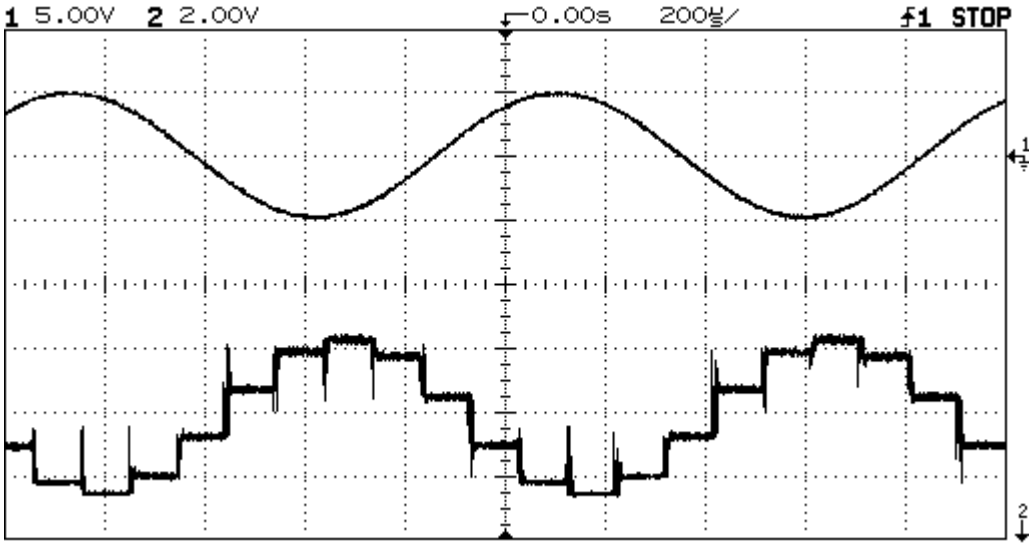
CHAPITRE VIII

Les Convertisseurs Numériques Analogiques



Olivier Français, 2000

SOMMAIRE

I RÔLE 3

I.1 DÉFINITION 3
I.2 PRINCIPE 3

II STRUCTURE DE CNA 3

II.1 CNA À RÉSISTANCES PONDÉRÉES (PARALLÈLES) 3
II.2 RÉSEAU R-2R : STRUCTURE EN ÉCHELLE À COMMUTATION DE COURANT 4
III.2.1 Cas 1 cellule 4
III.2.2 Cas 2 cellules 5
II.2.3 Cas n cellules 5
II.2.4 Exemple de CNA à réseau R-2R : AD7532 ou DAC830 6
II.2.5 Modélisation d'un CNA R-2R 6
II.2.6 Montage de sortie associé 6
II.2.7 Glitch 8

III APPLICATION DES CNA : MULTIPLIEUR / DIVISEUR 8

III.1 MULTIPLIEUR 8
III.2 DIVISEUR 9

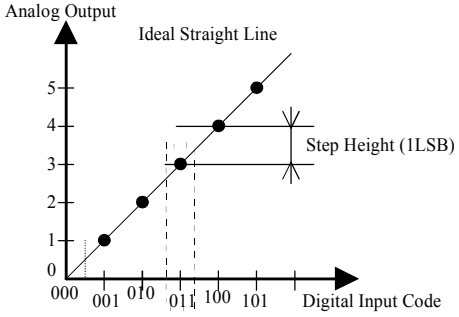
Les Convertisseurs Numériques Analogiques

I Rôle

I.1 Définition

On souhaite à partir d'une information numérique, codée sur n bits, récupérer un signal analogique, image du numérique.

$$b_{n-1}b_{n-2}....b_0 \Rightarrow V_{out} = \frac{V_{ref}}{2^n}\left[b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + ... + b_1 2^1 + b_0 2^0\right]$$



La tension de sortie est obtenue en effectuant une opération de sommation sur n grandeurs multiples de deux les unes par rapport aux autres.

I.2 Principe

Chaque bit va être associé à un interrupteur qui connectera (1) ou non (0) une source (de courant) sur la sortie.

II Structure de CNA

II.1 CNA à résistances pondérées (parallèles)

A un montage de sortie qui fait office de convertisseur courant - tension, on associe un réseau parallèle de n résistances de valeurs multiples de 2 entres elles. Ces n résistances jouent le rôle de source de courant.

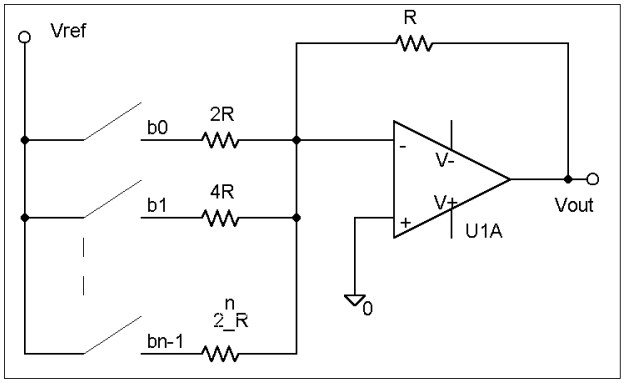


Figure 1 : CNA à réseau parallèle

$$V_{out} = \frac{V_{ref}}{2^n}\left[b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + ... + b_1 2^1 + b_0 2^0\right]$$

Bien que très simple comme structure, elle pose un problème pour la réalisation des résistances. Dans le cas d'un CNA 8 bits, il faut une précision inférieure à 0.4% sur la fabrication des résistances. De plus la gamme de variation des résistances va de 1 à 2^n. Leur valeur doit de plus être très supérieure à la valeur des Ron des interrupteurs. La linéarité du convertisseur sera liée à la précision des résistances. Un convertisseur de 16 bits sur ce principe n'est pas réaliste.

On voit simplement qu'un offset sur l'A.Op. de sortie entrainera une translation de la droite de transfert vers la droite ou la gauche. De même, la résistance permettant la conversion courant tension, si elle est incorrecte, entrainera une erreur de gain.

II.2 Réseau R-2R : structure en échelle à commutation de courant

Ce type de CNA, qui est le CNA conventionnellement utilisé, ne fait appel qu'à deux valeurs de résistances différentes (R – 2R) ce qui simplifie ainsi sa mise en œuvre par rapport à la structure parallèle précédente.

III.2.1 Cas 1 cellule

La structure du CNA R-2R s'oriente autour du montage ci-dessous :

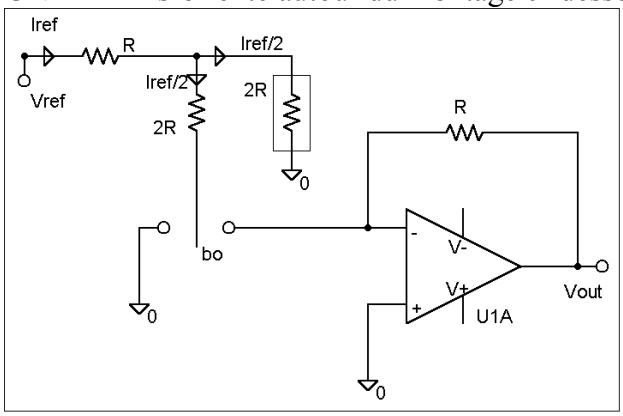


Figure 2 : Réseau R-2R à une cellule

Un réseau (R – 2*2R) est associé à un convertisseur courant – tension. Le réseau est alimenté sous une tension Vref. Un interrupteur, commandé par l'état du bit bo, oriente le courant dans la branche soit vers le convertisseur courant - tension (bo=1) soit vers la masse (bo=0) :

1ère remarque :

Le courant traversant la résistance R du réseau se divise en deux à travers les résistances 2R.

2de remarque :

L'impédance vue par la source Vref est indépendante de l'état de l'interrupteur commandé par bo et elle vaut 2R. Ainsi, la résistance 2R placée en fin du réseau peut elle-même être remplacée par un nouveau réseau R-2R.

L'expression de la tension de sortie est :

$$V_{out} = -R\frac{I_{ref}}{2}bo = -\frac{V_{ref}}{4}bo$$

III.2.2 Cas 2 cellules

On reprend le montage « une cellule » et on remplace la résistance 2R de fin de réseau par un nouveau réseau R-2R :

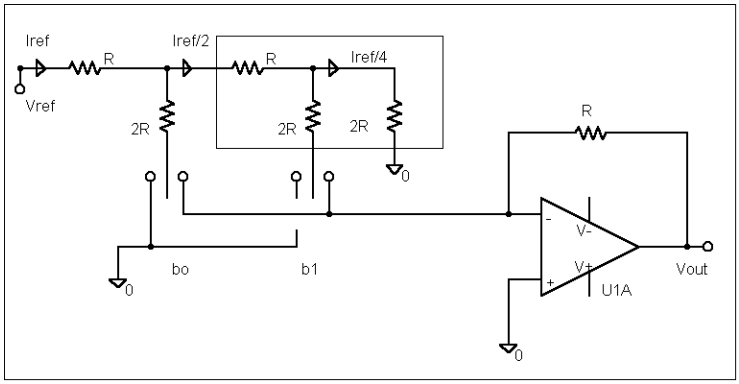


Figure 3 : Réseau R-2R à deux cellules

L'impédance vue par la source Vref est toujours 2R. Le courant se divise de deux en deux à travers les réseaux R-2R :

$$V_{out} = -RI_{ref}\left(\frac{bo}{2} - \frac{b1}{4}\right)$$

II.2.3 Cas n cellules

La structure complète est l'association de n cellules cascadées selon un réseau en échelle :

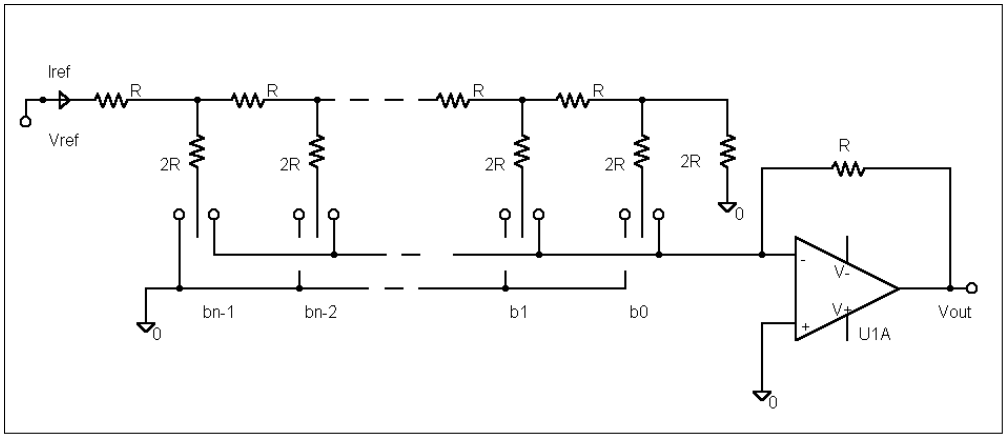


Figure 4 : Réseau R-2R à n cellules

La tension de sortie est proportionnelle à l'amplitude du code binaire :

$$V_{out} = \frac{V_{ref}}{2^{n+1}}\left[b_{n-1}2^{n-1} + b_{n-2}2^{n-2} + ... + b_1 2^1 + b_0 2^0\right] = N\frac{V_{ref}}{2^{n+1}}$$

II.2.4 Exemple de CNA à réseau R-2R : AD7532 ou DAC830

La structure est identique à celle développée précédemment :

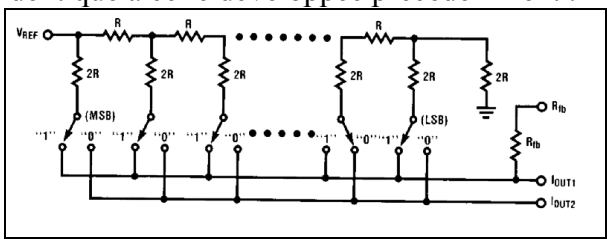


Figure 5 : Structure interne de CNA AD7532

Cette fois-ci, l'impédance d'entrée du montage est R.

On note que l'ensemble des résistances est intégré ainsi que la résistance, ici appelée Rfb (feedback), qui peut assurer la conversion courant – tension.

Le calcul des courants sortant donne :

$$I_{out1} = \frac{Vref}{2^n R}(b_{n-1}2^{n-1} + ... + b_0 2^0)$$

$$I_{out2} = \frac{Vref}{2^n R}(\overline{b_{n-1}}2^{n-1} + ... + \overline{b_0}2^0)$$

Ce calcul suppose que les courants de sortie I_{out1} et I_{out2} sont à la masse. I_{out1} est directement proportionnel au code N. On peut remarquer que la somme des courants de sortie est constant :

$$I_{out1} + I_{out2} = \frac{Vref}{R}\left(\frac{2^n - 1}{2^n}\right)$$

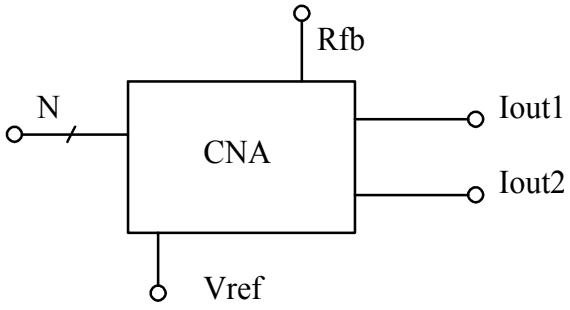
La différence des courants de sortie est :

$$I_{out1} - I_{out2} = 2I_{out1} - \frac{Vref}{R}\left(\frac{2^n - 1}{2^n}\right)$$

On n'a dans ce cas une évolution entre $-\frac{Vref}{R}$ et $\frac{Vref}{R}$ de la différence du courant.

II.2.5 Modélisation d'un CNA R-2R

A partir de ce que l'on a vu précédemment, on pourra représenter un CNA par la structure suivante :



II.2.6 Montage de sortie associé

1. Sortie unipolaire

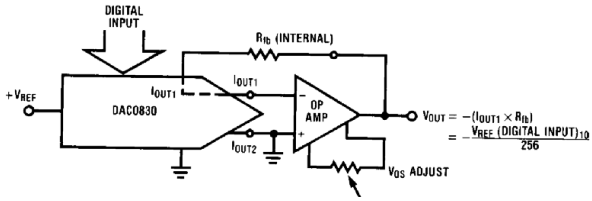


Figure 6 : montage unipolaire

L'utilisation d'un seul Amplificateur Opérationnel suffit. Mais dans ce cas, la sortie de de signe constant.

2. Sortie bipolaire

Dans ce cas, on souhaite avoir une tension de sortie qui puisse évoluer entre +/-Vref :

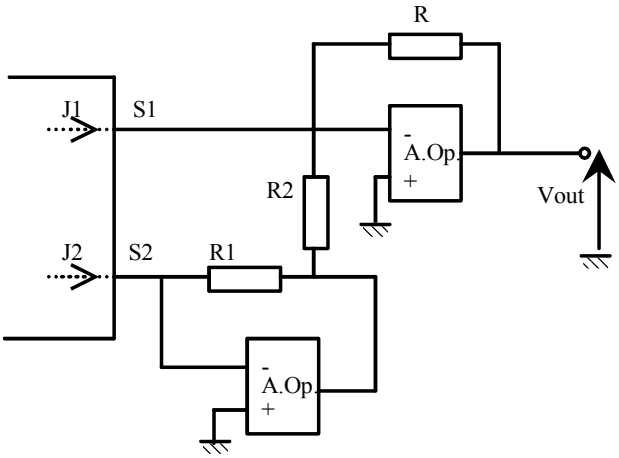


Figure 7 : Montage bipolaire

Le montage ci-dessus fait appel à deux A.Op. La résistance R peut être la résistance Rfb intégrée dans le composant. La valeur de la tension de sortie est :

$$Vs = Rfb\left(J1 - \frac{R1}{R2}J2\right)$$

En prenant R1=R2, on obtient une sortie bipolaire symétrique.

Remarque :

On se méfiera du montage à un seul A.Op :

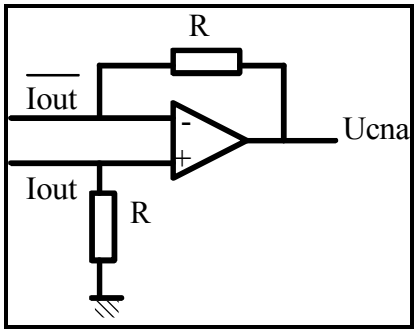


Figure 8 : montage bipolaire à un A.Op.

Dans ce cas, les sorties Iout et Iout n'étant pas directement reliées à la masse, le calcul de ces courants est perturbé pas la présence des résistances. Si celles-ci sont suffisamment petites devant la valeur des résistances intégrées on pourra considérer le calcul juste.

On peut aussi utiliser un montage à trois A.Op. qui utilise deux convertisseurs courant - tension pour chaque courant I_{out1} et I_{out2}, ils sont ensuite associés à un soustracteur. Mais ce montage n'apporte pas d'amélioration au montage à deux A.Op.

II.2.7 Glitch

Lors de la conversion d'un code binaire en tension analogique, on commute des courants par l'intermédiaire d'interrupteurs. Or cette commutation n'est pas instantanée, de plus les interrupteurs de commute pas tous en même temps. Notamment, l'interrupteur associé au MSB est celui qui doit commuté le plus de courant, c'est donc celui qui est le plus lent. Cela se traduit par des glitch qui représentent la commutation progressive des interrupteurs.

Ce phénomène est le plus flagrant lors du passage du code 0111 au code 1000. Le régime transitoire fait que le code passe par les transitions suivantes :

$$\mathbf{0111} \Rightarrow 0110 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 0000 \Rightarrow \mathbf{1000}$$

La dernière transition fait passer la sortie du code 0000 au code 1000, ce qui se traduit par des variations importantes de la tension de sortie sous la forme de parasites que l'on appelle Glitch. Au code zéro, la tension tend à aller vers 0 volt puis au code 1000 vers Vref/2 dans le cas d'un code unipolaire positif.

Remarque :

Le CNA à réseau d'échelle :

Cette structure de convertisseurs présente l'avantage de ne provoquer la commutation que d'un seul interrupteur par code. Cela permet d'éliminer les régimes transitoires (Glitch) qui peuvent apparaître sur certains CNA :

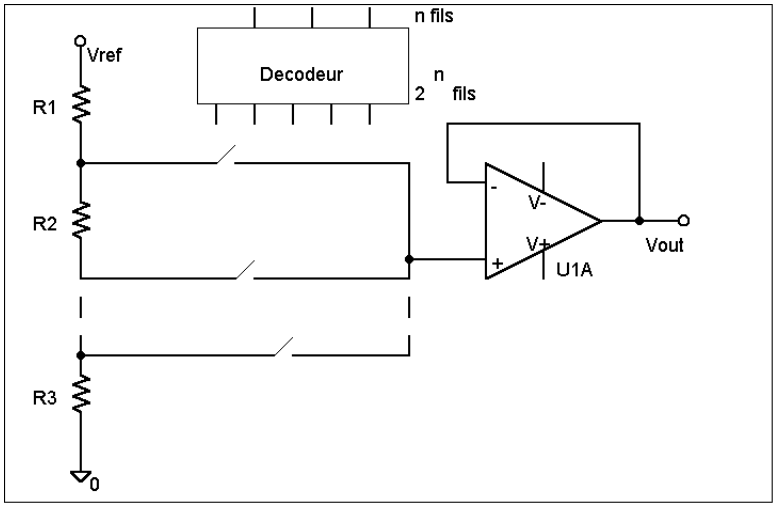


Figure 9 : CNA à réseau d'échelle

III Application des CNA : multiplieur / diviseur

III.1 Multiplieur

La tension de sortie d'un CNA est du type :

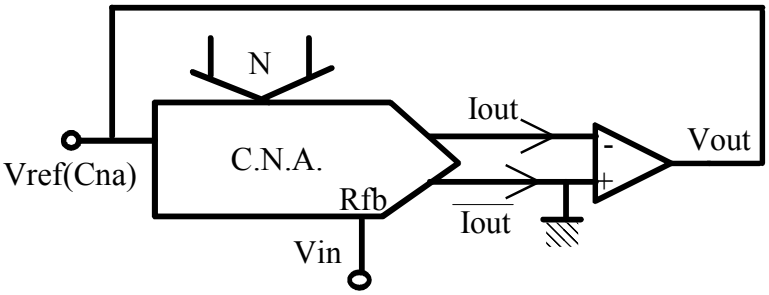
$$Vout = \frac{N}{2^n} Vref$$

Si N est fonction d'un tension V1 (par l'usage d'un CAN) et si l'entrée du CNA est reliée à une tension V2, alors Vout est l'image du produit de V1 Par V2.

$$Vout = k * V1.V2$$

III.2 Diviseur

Soit la mise en œuvre suivante d'un CNA R2R :



L'entrée Rfb est une entrée qui est connectée via une résistance intégrée Rfb à la patte de sortie Iout (on prendra Rfb=R).

Les équations du montage sont :

$$Vout = A\varepsilon$$
$$Vin + \varepsilon = -RfbIout$$
$$Iout = \frac{NVout}{2^n R}$$

En prenant A comme infini, on obtiend :

$$Vout = -\frac{2^n Vin}{N}$$

On est donc capable de diviser une tension d'entrée Vin par un chiffre binaire N.