

## Réalisation d'un filtre actif accordable (Application à l'analyse harmonique)

par J.P. LIÈVRE  
Lycée du Parc, 69006 Lyon

### 1. INTRODUCTION

Le montage proposé est un filtre actif, passe-bande, dont la fréquence centrale  $f_c$  est commandée par un générateur basse fréquence extérieur et connue avec précision. Ce filtre permet l'analyse du spectre de tensions périodiques, de forme quelconque, dans le domaine de fréquences [0,5 kHz], ce qui permet d'illustrer expérimentalement le théorème de Fourier.

### 2. NOTIONS SUR LES FILTRES À CAPACITÉS COMMUTÉES

Le réglage de la fréquence centrale  $f_c$  d'un filtre passe-bande est généralement effectué grâce à la variation de résistance(s) ou de condensateur(s) mais il est difficile de réaliser une commande **linéaire** de  $f_c$  dans un grand domaine de fréquences ainsi qu'une détermination **précise** de  $f_c$ .

La technique des capacités commutées fournit une solution : elle consiste à simuler une résistance, variable en fonction d'une fréquence d'«horloge»  $f_h$ , au moyen d'un condensateur de capacité  $C$  et d'un commutateur  $K$  dont la fréquence de commutation est  $f_h$  (figure 1) :

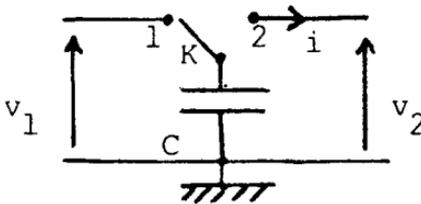


Figure 1

Lorsque  $K$  est en 1 la charge du condensateur est  $q_1 = C.v_1$ , lorsqu'il est en 2 elle devient  $q_2 = C.v_2$  ; à chaque commutation  $1 \rightarrow 2$  il y a donc transfert de la charge  $C.(v_1 - v_2)$  de 1 vers 2. Si la fréquence de commutation est  $f_h$  ces transferts de charge sont équivalents à un courant dont l'intensité  $i$  est :  $i = C.(v_1 - v_2).f_h$ .

Le montage de la figure 1 permet donc de simuler une résistance  $R = (v_1 - v_2)/i = 1/C.f_h$  inversement proportionnelle à la fréquence d'horloge  $f_h$ . Utilisées dans des filtres, ces capacités commutées permettent d'obtenir des fréquences de coupure fonctions linéaires de  $f_h$ , fréquences qui peuvent être connues avec une grande précision.

Cette technique est mise en jeu dans différents circuits intégrés (constructeurs : National Semiconductor, Reticon, Thomson...) et en particulier dans le circuit MF 10 de N.S. ; ce circuit permet la réalisation de deux filtres du second ordre qui peuvent être mis en cascade comme dans le montage suivant [1].

### 3. DESCRIPTION DU MONTAGE (figure 2)

Dans le montage de la figure 2 chacune des deux sections du MF 10 est connectée de manière à réaliser un filtre passe-bande du second ordre de facteur de qualité  $Q = 27$ , les deux sections mises en cascade ont alors un facteur de qualité théorique de 42.

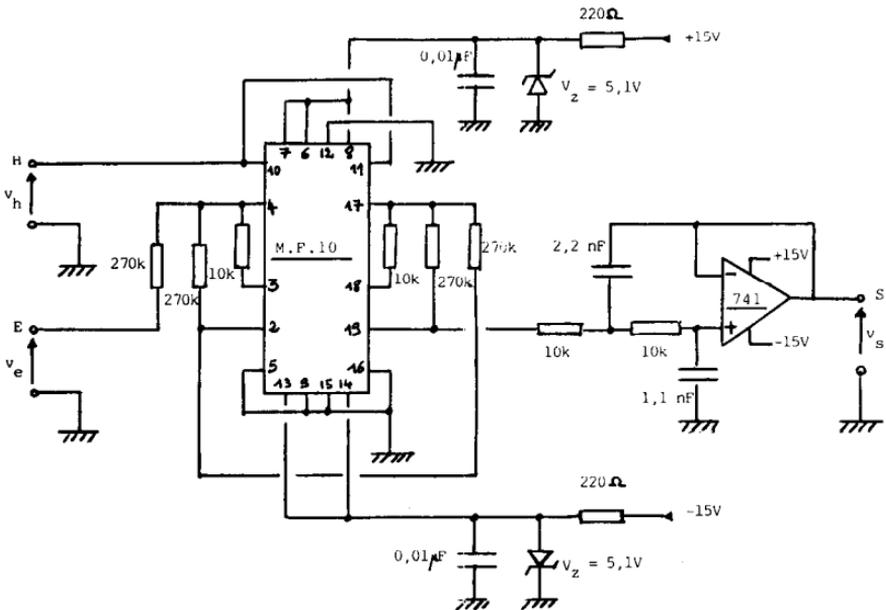


Figure 2

La fréquence centrale  $f_c$  du filtre est  $f_h/100$  où  $f_h$  est la fréquence du signal d'horloge  $v_h$ , ce signal peut être fourni par un générateur basse fréquence possédant une sortie TTL ( $v_h$  est alors une tension carrée variant

entre 0 et 5 volts) ; à défaut d'un tel générateur on réalisera le circuit d'interface de la figure 3 qui, à partir d'un générateur B.F. quelconque donnant des signaux carrés d'amplitude supérieure à 5 volts, permet d'obtenir un signal d'horloge convenant au MF 10. (Le circuit MF 10, cependant, ne relève pas de la technologie TTL).

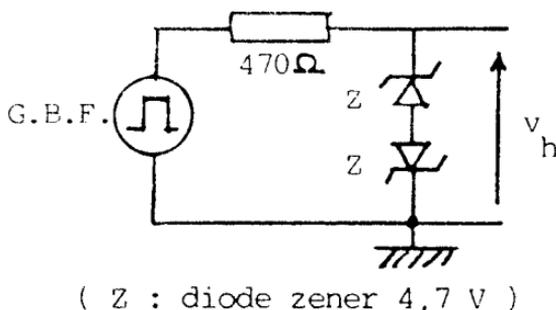


Figure 3

Le filtre à capacités commutées MF 10 est suivi d'un filtre actif du type passe-bas, réalisé au moyen d'un amplificateur opérationnel du type 741, de fréquence de coupure voisine de 10 kHz et dont la réponse est pratiquement «plate» dans le domaine [0,5 kHz] qui est donc le domaine de fonctionnement du montage. Ce filtre est destiné à éliminer les composantes de haute fréquence présentes à la sortie du MF 10, composantes résultant des commutations mises en jeu. (Il sera d'ailleurs intéressant d'observer, à l'oscilloscope, le signal avant et après filtrage par le filtre actif construit autour du «741»).

L'alimentation symétrique  $-15\text{ V}$ ,  $0$ ,  $+15\text{ V}$  pourra être quelconque, la consommation du montage étant inférieure à 40 mA [2].

**Remarques importantes :** on n'omettra pas les condensateurs de découplage du MF 10, condensateurs de  $0,01\ \mu\text{F}$  (10 nF) à câbler le plus près possible des pattes du circuit intégré.

Le montage pourra s'effectuer simplement sur une plaquette genre «veroboard» [2] et il sera prudent de disposer des supports pour les deux circuits intégrés ; enfin on manipulera avec précautions le MF 10, comme tout circuit «CMOS».

#### 4. APPLICATIONS

Appliquer à l'entrée du filtre un signal  $v_e(t)$  de fréquence  $f_e = 100\text{ Hz}$  et d'amplitude de l'ordre de 1 ou 2 volts (éviter les trop grandes amplitudes pour que le fonctionnement reste linéaire) ; observer à l'aide d'un

oscilloscope bicourbe ce signal d'entrée  $v_e$  et le signal de sortie  $v_s$  du filtre dont on fait varier la fréquence centrale  $f_c$  :

— pour un signal d'entrée **sinusoïdal**, on observera une seule composante de Fourier pour une fréquence d'horloge  $f_h = 100.f_e = 10$  kHz.

— pour un signal d'entrée **carré**, on observe les composantes de Fourier de fréquences  $(2n + 1).f_e$  ( $n$  : entier), soit donc pour les fréquences d'horloge  $f_h = (2n + 1).100.f_e$  soit  $f_h = (2n + 1).10^4$  Hz, on peut aussi mesurer les amplitudes de ces composantes et vérifier qu'elles décroissent comme  $1/(2n + 1)$ .

— pour un signal d'entrée **triangulaire**, on observe les mêmes composantes aux fréquences  $(2n + 1).f_e$  mais leurs amplitudes décroissent comme  $\left(\frac{1}{2n + 1}\right)^2$

Il est commode d'exploiter les résultats précédents au moyen d'un diagramme log-log où l'on porte en ordonnée l'amplitude des composantes de Fourier et en abscisse leurs fréquences, on vérifie, expérimentalement, que l'on obtient des droites de pentes  $-1$  et  $-2$  pour les signaux carré et triangulaire.

## 5. CONCLUSION

Je tiens à remercier M. MOREAU qui m'a suggéré d'écrire cet article et a accepté de le relire. Après avoir effectué l'analyse spectrale «à la main» le réalisateur de ce filtre aura sans doute envie d'observer directement le spectre du signal d'entrée, c'est-à-dire les amplitudes  $A_n$  des composantes de Fourier en fonction de leurs fréquences, je rappelle que ceci est possible et relativement facile au moyen de l'analyseur de spectre décrit par M. MOREAU dans le B.U.P. n° 675.

## 6. RÉFÉRENCES

- [1] P.W. Gonth, P.A. Johnson, R.K. Hobbie, Am. J. Phys. 53, 1112. (1985).
- [2] P. Néel, B.U.P. n° 675.
- [3] National Semiconductor : notice d'application du filtre MF 10.
- [4] Le filtre MF 10 est disponible chez les dépositaires N.S. ou par exemple chez Pentasonic :
  - Penta 3 : 26, rue de Turin, 75008 Paris.
  - Penta 13 : 10, boulevard Arago, 75013 Paris.
  - Penta 16 : 5, rue Maurice-Bourdet, 75016 Paris.
  - Penta 69 : 7, avenue Jean-Jaurès, 69007 Lyon.