

# CORRECTION

Section : <b>S</b>	Option : <b>Sciences de l'ingénieur</b>	Discipline : <b>Génie Électrique</b>	
<b>La conversion Numérique/Analogique et la conversion Analogique/Numérique</b>			
Domaine d'application : <b>Traitement du signal</b>	Type de document : <b>Cours</b>	Classe : <b>Terminale</b>	Date :

## I - La fonction conversion Numérique/Analogique

### I - 1 - Définition

On appelle *Convertisseur Numérique Analogique* (**C.N.A.**) tout dispositif électronique qui transforme un nombre binaire d'entrée  $N$  en une grandeur électrique de sortie [tension ou courant] proportionnelle au nombre  $N$ . En anglais, le *Convertisseur Numérique-Analogique* est appelé *Digital Analogic Conversion* (**D.A.C.**)

Si la grandeur de sortie est une tension  $u_s$ , alors :

$$u_s = q \cdot N \quad \text{avec le quantum } q \text{ en volts}$$

Si la grandeur de sortie est un courant  $i_s$ , alors :

$$i_s = q' \cdot N \quad \text{avec le quantum } q' \text{ en ampères}$$

} donc  $N$  est  
sans unité

Rappel de numération : si le nombre binaire  $N$  est exprimé sur  $n$  bits ( $B_0$  à  $B_{n-1}$ , où  $B_0$  est le LSB), le lien entre le nombre  $N$  et ses différents bits est alors le suivant :

$$N = 2^{n-1} \cdot B_{n-1} + \dots + 2^3 \cdot B_3 + 2^2 \cdot B_2 + 2^1 \cdot B_1 + 2^0 \cdot B_0$$

### I - 2 - Exemples de réalisation

Plusieurs structures électroniques permettent de réaliser la fonction C.N.A. Nous allons étudier les 2 techniques de Conversion Numérique Analogique les plus employées :

- \* Le C.N.A. à résistances pondérées
- \* Le C.N.A. à réseau  $R/2R$

#### I - 2 - 1 - Le C.N.A. à résistances pondérées :

Le montage comporte un A.L.I., associé à un réseau de résistances pondérées de  $R$  à  $R/8$ , et des interrupteurs  $k_0$  à  $k_3$  commandés respectivement par les bits  $b_0$  à  $b_3$  du nombre  $N$  :

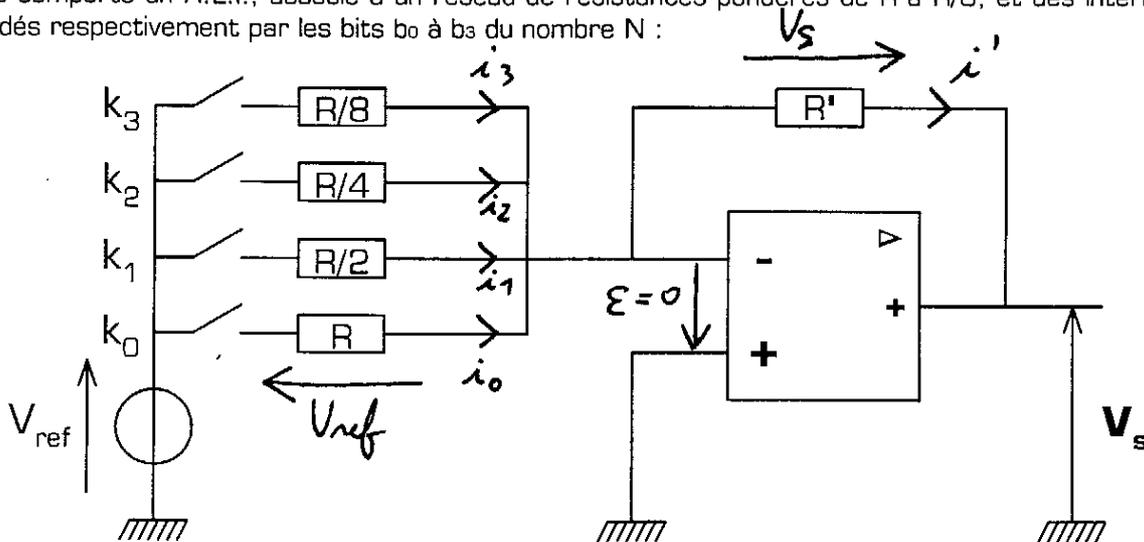


Figure 1 : Structure de base du C.N.A. 4 bits à résistances pondérées

Le fonctionnement de l'interrupteur  $k_i$ , associé au bit  $b_i$ , est le suivant :

- \* Si  $b_i = 0$  alors  $k_i$  est **ouvert**
- \* Si  $b_i = 1$  alors  $k_i$  est **fermé**

Appelons  $i_0$  à  $i_3$  les courants circulant respectivement dans les résistances  $R$  à  $R/8$ , et  $i'$  le courant dans la résistance  $R'$ .

$$N = 8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0$$

Expression des 4 courants  $i_0$  à  $i_3$  en fonction de  $V_{ref}$  et de chacun des bits du nombre  $N$  :

$$\left. \begin{aligned} i_0 &= b_0 \cdot \frac{V_{ref}}{R} \\ i_1 &= b_1 \cdot 2 \frac{V_{ref}}{R} \\ i_2 &= b_2 \cdot 4 \frac{V_{ref}}{R} \\ i_3 &= b_3 \cdot 8 \frac{V_{ref}}{R} \end{aligned} \right\} i' = i_0 + i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V_{ref}}{R} (b_0 + 2b_1 + 4b_2 + 8b_3)$$

Expression de  $V_s$  fonction de  $N$  :

$$\begin{aligned} V_s &= -R' i' = -R' \frac{V_{ref}}{R} (b_0 + 2b_1 + 4b_2 + 8b_3) \\ &= -\frac{R'}{R} V_{ref} \cdot N \quad : \text{le quantum est } q = -\frac{R'}{R} \cdot V_{ref} \end{aligned}$$

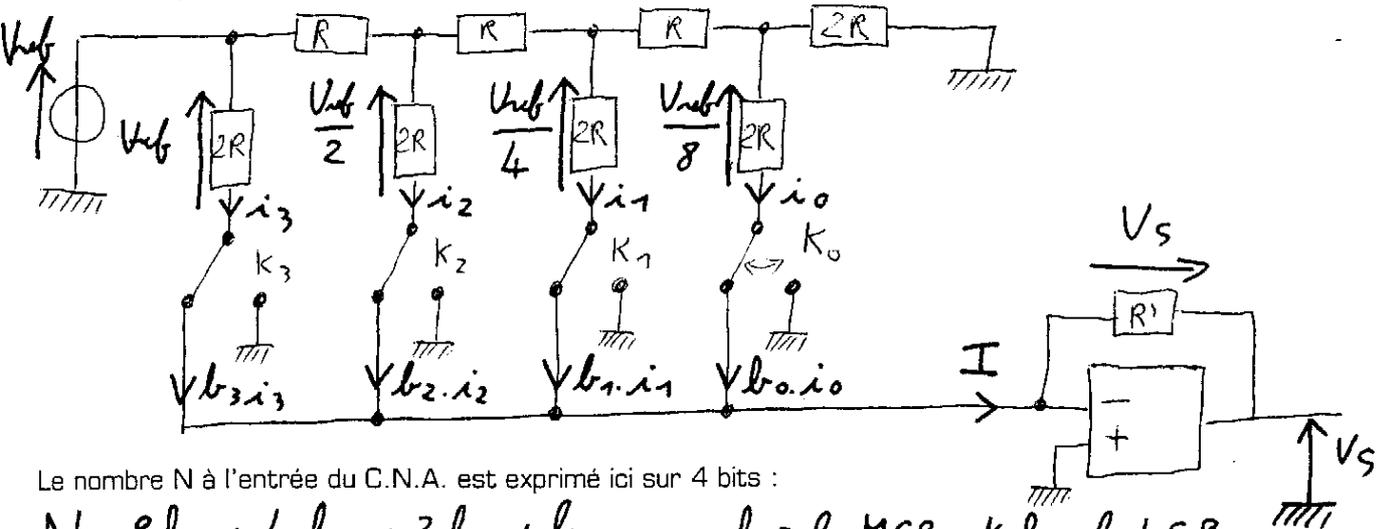
### Inconvénients de cette structure :

- \* Obligation d'utiliser des résistances de valeurs différentes, avec un rapport de  $2^{n-1}$  entre la plus grande et la plus faible. Exemple : si nous avons un C.N.A. 12 bits à réaliser avec cette technique et que la résistance commandée par le LSB est  $R$ , la résistance commandée par le MSB aurait pour valeur  $R/2048$ .
- \* Sachant que  $R$  doit être  $\geq 5k\Omega$ , cela pose des problèmes de précision des éléments résistifs et des difficultés d'intégration.

### 1 - 2 - 2 - Le C.N.A. à réseau $R/2R$ :

Cette fois le montage électronique n'utilise que 2 valeurs différents de résistances,  $R$  et  $2R$ , ce qui chasse l'inconvénient principal de la structure précédente à résistances pondérées.

Schéma de principe d'un C.N.A. à réseau  $R/2R$  :



Le nombre  $N$  à l'entrée du C.N.A. est exprimé ici sur 4 bits :

$$N = 8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0 \text{ avec } b_3 \text{ le MSB et } b_0 \text{ le LSB}$$

Chaque interrupteur  $K_i$  prend une position en fonction de l'état du bit  $b_i$  :

- \* Si  $b_i = 0$  alors  $k_i$  est
- \* Si  $b_i = 1$  alors  $k_i$  est



Calcul du courant  $I$  :

$$\begin{aligned} I &= b_3 i_3 + b_2 i_2 + b_1 i_1 + b_0 i_0 = b_3 \frac{V_{ref}}{2R} + b_2 \frac{V_{ref}}{4R} + b_1 \frac{V_{ref}}{8R} + b_0 \frac{V_{ref}}{16R} \\ &= \frac{V_{ref}}{16R} (8b_3 + 4b_2 + 2b_1 + b_0) = \frac{V_{ref}}{16R} N \end{aligned}$$

$$\text{or } V_s = -R' \cdot I$$

$$\text{donc } V_s = -\frac{R'}{R} \cdot \frac{V_{ref}}{16} \cdot N \quad : \text{le quantum est } q = -\frac{R'}{R} \frac{V_{ref}}{16}$$

## II - La fonction conversion Analogique/Numérique

### II - 1 - Définition

On appelle *Convertisseur Analogique Numérique* [**C.A.N.**] tout dispositif électronique qui transforme une grandeur analogique d'entrée  $u_e$  en un nombre binaire de sortie  $N$  proportionnel à cette grandeur  $u_e$ . En anglais, le *Convertisseur Analogique Numérique* est appelé *Analogic Digital Conversion* [**A.D.C.**]

### II - 2 - Symbole d'un C.A.N.

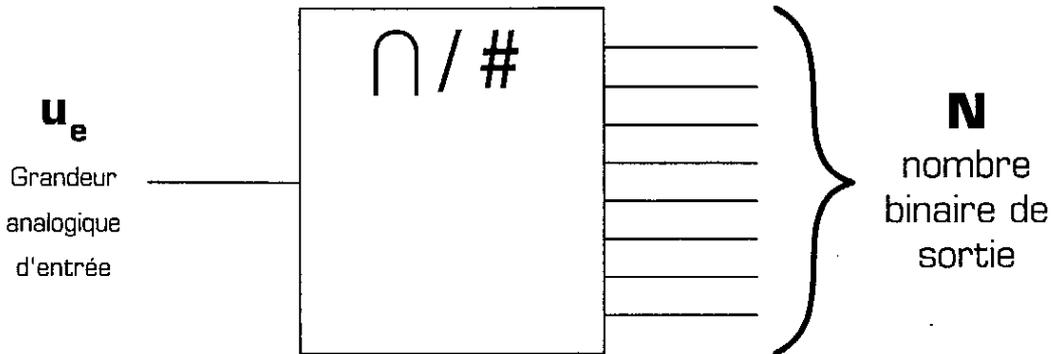


Figure 2 : Symbole de la fonction Conversion Analogique / Numérique

Le signe  $\cap$  indique que la grandeur est de type **analogique** (il s'agit ici de l'entrée).  
Le signe  $\#$  indique que la grandeur est de type **numérique** (il s'agit ici de la sortie).

### II - 3 - Caractéristique de transfert $N = f(u_e)$

Si la grandeur d'entrée  $u_e$  est une tension, alors :

$$N = k \cdot u_e \quad \text{avec } k \text{ en } V^{-1}$$

Rappel :  $N$  n'a pas d'unité

Le nombre  $N$  ne peut prendre que des valeurs discrètes alors que la tension  $u_e$  accepte toutes les valeurs dans une plage donnée : l'évolution se fera par paliers.

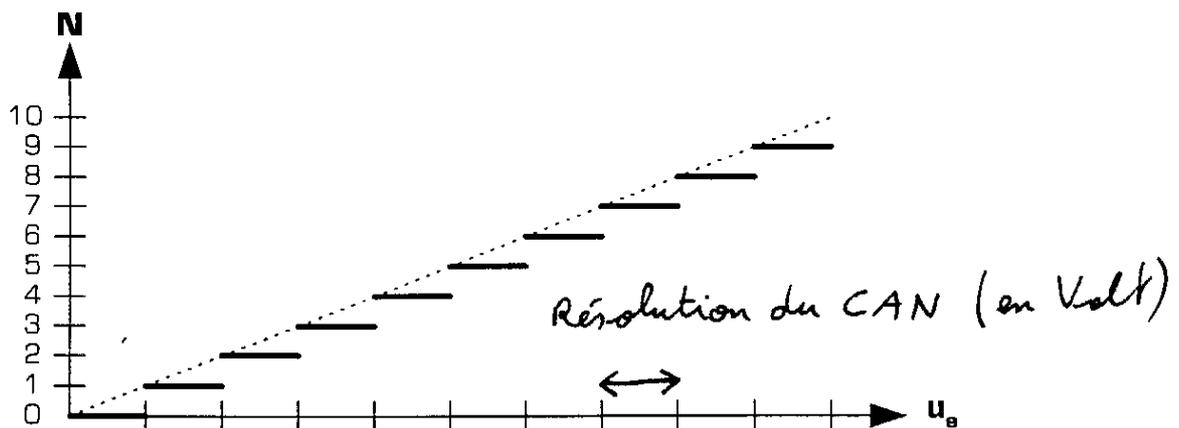


Figure 3 : Caractéristique de transfert d'un C.A.N.

La caractéristique de transfert  $N = f(u_e)$  est constituée par une suite de paliers dont l'origine s'appuie sur la droite d'équation  $N = k \cdot u_e$  [Figure 3].

### II - 4 - Résolution d'un C.A.N.

La résolution d'un C.A.N. est la valeur de la variation de la tension d'entrée  $u_e$  qui provoque un changement d'1 LSB sur le nombre  $N$  en sortie. C'est donc la largeur d'un palier de la caractéristique de transfert. Plus la résolution est petite, plus la conversion est précise.

## II - 5 - Exemples de réalisation

Il existe diverses techniques de conversion  $\cap / \#$  présentant toutes des performances différentes, notamment pour les trois caractéristiques contradictoires suivantes :

- \* La précision du résultat numérique obtenu
- \* La rapidité de conversion
- \* La complexité de mise en œuvre

### II - 5 - 1 - Le C.A.N. flash

Lorsqu'on désire une conversion ultra rapide, pour les applications vidéo par exemple, on pourra utiliser un convertisseur flash [encore appelé C.A.N. parallèle]. Un tel dispositif est basé sur l'emploi de  $2^{n-1}$  comparateurs associés à un décodeur pour une conversion sous n bits. La figure 4 donne l'exemple d'un convertisseur 3 bits à 7 comparateurs [un 8 bits emploierait 255 comparateurs et ne peut être raisonnablement représenté ici, mais le principe est rigoureusement le même].

Le décodeur identifie le comparateur de rang le plus élevé qui a basculé indiquant ainsi la valeur de la tension  $V_x$  à mesurer et élabore le code binaire correspondant. Le coût d'un tel comparateur est élevé puisqu'il nécessite un grand nombre de comparateurs et un réseau de résistances identiques de grande taille, mais on sait fabriquer de tels dispositifs à 16 bits capable de fonctionner au rythme de  $10^9$  échantillons par seconde.

De plus, le transcodeur placé à la sortie des comparateurs, peut fournir le nombre N dans un code quelconques, qui n'est pas forcément le binaire naturel.

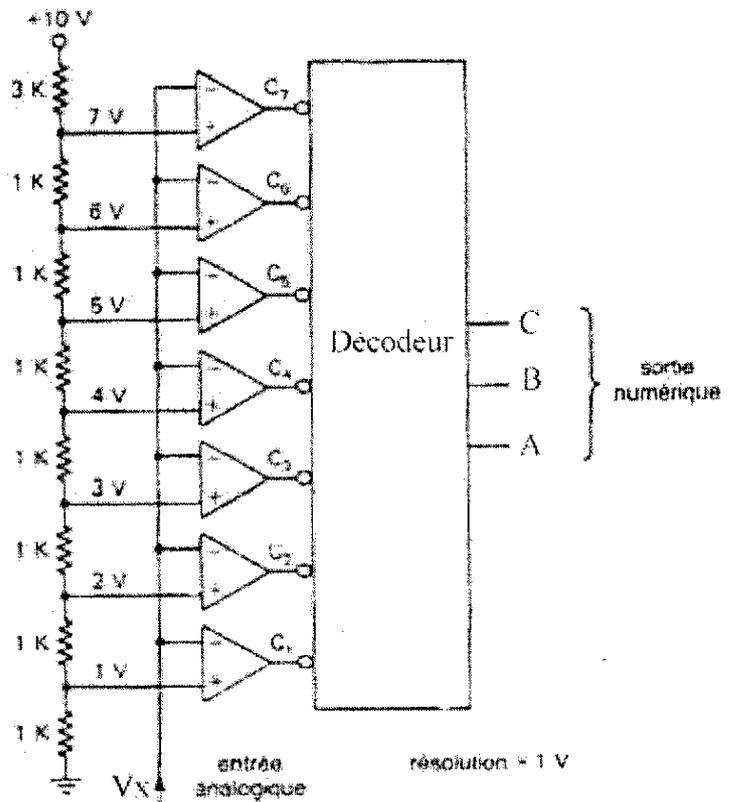


Figure 4 : C.A.N. flash

### II - 5 - 2 - Le C.A.N. à poursuite

L'idée est ici de faire *compter* ou *décompter* un compteur, selon que la  $V_x$  à mesurer est *plus grande* ou *plus petite* que la tension de sortie  $V_s$  du C.N.A. :  $V_s$  est ici l'image analogique de la valeur en sortie du compteur, et elle est comparée en permanence à  $V_x$ .

Ainsi le nombre N varie dans le même sens que la tension  $V_x$  :

- \* Si  $V_x$  augmente, le compteur compte, et N augmente aussi [tant que  $V_x > V_s$ ]
- \* Si  $V_x$  diminue, le compteur décompte, et N diminue aussi [tant que  $V_x < V_s$ ]

Le nombre N de sortie *poursuit* donc la tension  $V_x$  d'entrée, d'où le nom de C.A.N. à *poursuite*.

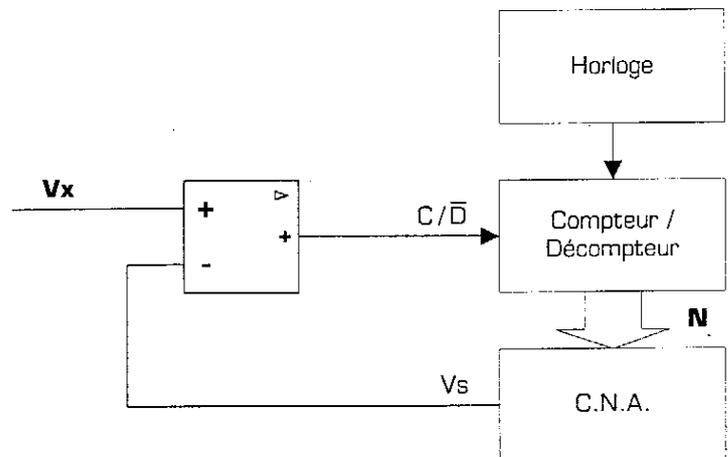


Figure 5 : Principe du C.A.N. à poursuite

**Retrouvez d'autres cours sur le site ressource**

**[www.gecif.net](http://www.gecif.net)**

**Téléchargez librement sur Gecif.net :**

- ✍ **des cours et des TP de Génie Electrique**
- ✍ **des exercices et des évaluations avec corrections**
- ✍ **des ressources Automgen, ISIS Proteus et Flowcode**
- ✍ **des QCM pour réviser les cours et vous entraîner**
- ✍ **des logiciels d'électronique pour les installer chez vous**
- ✍ **des dossiers techniques de systèmes originaux**
- ✍ **des fiches pratiques sur tous les domaines des sciences de l'ingénieur**
- ✍ **des sujets de BAC**
- ✍ **et bien plus encore sur Gecif.net !**