

DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 20 au 24 MAI 1985

CIRCUIT PREDIFFUSE DESTINE A LA GENERATION DE FILTRES INTEGRES
DE TYPE CAPACITES COMMUTEES

Christian CAILLON

THOMSON-SEMICONDUCTEURS BP 217, 38019 GRENOBLE Cedex - France -

RESUME

Le présent circuit est destiné à la réalisation de filtres intégrés à capacités commutées en utilisant une technique prédiffusée : la structure et les coefficients du filtre sont déterminés au niveau de la gravure aluminium, ce qui réduit les délais et les coûts de réalisation [1][2].

Le marché visé pour ce type de composants est le suivant :

- filtre de prétraitement numérique du signal : filtrage anti-repliement de spectre avant conversion analogique/numérique
- filtre de reconstitution d'un signal numérisé échantillonné-bloqué : filtre de lissage
- filtres à la demande conçu suivant les spécifications de l'utilisateur destinés aux applications entièrement analogiques.

Le domaine des fréquences visées est le domaine BF (10 Hz-50 KHz) pour la première génération. Ce circuit prédiffusé permettra de générer une famille de filtres standards de type "catalogue" et également des filtres adaptés aux besoins particuliers : "CUSTOM".

SUMMARY

This circuit is used for integrated switched capacitors filters realization using a prediffused and prewired technic : a single mask (aluminium mask) allows to fixe filter structure and coefficients, so that, processing delays and costs are reduced.

This new component market is the following :

- digital signal pre-processing filters : anti-aliasing before analog to digital conversion
- smoothing filters after digital to analog conversion
- semi custom filters for special analog applications

Frequency domain is from 10 Hz to 50 KHz for the first generation. This prediffused circuit will allow to generate a standard filter family (catalog family) and to specialize filters with any gauges for custom applications.



CIRCUIT PREDIFFUSE DESTINE A LA GENERATION DE FILTRES INTEGRES
DE TYPE CAPACITES COMMUTEES

1. INTRODUCTION

Le présent circuit est destiné à la réalisation de filtres intégrés à capacités commutées en utilisant une technique prédéfinie : la structure et les coefficients du filtre sont déterminés au niveau de la gravure aluminium, ce qui réduit les délais et les coûts de réalisation [1][2].

Le marché visé pour ce type de composants est le suivant : - filtre de prétraitement numérique du signal : filtrage anti-repliement de spectre avant conversion analogique/numérique

- filtre de reconstitution d'un signal numérisé échantillonné-bloqué : filtre de lissage

- filtres à la demande conçu suivant les spécifications de l'utilisateur destinés aux applications entièrement analogiques.

Le domaine des fréquences visées est le domaine BF (10Hz-50KHz) pour la première génération. Ce circuit prédéfini permettra de générer une famille de filtres standards de type "catalogue" et également des filtres adaptés aux besoins particuliers : "CUSTOM".

2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU CIRCUIT

Le coeur du circuit est composé de 4 cellules identiques d'ordre 2 (cellule biquadratique universelle).

Cette cellule biquadratique est elle-même réalisée à l'aide de 2 intégrateurs différents, à capacités commutées. L'architecture choisie pour cette cellule biquadratique permet la réalisation de la plupart des structures actuellement publiées dans le domaine [3][4][5], en particulier les structures présentant une faible sensibilité aux valeurs de composants.

Les coefficients du filtre sont réalisés par des rapports capacitifs dont la précision est meilleure que 0,5 % avec les technologies actuelles, ce qui permet d'obtenir des filtres de degré élevé sans aucun réglage de la part de l'utilisateur. De plus, le gabarit du filtre est transposable sur l'axe fréquentiel par simple variation de la fréquence d'horloge

(rapport $\frac{F \text{ coupure}}{F \text{ échantillonnage}} = Cte$).

Les rapports capacitifs sont ajustés au niveau aluminium par assemblage de capacités élémentaires de 0.1 pF. Pour répondre à la majorité des applications, des champs de capacités ont été réalisés et le nombre de capacités élémentaires optimisé, à partir de 200 calculs de filtres différents.

Autour du coeur de ce circuit permettant de réaliser des filtres d'ordre 2 à 8, un certain nombre de cellules périphériques sont intégrées : buffer de sortie sortant à basse impédance, générateur de phase d'horloge, chaîne de diviseurs d'horloge, bloc de polarisation des amplificateurs, l'échantillonneur-bloqueur et 2 amplificateurs opérationnels libres permettant de réaliser des filtres anti-repliement et de lissage simples, par quelques composants externes à 10 % (cellule Sallen et Key).

Le schéma synoptique du circuit ainsi que sa réalisation intégrée, sont donnés aux figures 1 et 2.

3. LOGICIELS DE SYNTHESE ET DE SIMULATION DE FILTRES A CAPACITES COMMUTEES

En parallèle avec la réalisation de ce circuit, une chaîne CAO spécialisée pour le calcul des filtres a été mise en place : elle permet le calcul de la plupart des filtres usuels (Cauer, Chebychev, Legendre, Butterworth) en utilisant des transformées en z du type bilinéaire ou LDI (Lossless Discrete Integration). Pour les filtres présentant des contraintes particulières en gain, phase ou temps de propagation de groupe, un programme d'optimisation des pôles et zéros en z a été mis en place.

Actuellement, une structure cascade est utilisée pour ce type de filtre, mais une étude est en cours pour réaliser des structures moins sensibles aux composants.

Un compilateur de filtre prédéfini est également en cours d'étude avec l'Université Catholique de Louvain (Belgique). Ce programme devrait pouvoir, à terme, générer automatiquement le masque aluminium de spécialisation à partir d'un gabarit donné.

Le synoptique de la chaîne CAO actuelle est donné en Figure 3.

4. EXEMPLES DE REALISATION

A ce jour une vingtaine de filtres ont déjà été réalisés sur cette base prédéfinie. Quelques types de réalisation sont donnés dans le tableau suivant

Fonction	Type	Ordre	Fe/Fc	Atténuation	Ondulation
Passe-bas	Cauer	5	37.65	33 db à 1.36 Fc	0.1 db
Passe-bas	Cauer	7	37.65	55 db à 1.27 Fc	0.5 db
Passe-bas	Cauer	7	50	75 db à 1.8 Fc	0.1 db
Passe-bas	Chebychev	8	30	—	0.2 db
Passe-bas	Butterworth	8	30	—	maxim. flat
Passe-haut	Cauer	3	160	15 db à 0.5 Fc	0.2 db
Passe-haut	Cauer	5	64	55 db à 0.5 Fc	0.2 db
Passe-haut	Chebychev	5	128	—	0.2 db
Passe-bande	Chebychev	8	$\frac{F_e}{F_o} = 6.8$	—	0.1 db

Fe = fréquence d'échantillonnage

Fc = fréquence de coupure

Fo = fréquence centrale

Les performances du premier filtre sont les suivantes : Figure 4

- . gamme de fréquence : 20 Hz - 30 KHz
- . réjection min des alimentations :
 - 15 db pour V+ à Fc
 - 35 db pour V- à Fc
- . tension de bruit dans la bande :
 - 50 Hz + 3.4 KHz = 84 μ Veff
- . rapport signal/bruit (signal 6 Vcrete-crete)=87.5 db

Spécifications applicables à tous les filtres :

Tensions d'alimentation : ± 5 V (± 1 V)

Consommation typique : 50 mW

(sans les ampli OP libres)
(ajustable par résistance externe)

Gamme de fréquence d'échantillonnage : 1 KHz - 1 MHz

CIRCUIT PREDIFFUSE DESTINE A LA GENERATION DE FILTRES
DE TYPE CAPACITES COMMUTEES

Buffer de sortie | impédance de sortie : 3 Ω
 | capacité de charge : 50 pF
 | (marge de phase : 50° dans ces
 | conditions)
 | courant de sortie : 50 mA max
 | dynamique linéaire en ± 5 V : ± 4 V
 Rapport signal/bruit : 80 db
 Gamme de température : - 25°C ; + 125°C
 Réglage du niveau continu de sortie
 2 amplificateurs OP. libres (mêmes caractéristiques
 que le buffer de sortie) : G.BP = 3 MHz sur 50 pF de
 charge
 Boîtiers : 16 broches (avec 2 ampli OP libres)
 8 broches (filtre seul)

- [7] S.C. FANG, Y.P. TSIVIDIS and O. WING
 SWITCAP - A switched capacitor network analysis
 program presented at ECCTD 81, abstract, proc. 81
 Euro. conf. on circuit Theory and design, p. 152
 [8] D. SOKOLOFF
 Filtres elliptiques à capacités commutées simulant
 des filtres passif RLC - notice SOFICAP 2 interne
 à THOMSON SEMICONDUCTEURS

5. CONCLUSION

Ce type de composant devrait remplacer dans les années à venir les filtres actifs usuels et ainsi réduire la complexité et le coût des équipements : 1 seul boîtier, absence de réglage, possibilité de réaliser des filtres de poursuite en réglant la fréquence d'échantillonnage.

Avec 2 résistances et 2 capacités externes à 10%, le filtre à capacités commutées se comporte comme un filtre actif (pas de repliement). Ce type de filtres utilisés en circuit de prétraitement numérique permet au convertisseur A/N et au processeur, de travailler aux conditions limites de Shannon sans nécessiter de suréchantillonnage. C'est le filtre à capacités commutées, particulièrement adapté à ce travail, qui subit le suréchantillonnage. Le processeur numérique est ainsi libéré pour réaliser d'autres traitements.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier : Messieurs C. TERRIER, J. BOREL, E. MACKOWIAK, JP. ROCHE, H. REVET, P. BERNARD, T. FENSCH, M.S. TAWFICK, J. GUYOT*, O. FASSY*
 (*THOMSON DASM CAGNES/MER)

REFERENÇES

- [1] C. CAILLON, T. FENSCH, C. TERRIER
 Filtres à capacités commutées à structure répétitive
 Brevet THOMSON SEMICONDUCTEURS - 4/7/83
 [2] T. FENSCH
 Filtres échantillonnés de faible sensibilité aux contraintes de réalisation en circuits intégrés analogiques et numériques
 Thèse DI le 10.4.84
 [3] P.E. FLEISCHER and K.R. LAKER
 A family of active switched capacitor biquad building block
 The bell technical journal, Vol.S8,n°10,dec.79
 [4] D.J. ALLSTOT
 MOS switched capacitor ladder filter
 Ph.D University of Berkeley (CA), 1979
 [5] K. MARTIN and A. SEDRA
 Exact design of switched capacitor band pass filter using coupled biquad structure, IEEE Trans on Circuits and Systems, Vol.CAS 27,n°6,July 83
 [6] M.S. TAWFICK
 Contribution à la conception de filtres en échelle intégrés (capacités commutées et numérique) Application à l'analyse de la parole par banc de filtres



CIRCUIT PREDIFFUSE DESTINE A LA GENERATION DE FILTRES INTEGRES
DE TYPE CAPACITES COMMUTEES

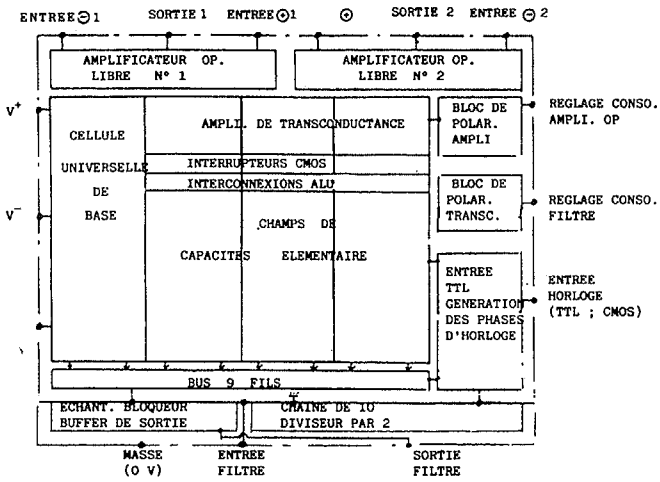


FIGURE 1
Schéma bloc du circuit de filtrage

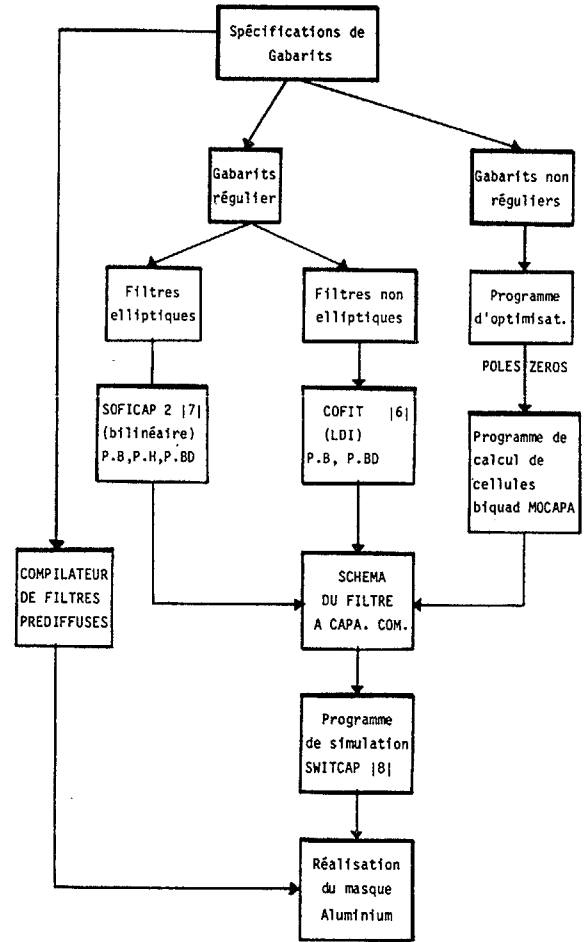


FIGURE 3
Synoptique de la chaîne CAO du calcul de filtres à C.C

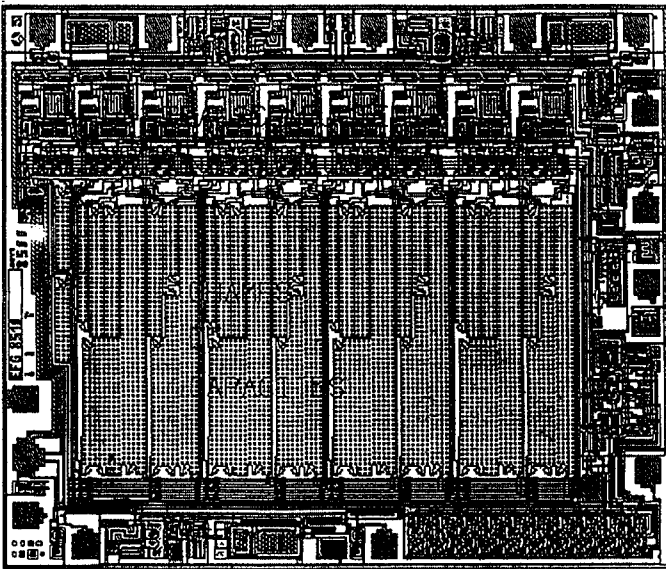


FIGURE 2
Réalisation intégrée du circuit de filtrage prédiffusé

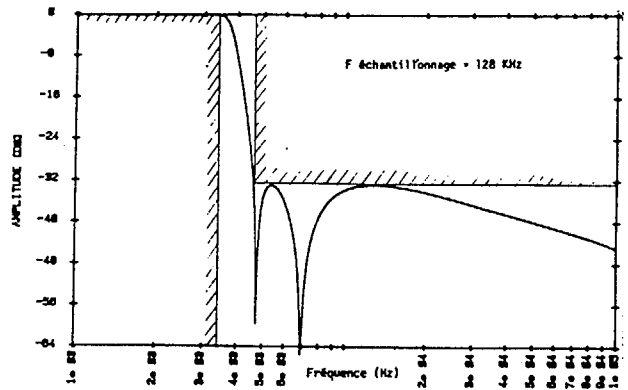


FIGURE 4
Courbe de réponse fréquentielle de filtre n° 1 (mesure)