
Utilisation de la méthode de synthèse des variables d'état pour la réalisation de filtres universels utilisant des CCs et des FDCCs

Jean Bayard *, Anne Marie Bayard **

* GREYC (CNRS UMR6072) ENSICAEN (IUT Alençon)

** Département GEII, IUT de Rouen 76821 Mont Saint Aignan

jean.bayard@unicaen.fr, AnneMarie.Bayard@univ-rouen.fr

Sections de rattachement : 63.

Secteur : Secondaire

***Résumé.** Les circuits fonctionnant en 'mode courant' (plutôt qu'en 'mode tension' comme pour les AOPs classiques) sont de plus en plus utilisés car ils ont une bien meilleure réponse en Hautes Fréquences. Les concepteurs ont donc développé des circuits spécifiques (Current Conveyor...Fully Differential Current Conveyor) pour ce mode de fonctionnement et ils ont proposé un grand nombre de schémas d'oscillateurs et de filtres utilisant ces nouveaux composants. Cependant, la plupart du temps ces 'nouveaux' schémas semblent être le fruit de l'expérience du concepteur, et non le fruit d'une méthode de synthèse précise. Dans cet article nous expliquons, à partir de la synthèse des montages par la méthode des variables d'état, l'origine d'un certain nombre de ces montages et nous proposons le schéma d'un nouveau filtre.*

Mots-clés., filtre universel, Current Conveyor.

1. Introduction

Les tensions étant des grandeurs plus facilement mesurables que les courants, l'électronique s'est d'abord développée dans le 'mode tension'. Le composant universellement adopté pour ce mode de fonctionnement a été l'Amplificateur Opérationnel (AOP). Cependant, le comportement Hautes Fréquences (HF) des montages à base d'AOPs est limité par le fait que leur produit Gain par Bande passante est, en première approximation, constant et par la faible vitesse de montée de leurs signaux de sortie (slew-rate). Pour pallier ces défauts, les concepteurs de circuit ont inventé, dans les années 1970, le 'Current Conveyor' (CC). [1] qui manipule essentiellement des courants. Grâce à ce nouveau mode de fonctionnement, appelé

Mode Courant, la vitesse de montée des signaux de sortie est très élevée ($> 1000\text{V}/\mu\text{s}$) et le phénomène de produit Gain par Bande passante constant disparaît. La phase du courant de sortie par rapport à celle du courant d'entrée donne la polarité du Current Conveyor (CC+ ou CC-). Il est apparu, assez rapidement 2 générations de Current Conveyors (CCI et CCII) [2]. Ces CCs peuvent être de signe positif ou négatif (CCI+, CCI-, CCII+ et CCII-). Les concepteurs ont aussi réalisé des Current Conveyors dont le paramètre de transfert peut être commandé par un courant : Current Controlled Conveyor (CCC) [3]. Ces CCCs permettent de fabriquer des filtres ou des oscillateurs dont les fréquences sont contrôlables électroniquement. Il est aussi bien connu que les structures différentielles ont de nombreux avantages par rapport aux structures non symétriques. Les concepteurs ont donc construit, l'équivalent des amplificateurs différentiels utilisés en mode tension. Ces structures différentielles ont surtout été développées à partir de CCII. Sont donc apparus d'abord le Differential Difference Current Conveyor (DDCCII) [4] puis le Fully Differential Current Conveyor (FDCCII) [5]. La plupart des montages de base du mode tension (filtres, oscillateurs, etc.) ont leur équivalent dans le mode courant. Certains auteurs [6] ont proposé des méthodes de 'transformation automatique' du schéma d'un montage fonctionnant en mode tension (donc à base d'AOps) en un montage ayant les mêmes propriétés mais fonctionnant dans le mode courant (donc à base de CCs). La grande variété de CCs (CCI+, CCI-, CCII+, CCII-,...FDCC) a permis l'élaboration d'un très grand nombre de schémas réalisant les différentes fonctions de base. Cependant, dans l'immense majorité des montages présentés, la découverte du montage n'est pas présentée comme étant le fruit de l'utilisation d'une méthode de synthèse. Elle semble plutôt être due au fruit de l'expérience du concepteur : le présentateur du nouveau schéma n'explique pas son origine mais propose seulement une analyse de son fonctionnement en indiquant les points forts de son montage par rapport à la concurrence. Nous proposons dans cet article d'expliquer, à partir de la méthode de synthèse dite des variables d'états, l'origine d'un grand nombre de ces 'nouveaux' schémas et en particuliers ceux obtenus à partir de DDCCIIs et deFDCCIIs.

2. Historique des Current Conveyors (CC).

2.1. Le Current Conveyor (CC).

Le premier 'Current Conveyor', a été conçu dans les années 70 par Smith et Sedra (figure 1). Son fonctionnement, quand le CC est supposé parfait, est défini par la matrice hybride rappelée dans cette même figure 1. Le courant de sortie, I_z , est égal à $b I_x$. On parle de Current Conveyor positif (CC+) si $b=+1$ et de Current Conveyor négatif (CC-) pour $b = -1$. La valeur de R_x est 'nulle' pour un CC 'de base' ; mais on peut aussi,

dans certains CC, la contrôler par un courant (I_0 , dessiné en pointillé dans la figure 1), on parle alors de Current Controlled Conveyor (CCC) [3].

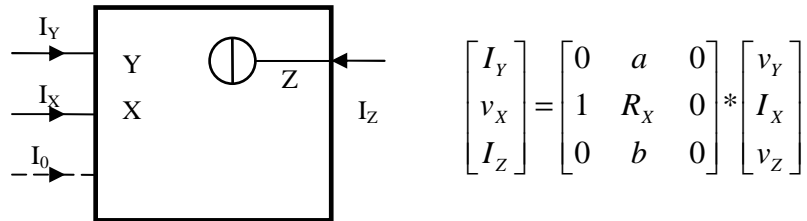


Figure 1. Current Conveyor

Si $a = \pm 1$ il est appelé ‘first (ou third) generation Current Conveyor’ (CCI ou CCIII) ; pour $a = 0$ on parle de ‘second generation Current Conveyor’ (CCII). Le montage le plus utilisé est le CCII qui peut être modélisé (figure 2) par une source de tension contrôlée en tension et une source de courant contrôlée en courant.

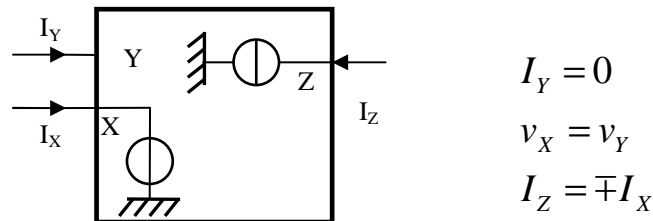


Figure 2. Schéma équivalent d’un CCII

Si le concepteur donne accès aux 2 bornes de la source de courant on dispose, avec le même composant, des 2 polarités possibles pour le Current conveyor.

2.2. Les DDCCIIs et les FDCCIIs.

DDCCII et FDCCII sont, respectivement, les abréviations de Differential Difference Current Conveyor et de Fully Differential Current Conveyor. Le symbole II indiquant que ces montages sont construits à partir de current Conveyors de seconde génération. La forme généralisée d’un FDCCII a été introduite par Soliman en 2000 [5]. Son schéma ainsi que sa matrice de fonctionnement sont donnés figure 3.

En 2006 [7] Soliman a aussi proposé une version simplifiée de son montage n'ayant que 2 entrées de commande (Y1 et Y2) et avec les bornes ZA2 et ZB2 des sources de courant de sortie connectées de façon interne à la masse.

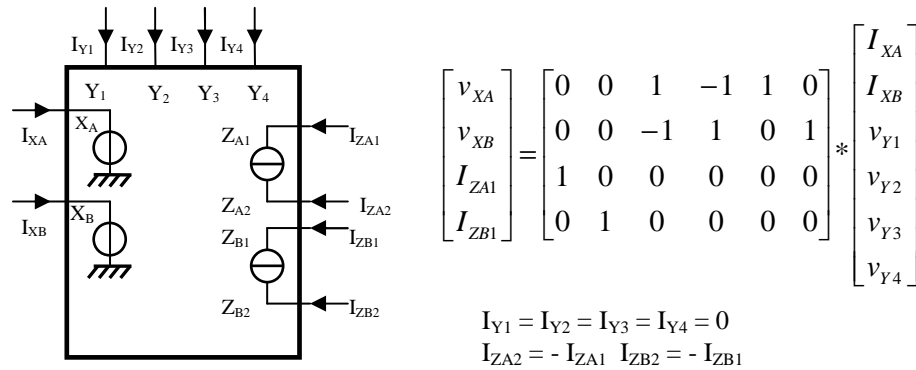


Figure 3. Schéma bloc d'un FDCCII

3. Rappels sur la synthèse par variable d'état.

Cette méthode a surtout été utilisée pour la réalisation de filtres dits 'universels' [8]. Ces filtres permettent d'obtenir simultanément les trois fonctions de base (passe Bas, Passe Bande et Passe Haut). Suivant le type de réalisation on peut avoir des filtres à 3 entrées et 1 sortie (Multiple Inputs Single Output, MISO) ou 1 entrée et 3 sorties. (Single Input Multiple Outputs, SIMO). Pour la structure SIMO, la réalisation du filtre est obtenue en réalisant un montage qui 'calcule' l'équation différentielle

$$v_s + 2 \frac{\xi}{\omega_N} \frac{dv_s}{dt} + \frac{1}{\omega_N^2} \frac{d^2v_s}{dt^2} = v_E \quad (1)$$

Un schéma bloc permettant l'élaboration de ce calcul est rappelé figure 4. En prenant comme sortie la tension v_s on obtient une fonction de transfert de type Passe Bas tandis que les sorties dv_s/dt et d^2v_s/dt^2 donnent respectivement une fonction de transfert de type Passe Bande et de type Passe Haut. On peut utiliser des intégrateurs négatifs ($-\omega_N/p$) à la place des intégrateurs positifs (ω_N/p), supprimer le bloc 2ξ et prendre ω_{N1}/p et ω_{N2}/p pour les intégrateurs (on obtient alors $\omega_N = (\omega_{N1} \omega_{N2})^{1/2}$ et $\xi = 0.5(\omega_{N1}/\omega_{N2})^{1/2}$). On peut aussi modifier légèrement le schéma en regroupant 2 blocs en un bloc unique équivalent. De simples variantes du schéma de base donné figure 4 peuvent donc conduire à un très grand nombre de schémas pratiques.

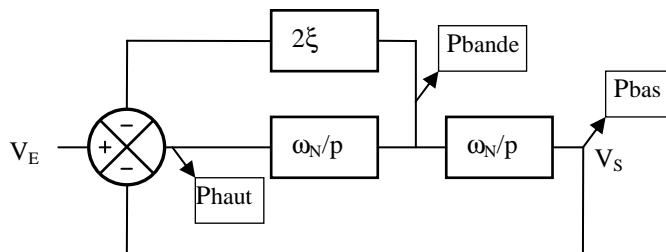


Figure 4. Schéma bloc de la structure SIMO

La réalisation du filtre, en utilisant la structure MISO, est obtenue en réalisant un montage qui ‘calcule’ l’équation différentielle

$$v_s + 2 \frac{\xi}{\omega_N} \frac{dv_s}{dt} + \frac{1}{\omega_N^2} \frac{d^2v_s}{dt^2} = v_1 + 2 \frac{\xi}{\omega_N} \frac{dv_2}{dt} + \frac{1}{\omega_N^2} \frac{d^2v_3}{dt^2} \quad (2)$$

Où v_1 , v_2 et v_3 sont respectivement les entrées du filtre passe bas, passe bande et passe haut.

Comme le montre la figure 4, la réalisation d’un filtre (de structure SIMO) ne demande que 2 intégrateurs et un sommateur généralisé. Ces intégrateurs peuvent être facilement obtenus à partir de Current Conveyors alimentant une capacité. De même, le sommateur généralisé est facilement obtenu à partir de résistances (les signes + ou - du sommateur généralisé étant obtenus par l’utilisation adéquate du bon type de CC (CC+ ou CC-)). La réalisation demande donc uniquement 2 CCs, 2 capacités et quelques résistances. L’utilisation de FDCCII qui contiennent à la fois 2 sommateurs généralisés et 2 CCs rend cette réalisation encore plus efficace puisqu’un seul FDCCII peut être utilisé. La grande variété des schémas proposés vient de la nature des entrées et des sorties (tension ou courant), de l’utilisation de source de courant flottante ou non, de l’éventuelle possibilité d’un réglage orthogonal de la fréquence d’accord et de l’amortissement pour les filtres..... Les mêmes principes peuvent être appliqués à la structure MISO.

4. Applications.

Nous allons tout d’abord expliquer l’origine d’un certain nombre de ‘nouveaux schémas’ proposés dans des publications récentes puis proposer une réalisation.

Exemple 1.

Cet exemple s’appuie sur un article proposé par J. W. Horng et al. en 2004 [4] concernant la réalisation d’un filtre universel à base de 2 DDCCs. La partie gauche de la figure 5 donne le schéma proposé par l’auteur et la partie droite le schéma bloc correspondant obtenu à partir des équations du DDCC. On peut constater que ce ‘nouveau montage’ est une application directe de la méthode de synthèse par variable d’états. La sortie $-Z$ indique que l’on utilise la source de courant ($I_z = -I_x$)

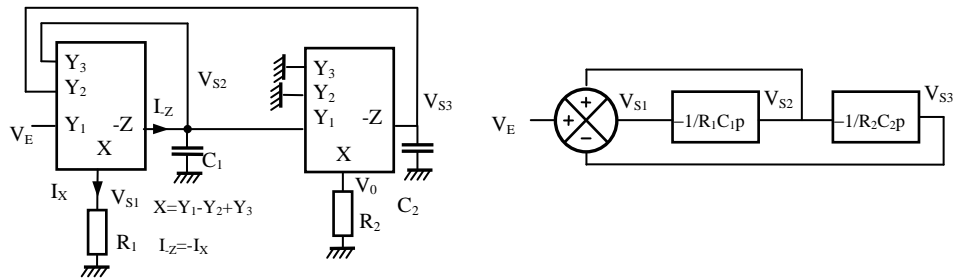


Figure 5. Exemple 1.

Exemple 2.

Ce deuxième exemple s'appuie sur un article proposé par Hua-Pin Chen. en 2008 [9]. Il concerne la réalisation d'un filtre universel à base de 2 FDCCII (les bornes Z_{A2} et Z_{B2} des sources de courant sont connectées de façon interne à la masse) La figure 6 donne, dans sa partie gauche, le schéma proposé et la partie droite montre le schéma bloc correspondant. L'origine de ce schéma peut donc, une nouvelle fois, être expliquée à partir de la méthode de synthèse par variable d'états.

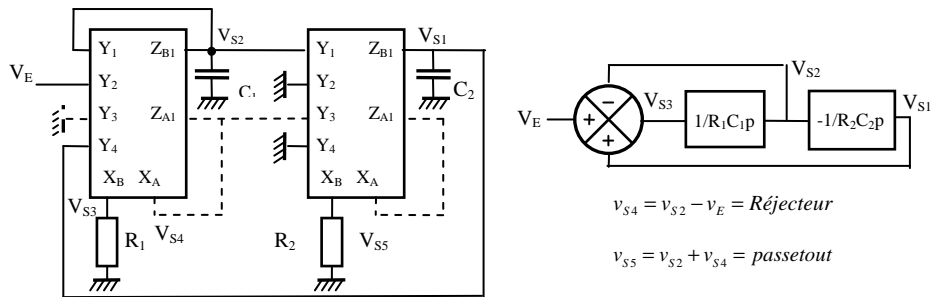


Figure 6. *Exemple 2.*

L'auteur a profité des deuxièmes sources de courant (Z_A commandée par X_A) des FDCCII pour réaliser, grâce au câblage dessiné en traits pointillés dans la figure, les fonctions : Entrée – Passe Bande (qui donne un réjecteur en sortie v_{s4}) et Entrée – 2 Passe Bande (qui donne un filtre Passe tout sur la sortie v_{s5}).

Exemple 3.

Ce troisième exemple part d'une méthode connue qui consiste à ne plus élaborer la grandeur y'' de l'équation différentielle. On gagne alors un intégrateur dans la réalisation (mais on perd la fonction Passe haut). La figure 7 montre le processus d'élaboration qui permet de remplacer le premier intégrateur par un simple filtre Passe Bas du premier ordre puis une réalisation possible avec des sources de courant commandées. Chang [10] a proposé un montage basé sur ce schéma bloc en utilisant 2 CCII.

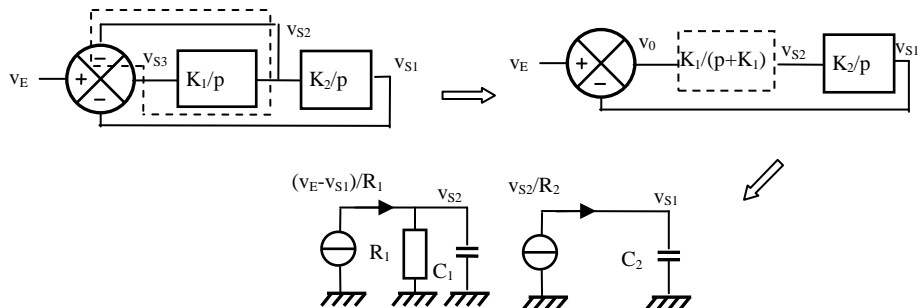


Figure 7. *Exemple 3.*

Exemple 4.

Nous proposons figure 8 'un nouveau schéma' basé sur ce schéma bloc donné figure 7. Il est basé sur un FDCCII dont une des sources de courant est utilisée pour réaliser la fonction passe bas du premier ordre et l'autre la fonction intégrateur.

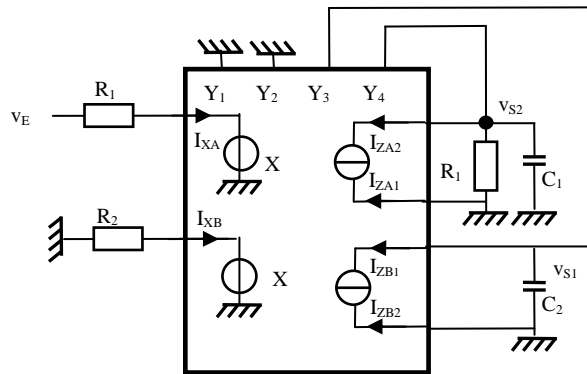


Figure 8. Schéma bloc de la figure 7 réalisé avec un FDCCII.

Son fonctionnement a été vérifié par simulations SPICE, en utilisant la librairie Analog Behavior Modeling du simulateur pour modéliser le comportement du FDCCII, avec $R_1=R_2=1600\Omega$, $C_1=3nF$ et $C_2=300pF$. Les résultats de cette simulation (diagramme de Bode et réponse à un signal carré), donnés figure 9, confirment le bon fonctionnement de ce filtre.

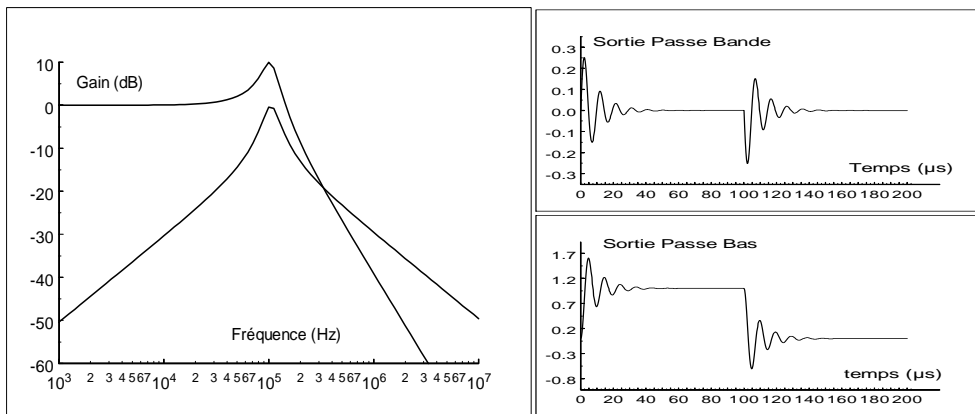


Figure 9. Résultats de la simulation.

5. Conclusion.

Nous avons expliqué, à partir de la méthode de synthèse des montages par les variables d'état, l'origine d'un certain nombre de schémas de 'filtres universels' utilisant des CCIIs, DDCCIIs et FDCCIIs et proposé le schéma d'un nouveau filtre basé sur ce concept. Cette méthode a été appliquée sur des filtres de type SIMO mais des résultats analogues sont possibles sur les filtres de type MISO.

Bibliographie

- [1] K.C. Smith and Sedra, 'The current conveyor, a new circuit building block', *IEEE Proc.*, Vol. 55, 1968, pp. 1368-1369.
- [2] A. Sedra and K. C. Smith, 'A second generation current conveyor and its applications', *IEEE Trans. Circuit Theory*, Vol. CT-17, 1970, pp. 132-134.
- [3] A. Fabre, 'Third-generation current conveyor: a new helpful active element', *Electron. Letters*, Vol. 31, No. 5, 1995, pp. 338-339.
- [4] Jiun-Wei Horng, Wei-Yuan Chiu and Hung-Yu Wie, 'Voltage-mode highpass, bandpass and lowpass filters using two DDCCs', *Int. J. Electronics*, Vol. 91, August 2004, pp.461-464.
- [5] A. El-adawy, A. M. Soliman, and H. O. Elwan, 'A novel fully differential current conveyor and applications for analog VLSI', *IEEE Trans. Circuits and Systems II*, 47, 2000, pp. 306-313.
- [6] S. Celma, P. A. Martinez and J. sabadell; A Transformation Method For Equivalent, Infinite-Gain Op Amp to Unity-Gain CCII Networks; *IEEE Trans. cir. and sys. I*, Vol. 43, N 1, Jan. 1996, pp. 61-62.
- [7] Soliman, 'New fully-differential CMOS second generation Current Conveyor, *ETRI Journal*, Vol. 28, No. 4, Aug. 2006, pp. 495-501.
- [8] J. G. Graeme, G. E. Tobey and L. P. Huelsman, 'Operational Amplifier, Design and Applications, Mac Graw Hill 1971, ISBN 07-064917-0.
- [9] Hua-Pin Chen, 'Voltage-mode FDCCII-based universal filters', *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)* 62, 2008, pp. 320-323.
- [10] C. M. Chang, 'Current-mode lowpass,bandpass and highpass biquads using two CCIIs', *Electronics Letters*, Vol. 29, N° 3, November 1993, pp. 2020-2021.