

Le convertisseur

• Signal analogique :

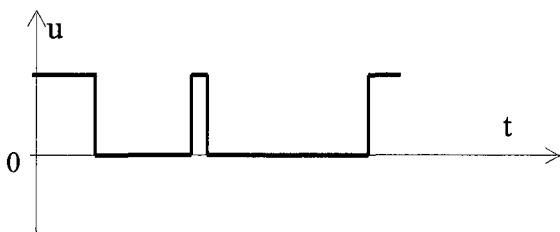
C'est un signal dont la valeur varie de façon continue au cours du temps

L'information transportée par le signal est sa valeur à l'instant t considéré

Exemple : température , pression , vitesse

• Signal logique

Un signal est **logique** lorsque sa valeur varie de façon **discrète** au cours du temps.



Seuls **deux niveaux** logiques sont autorisés :

niveau "*haut*" pouvant être représenté par le nombre binaire "1"

niveau "*bas*" pouvant être représenté par le nombre binaire "0"

L'information est donc transférée par une succession de "0" et de "1".

• Signal numérique

Un signal numérique est

représenté par un **nombre** a_3 _____

ou un "**mot binaire**" [N] a_2 _____

$$[N] = a_3 \ a_2 \ a_1 \ a_0$$

constitué par un ensemble a_1 _____

de signaux logiques a_0 _____

formant les éléments

binaires du mot, appelés bits et notés a_j ($a_j = 0$ ou 1) .

Par exemple, un mot binaire de 4 **bits** est constitué de 4 signaux logiques ne pouvant prendre que les valeurs "0" ou "1"

• Comparaison d'un signal logique et un signal numérique :

Signal analogique :

- Un signal analogique présente l'avantage d'être une représentation directe de la grandeur Physique.
- ces signaux sont difficiles à mémoriser, à traiter mathématiquement.
- ils sont Sensibles à leur environnement (aux "bruits") donc leur altération est facile et sa correction est difficile

Signal numérique :

- Un signal numérique n'est pas une représentation directe de la grandeur physique mais un "codage" plus difficile à appréhender.
- ces signaux sont très facilement mémorisables et peuvent être traités Simplement (*ordinateur ...*).
- ils présentent une forte immunité aux bruits

• Numération

La numération repose sur le système binaire (dit à base 2) dans lequel il n'existe que les valeurs logiques 0 et 1. Chacun d'eux est appelé aussi bit (contraction de binary digit) ou élément binaire.

La grandeur d'entrée est une grandeur *numérique* représentée par un "mot" binaire $[N]$ de n bits, de valeur décimale N :

$$[N] = [a_{n-1}a_{n-2} \dots a_2a_1a_0]$$

Les a_j sont les éléments binaires ne pouvant prendre que les valeurs 0 ou 1 (variables logiques)

$$j \in \{0, n-1\}$$

a_0 représente le bit de "poids le plus faible" (L.S.B. ou Least Significant Bit)

a_{n-1} représente le bit de "poids le plus fort" (M.S.B. ou Most Significant Bit)

le codage binaire de ce nombre s'écrit

$$N = 2^{n-1}a_{n-1} + 2^{n-2}a_{n-2} + \dots + 2^1a_1 + 2^0a_0$$

N : équivalent décimal en code binaire naturel

Sa valeur maximale est $N_{\max} = 2^n - 1$ il correspond au cas où tous les a_j sont à l'état logique 1

Exemple

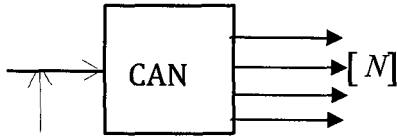
Le nombre décimal 14 s'écrit dans une base binaire à 4 bits

$$14 = 2^3 a_3 + 2^2 a_2 + 2 a_1 + 2^0 a_0 \quad \text{avec} \quad a_3 = a_2 = a_1 = 1 \quad \text{et} \quad a_0 = 0$$

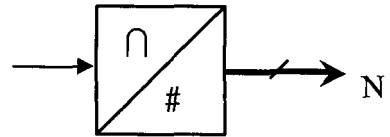
Donc en base binaire 14 s'écrit **1110**

• Convertisseur analogique numérique (CAN)

C'est un dispositif électronique qui transforme un signal analogique d'entrée u_e en un nombre binaire dont l'équivalent décimal est proportionnel à u_e : $N = k u_e$



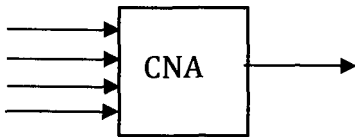
schéma



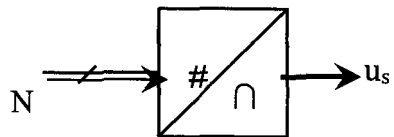
symbole

• Convertisseur numérique analogique (CNA)

Un convertisseur numérique analogique (C.N.A.) est un dispositif électronique qui transforme un nombre binaire d'entrée $[N]$ dont la Valeur décimale est N en une grandeur électrique Proportionnelle à ce nombre : $u_s = k N$.



Schéma



Symbole

• Caractéristiques d'un CNA

➤ caractéristique de transfert :

c'est la courbe de variation $u_s = f(N) = k.N$.

On fait varier N en faisant varier le mot binaire $[N]$

➤ Grandeur pleine échelle

C'est la valeur maximale que peut prendre la grandeur de sortie. Si le nombre d'entrée d'un CNA est formé de n bits, $2^n - 1$ est la valeur maximale du nombre binaire dans le système décimal. Si la grandeur de sortie du CNA est une tension, la tension pleine échelle $U_{PE} = U_{Smax} = q.N_{max}$ avec q la résolution analogique du convertisseur.

➤ Résolution analogique du convertisseur ou Quantum q

q représente la variation de la tension de sortie pour deux nombres d'entrée successifs.

Elle est égale $q = k = U_{PE} / N_{\max}$. Comme $N_{\max} = 2^n - 1$ donc $U_{PE} = q(2^n - 1)$

➤ Résolution numérique

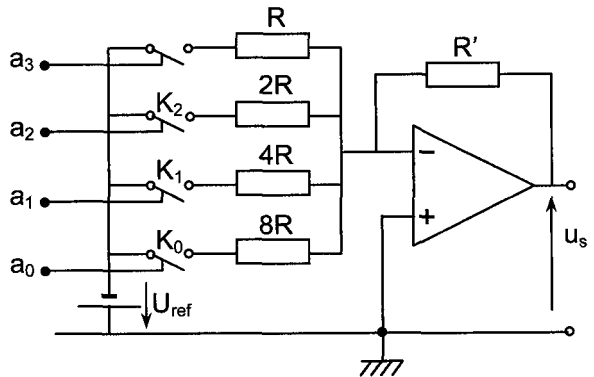
Si le nombre d'entrée d'un CNA est formé de n bits, il y a 2^n combinaisons possibles. La résolution numérique est l'inverse des combinaisons possibles que le CNA est capable de convertir $r = 1 / 2^n$

• CNA à résistances pondérées

➤ Schéma du montage

Le montage est constitué de :

- une tension de référence
- un ensemble de n résistors de résistances respectives $R ; 2R ; 4R \dots 2^{n-1}R$
- des interrupteurs commandés par les variables logiques a_j du mot binaire
- un AO fonctionnant en régime linéaire



Dans le cas d'un convertisseur à 4 bits le schéma est donné par la figure ci contre :

➤ Principe de fonctionnement

On considère la maille schématisée ci contre :

$$a_0 = 0 \Rightarrow k_0 \text{ ouvert} \Rightarrow U_0 = -\varepsilon = 0$$

$$a_0 = 1 \Rightarrow k_0 \text{ fermé} \Rightarrow U_0 = -U_{\text{réf}}$$

$$\text{donc } U_0 = -a_0 U_{\text{réf}}$$

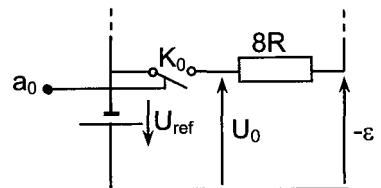
$$\text{ce résultat est valable pour une maille } j : U_j = -a_j U_{\text{réf}}$$

$$\text{à la maille de sortie : } u_s + R' I = 0$$

$$\rightarrow u_s = -R' I \text{ or } I = I_0 + I_1 + I_2 + I_3$$

$$\text{On aura donc } u_s = -R' (I_0 + I_1 + I_2 + I_3)$$

$$\text{à une maille d'entrée de résistance } R_j \text{ on a : } -a_j U_{\text{réf}} - R_j I_j = 0 \text{ ce qui donne}$$



$$I_j = -a_j \cdot \frac{U_{ref}}{R_j} \quad \text{d'où :}$$

$$u_S = R' \left(a_0 \cdot \frac{U_{ref}}{8R} + a_1 \cdot \frac{U_{ref}}{4R} + a_2 \cdot \frac{U_{ref}}{2R} + a_3 \cdot \frac{U_{ref}}{R} \right)$$

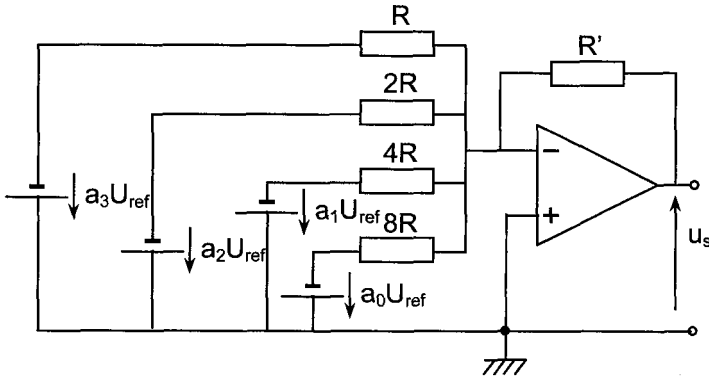


Schéma équivalent simplifié d'un CNA à 4 bits

$$u_S = R' \cdot \frac{U_{ref}}{8R} (a_0 + 2a_1 + 2^2a_2 + 2^3a_3)$$

$$u_S = R' \cdot \frac{U_{ref}}{8R} \cdot N$$

Donc $u_S = k \cdot N$ avec $k = R' \cdot \frac{U_{ref}}{8R}$: la tension de sortie est proportionnelle au nombre N , donc le montage réalise bien une conversion numérique analogique.

Généralisation : Pour un CNA n bits et à réseau de résistance pondérées R ,

$$2R, \dots, 2^{n-1}R, \text{ la tension de sortie s'écrit : } u_S = R' \cdot \frac{U_{ref}}{2^{n-1}R} \cdot N$$

➤ Caractéristiques :

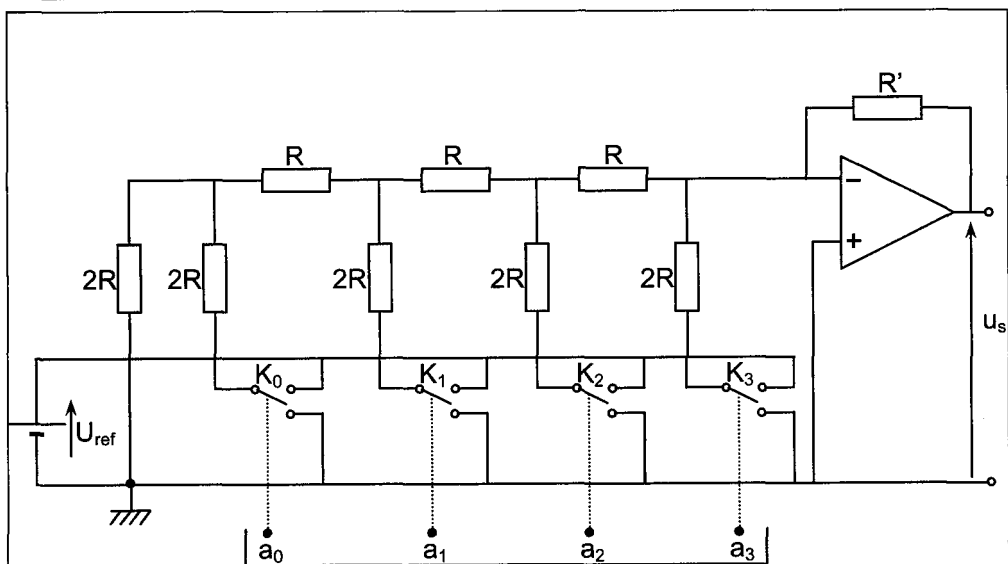
- La tension pleine échelle $U_{PE} = R' \cdot \frac{U_{ref}}{2^{n-1}R} \cdot (2^n - 1)$
- Résolution analogique du convertisseur ou Quantum $q = R' \cdot \frac{U_{ref}}{2^{n-1}R}$
- Résolution numérique $r = 1/2^n$

• C.N.A à réseau de résistance « R-2R » :

C'est un convertisseur qui prend en compte les défauts du C.N.A à réseau de résistance pondéré.

Le montage correspondant est très utilisé car le réseau de résistance R-2R est facile à réaliser. Il est l'un des principes adoptés dans les circuits intégrés utilisés dans la conversion des signaux.

On montre que $u_S = -R' \cdot \frac{U_{ref}}{16R} \cdot N$ pour un C.N.A à 4 bits.



Un C.N.A à réseau de résistances « R-2R »