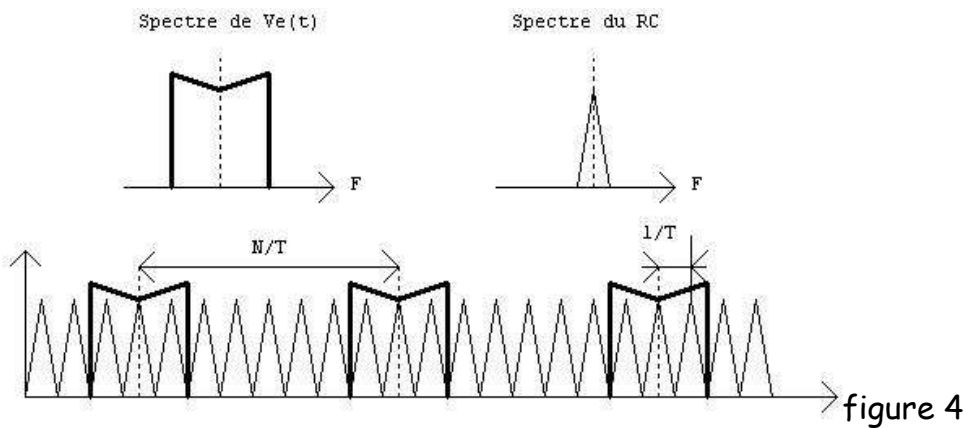


figure 3

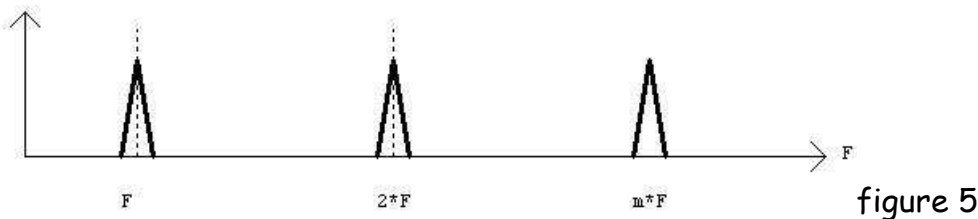
Si le signal $V_e(t)$ n'a pas exactement la période T_0 mais $T' \neq T_0$ la situation se complique et la fenêtre de charge de l'un des condensateurs glisse le long de la période. La tension observée aux bornes de chaque condensateur est un battement de période $T' - T_0$ et dont l'amplitude dépend de l'écart de fréquence.

Si le système comporte 4 cellules, que l'on prélève les tensions aux bornes des condensateurs et que l'on en fait la somme algébrique avec la phase qui va bien on obtient le détecteur (QSD) réalisé par Jean Pierre F1AFJ.

Revenons au filtre en peigne ($T = T_0$), le calcul du filtre est possible mais très compliqué, il montrerait que le spectre (figure 4) du signal $V_s(t)$ est le produit du spectre du signal $V_e(t)$ échantillonné avec une période $\frac{T_0}{N}$ multiplié par la fonction de transfert du filtre RC périodisée avec la période $\frac{1}{T_0}$ (et on reprend sa respiration).



Si le signal d'entrée $V_e(t)$ est de forme quelconque mais périodique de période T_0 , son spectre est formé de raies distantes de $\frac{1}{T_0}$, or la périodisation de la fonction de transfert d'une cellule RC donne des pics qui sont précisément centrés sur ces mêmes fréquences. L'ensemble se comporte comme un filtre qui ne laisse passer que les harmoniques du signal (figure 5).

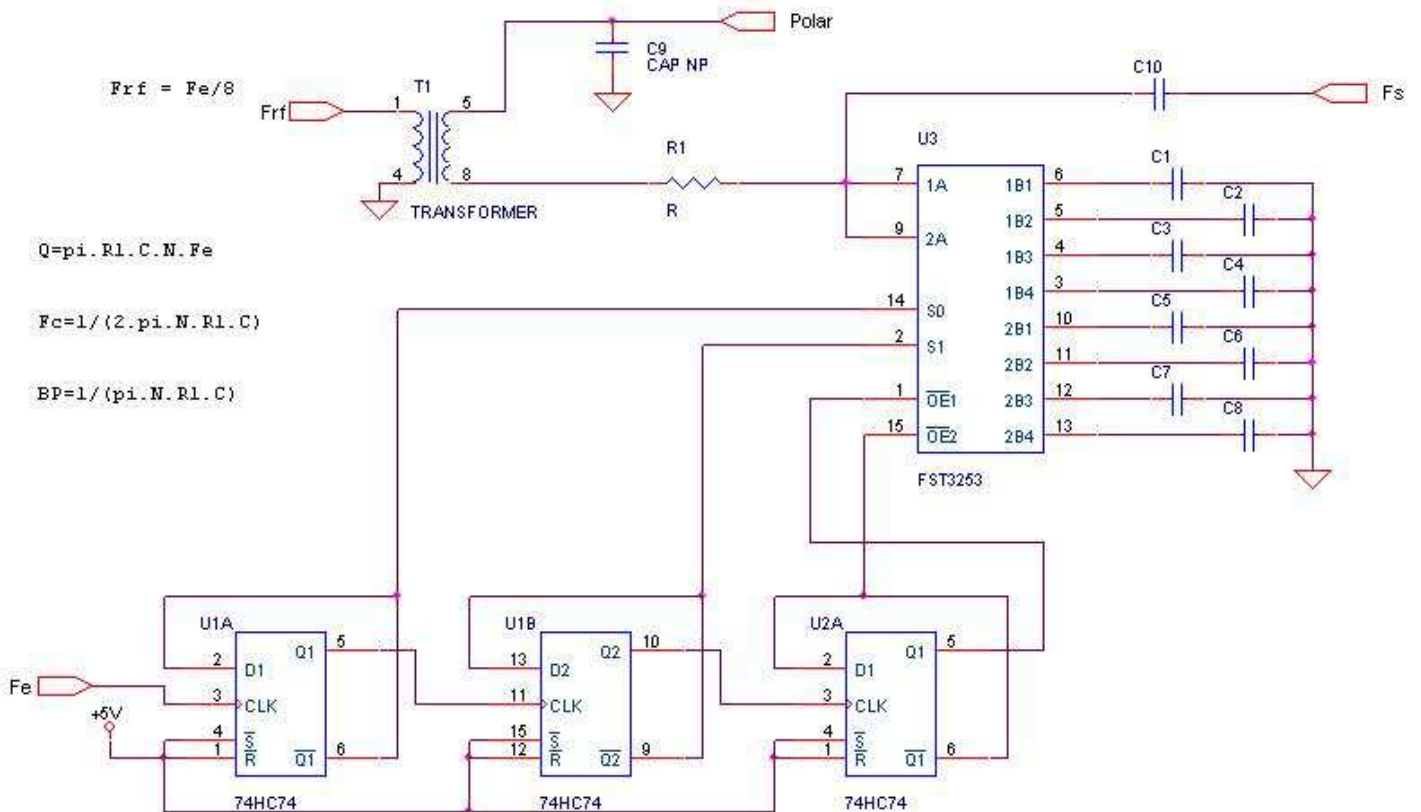


Tous ceci n'existe que lorsque la fréquence de $V_e(t)$ est égale ou très proche de la fréquence F_0 de récurrence, très rapidement lorsque la fréquence de $V_e(t)$ s'éloigne de F_0 plus rien ne traverse le filtre. En effet la fréquence de coupure de chaque cellule RC est transformée par la périodisation et devient $F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot R \cdot C}$, la bande passante du filtre devient $BP = \frac{1}{\pi \cdot N \cdot R \cdot C}$ et le coefficient de qualité $Q = \pi \cdot R \cdot C \cdot N \cdot F_0$.

Exemple, si $F = 137\text{KHz}$, $R = 1\text{Kohm}$, $C = 0.1\mu\text{F}$, $RC = 100\mu\text{s}$, $F_c = 19,9\text{Hz}$, $BP = 39\text{Hz}$ à -3dB et $Q = 3443$!

Cette technique permet de réaliser des filtres passe-bande extrêmement étroits irréalisables autrement, on peut en ajuster la fréquence centrale et la bande passante.

Schéma de principe du filtre en peigne



Pour la clarté du schéma, les alimentations ne sont pas représentées

Schéma 1

Tests et mesures

Les conditions des mesures sont les suivantes :

$R_1 = 12K\Omega$

$C_1 \text{ à } C_8 = 1\mu F$

$F_0 = 13595 Hz$

Oscilloscope Tektronix 2230

Voltmètre RMS Fluke 8922A

Générateur BF Topward electric instruments (fréquence d'échantillonnage)

Générateur BF Stanford Research systems DS345 (fréquence F_0)

La fonction de transfert du filtre est représentée sur les tracés 1 et 2.

Les pertes d'insertion à F_0 sont inférieures à 0.1dB, à $2 \cdot F_0 = -2dB$, à $3 \cdot F_0 = -3.2dB$ à $4 \cdot F_0 = -5dB$, à $7 \cdot F_0 = -17dB$ et à $8 \cdot F_0 (N \cdot F_0) = \text{plancher}$. L'enveloppe des harmoniques suit la forme d'un sinus cardinal.

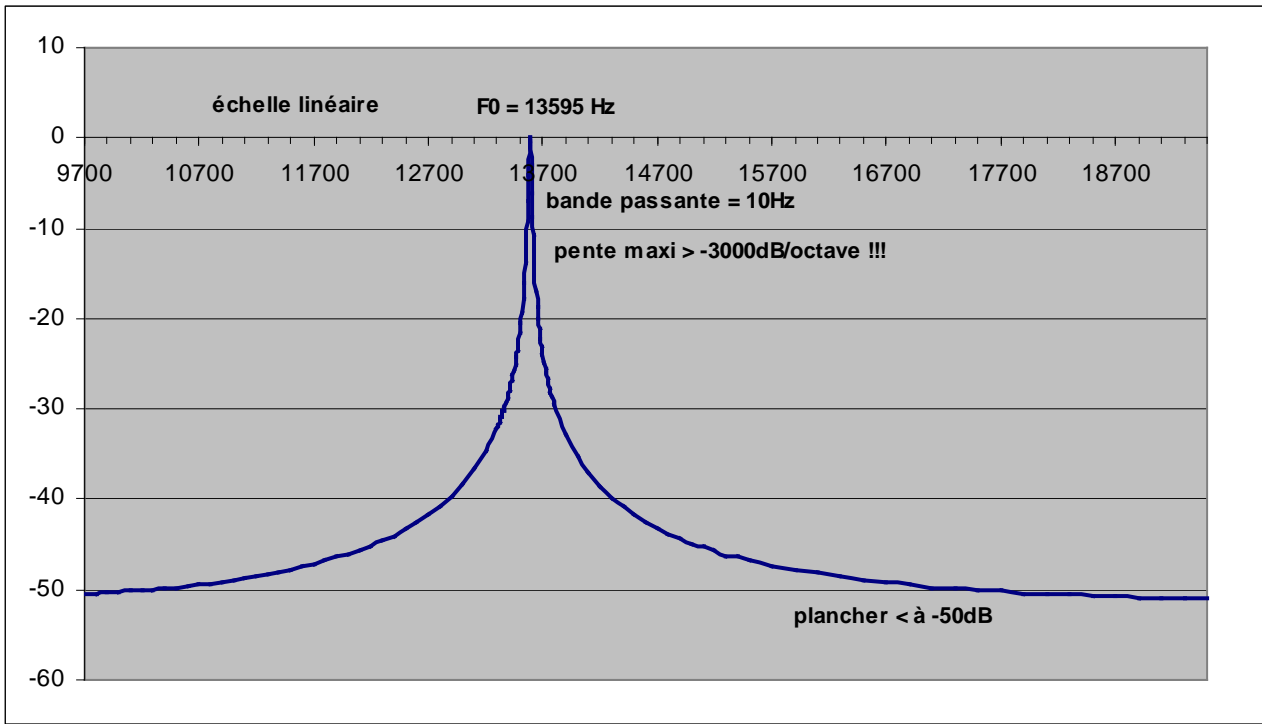
La bande passante calculée est de 3.3Hz, mesurée environ 10Hz, l'écart est dû, pendant la mesure, à la stabilité médiocre du générateur de fréquence d'échantillonnage.

Le coefficient de surtension calculé = 4100 à F_0 , 8200 à $2 \cdot F_0$, etc.

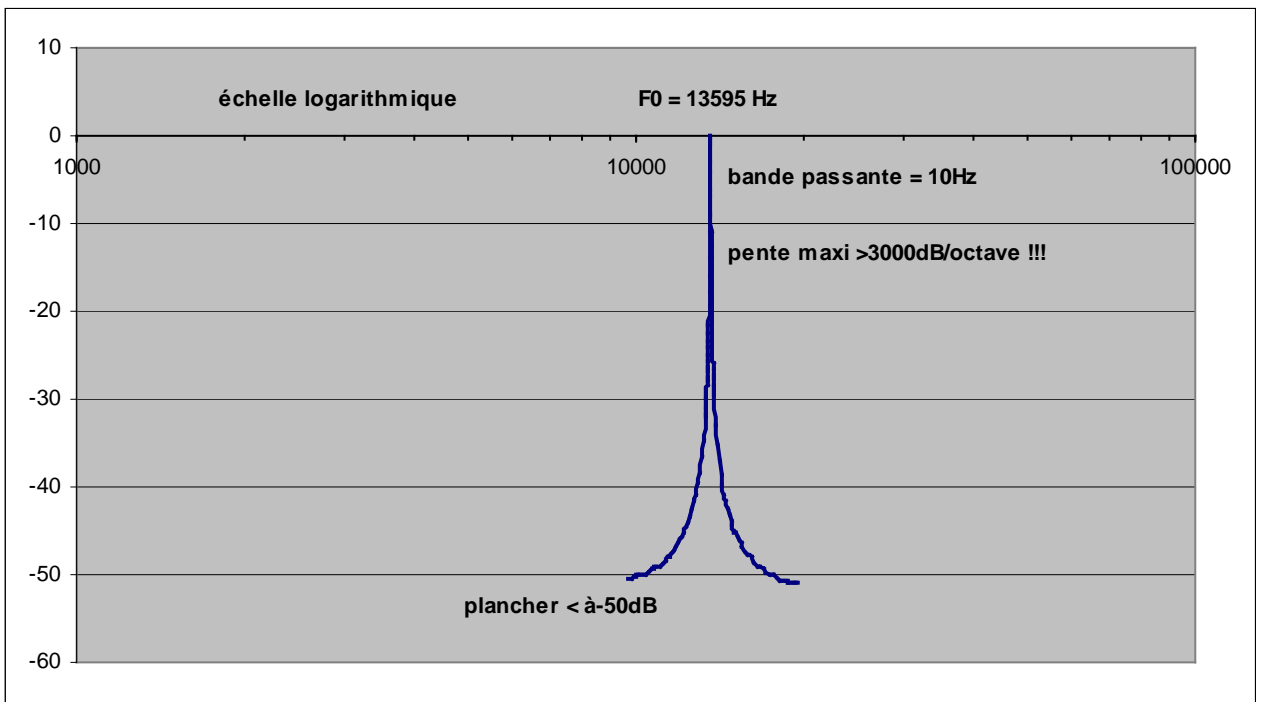
La pente maximale est supérieure à 3000dB/octave !!!

Le plancher est inférieur à -50dB

La plupart du temps, ce sont les artefacts d'échantillonnage et de commutation, les imperfections des commutateurs qui limitent la valeur du plancher.



tracé 1



tracé 2

Le tableau (synthèse) résume les effets de la variation de certains éléments du filtre.

Augmentation de	Pertes d'insertion	Dynamique	Plancher	Bande passante
N : nombre de capacités	↓	↑	=	↓
R	↑	↓	↑	↓
C	=	↑	↓	↓
Ron	=	↓	↑	=

synthèse

Première évolution :

L'idée est de conserver les propriétés du filtre en peigne (étroitesse de la bande passante et raideur des pentes) tout en effectuant un changement de fréquence à zéro FI suivi d'un détecteur de crête. Ce système ne permettra plus la réception panoramique comme dans le cas du QSD. Après moult essais et réflexions, je me suis aperçu que le détecteur pouvait être simplifié à l'extrême tout en conservant l'essentiel de ses propriétés.

En effet, les capacités sur lesquelles aucun signal n'est utile ou prélevé peuvent être supprimées (schéma 2). Seuls deux « échantillonnages blocages » sont conservés et permettent d'identifier le signal radio fréquence par ressemblance (corrélation). Les informations utiles sont prélevées et soustraites de manière à conserver un fort taux de réjection du mode commun.

Bibliographie :

- J. AUVRAY Systèmes électroniques 2000-2001
- Thèse de Ahmed EL OUALKADI ENSIP Poitiers 2004

Bonne bidouille, Jean Marc F4DXU