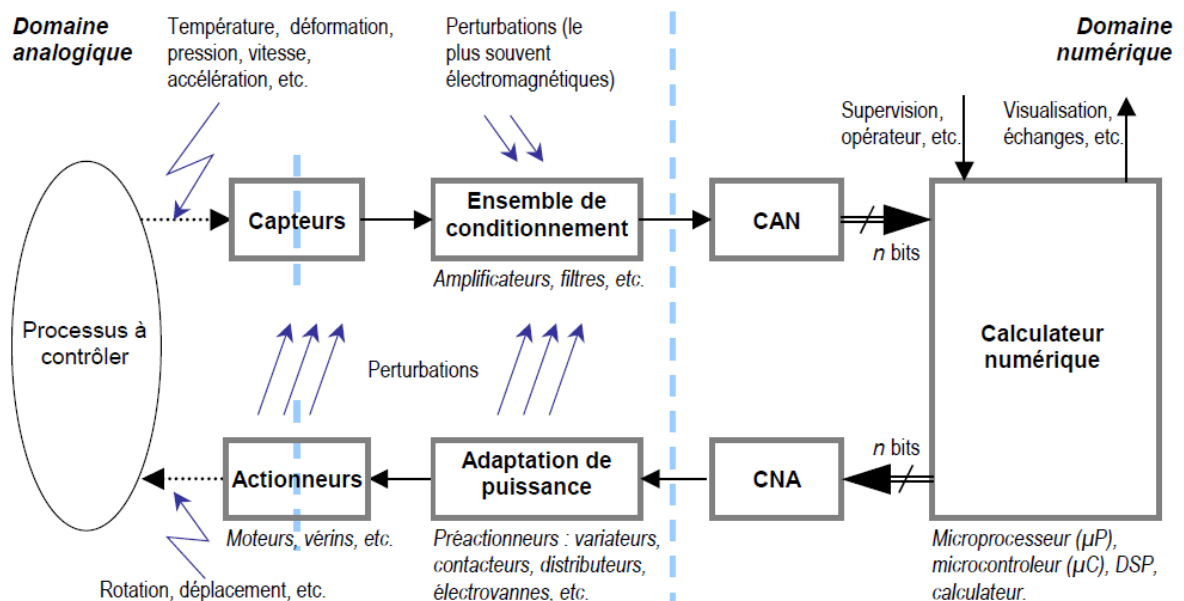


Les Convertisseurs Analogique-Numérique et Numérique-Analogique

I. Introduction

La commande de processus industriels a de plus en plus recours aux systèmes numériques et aux calculateurs pour effectuer le traitement des données. Les systèmes ont alors recours aux convertisseurs analogique-numérique (CAN) pour transformer les signaux analogiques d'entrée de la partie commande, puis, aux convertisseurs numérique-analogique (CNA) après traitement. Le diagramme ci-dessous permet de situer les convertisseurs dans la chaîne de traitement de l'information :



(YC/RN s.d.)

Un signal analogique est un signal évoluant d'une façon continue dans le temps. Il peut donc prendre des valeurs réelles appartenant à un espace de valeurs continu (ou continu par intervalles).

Un signal numérique est un signal quantifié à temps discret. Ses valeurs sont des valeurs entières.

II. Convertisseurs Numérique-Analogique

1. Introduction

Un convertisseur numérique-analogique ou CNA est chargé de transformer une grandeur numérique représentée par un nombre N en une tension proportionnelle v_s .

Symboles : (le symbole # marque le signal numérique et le \cap une grandeur analogique)



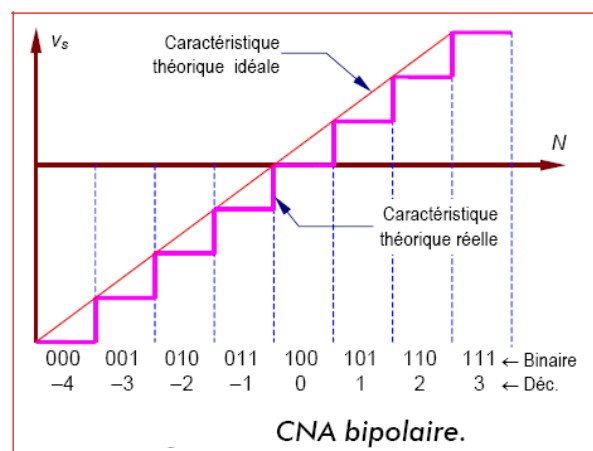
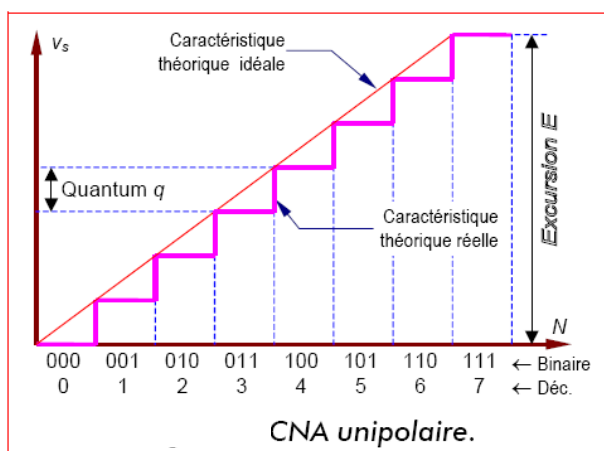
2. Caractéristiques essentielles

Parmi la multitude de paramètres définis autour d'un CNA, on ne retient que les caractéristiques essentielles nécessaires au choix du composant.

a. Caractéristiques de transfert

C'est la représentation graphique de la loi liant v_s à N : On distingue deux types de convertisseurs suivant le signe de v_s :

- Unipolaire quand $0 \leq v_s \leq V_{Max}$,
- Bipolaire quand $-V_{Max} \leq v_s \leq V_{Max}$.



(YC/RN s.d.)

b. L'excursion (accuracy en anglais)

C'est la différence entre les valeurs extrêmes de la tension de sortie v_s .

c. Le quantum q

C'est l'incrément théorique de la tension de sortie correspondant à un écart de ± 1 LSB (Least significant bit) en entrée.

On a donc $q = \frac{E}{2^n - 1}$ (rappel : 2^n valeurs correspondent à $2^n - 1$ intervalles).

d. La résolution et la taille (en bits)

La résolution est toujours de 1 LSB puisque c'est le plus petit incrément possible en entrée. C'est pourquoi on préfère plutôt parler du nombre de bits ou de taille du convertisseur.

e. Tension de décalage (ou offset)

Pour une valeur numérique en entrée nulle, la tension prend une valeur ε appelée erreur d'offset.

f. Erreur de Gain :

C'est la différence de pente entre les caractéristiques idéale réelles et « théorique »

g. Erreur de linéarité :

Les sommets de la caractéristique sont en réalité joints par une courbe (différente d'une droite) (hauteur de marches non constantes : jointure des sommets \neq droite) qui traduit la non linéarité.

h. Le temps d'établissement (setting time, en anglais)

C'est le temps nécessaire au convertisseur dans le cas le plus défavorable pour établir la sortie à un certain pourcentage de sa valeur finale. Ce temps limite la fréquence maximale de conversion.

3. Structures élémentaires

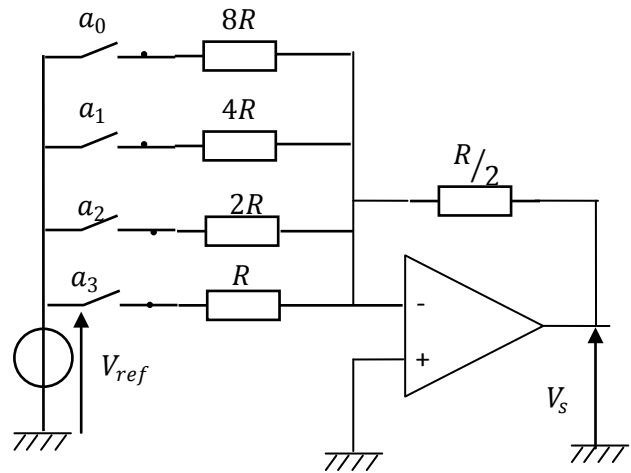
a. CNA à résistances pondérées

Pour cette structure de base, on utilise des résistances pondérées suivant les puissances de 2.

Le schéma ci-contre représente un CNA à 4 entrées.

On montre que :

$$v_s = -\frac{V_{ref}}{2} \cdot \left(a_3 + \frac{a_2}{2} + \frac{a_1}{4} + \frac{a_0}{8}\right)$$



Généralisation : Cas d'un CNA à n entrées

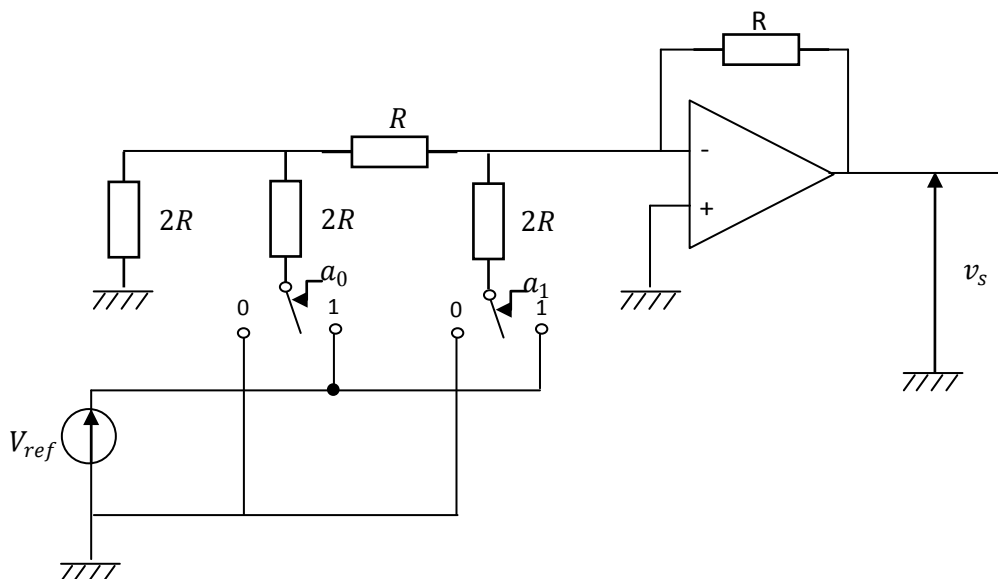
On montre que

$$v_s = -\frac{V_{ref}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i$$

b. Convertisseur à réseau R-2R

Ce montage utilise une structure en échelle R-2R.

Le schéma ci-dessous est un CNA à 2 entrées.



On montre que :

$$v_s = -\frac{a_1}{2} v_{ref} - \frac{a_0}{4} v_{ref} = -\frac{v_{ref}}{4} (2a_1 + a_0)$$

Généralisation : Cas d'un CNA à n entrées

On montre que

$$v_s = -\frac{V_{ref}}{2^n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i$$

c. Traitement après conversion

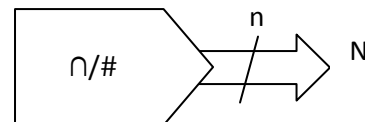
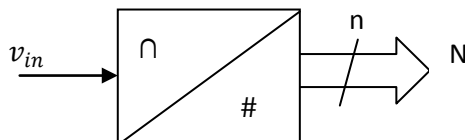
Les signaux obtenus en sortie des CNA sont des signaux dits "en marche d'escalier". Pour atténuer ce phénomène, et ainsi, lisser le signal, on peut le filtrer à l'aide d'un filtre passe bas.

III. Convertisseurs Analogique - Numérique

1. Introduction

Un convertisseur analogique-numérique ou CAN est chargé de transformer une grandeur analogique v_{in} en un nombre N proportionnel.

Symboles : (le symbole # marque le signal numérique et le \cap une grandeur analogique)



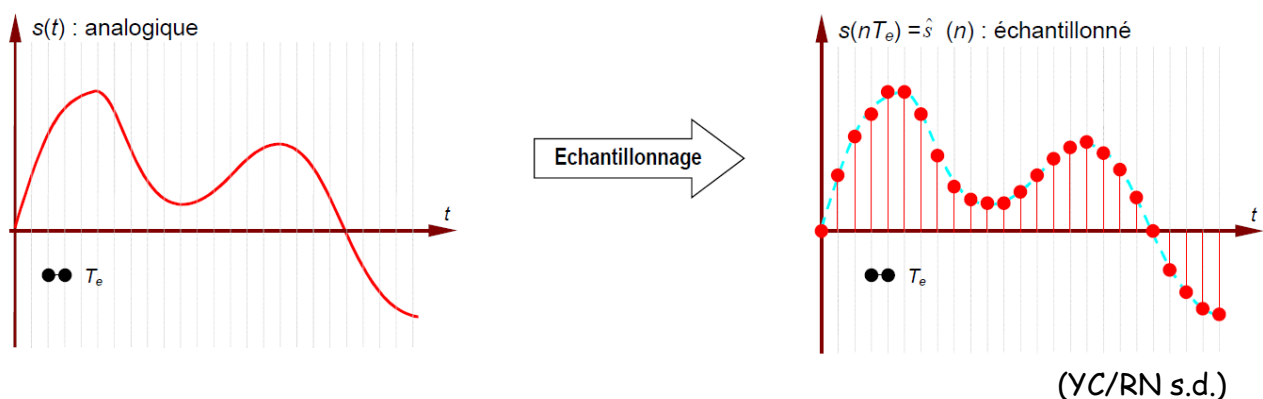
2. Etapes de conversion

La numérisation du signal fait passer de grandeurs réelles variant continûment à une suite d'entiers naturels ou relatifs évoluant de manière discrète dans le temps. On a donc plusieurs phases successives.

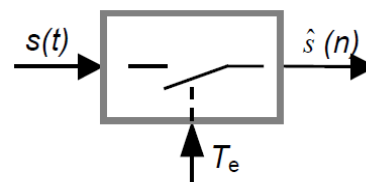
a. Echantillonnage

L'échantillonnage consiste à prélever, à intervalle de temps régulier, la valeur du signal. Chaque prélèvement est appelé échantillon et on note T_e la période d'échantillonnage. On obtient alors un signal $\hat{s}(n)$ tel que $\hat{s}(n) = s(nT_e)$. n est alors appelé numéro d'ordre.

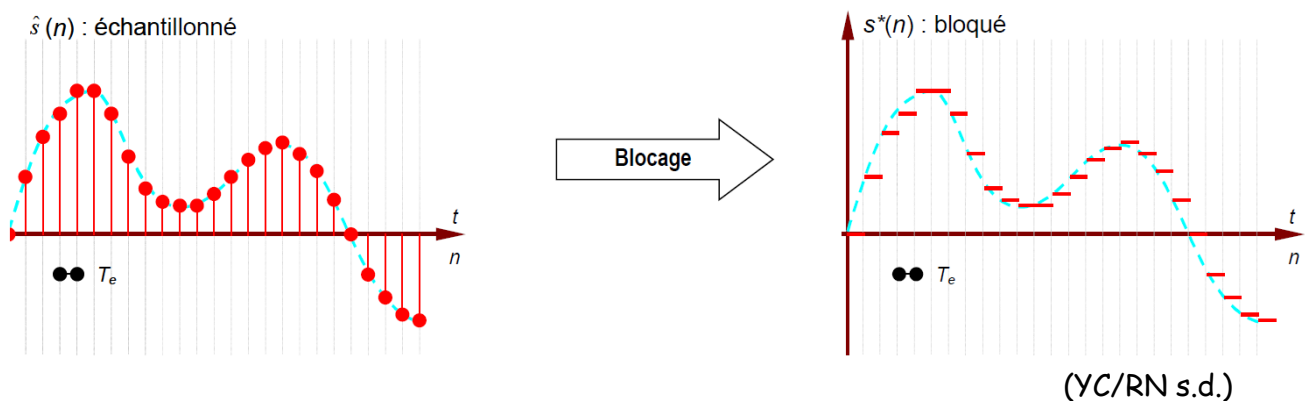
Pour échantillonner correctement un signal, il faut respecter le théorème de Nyquist-Shannon, nommé d'après Harry Nyquist et Claude Shannon, qui dit que la fréquence d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans ce signal, afin de convertir ce signal d'une forme analogique à une forme numérique. Ce théorème est à la base de la conversion numérique des signaux.



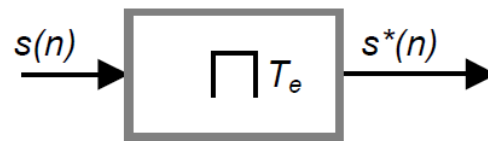
Symbole de l'échantillonneur :

b. Blocage

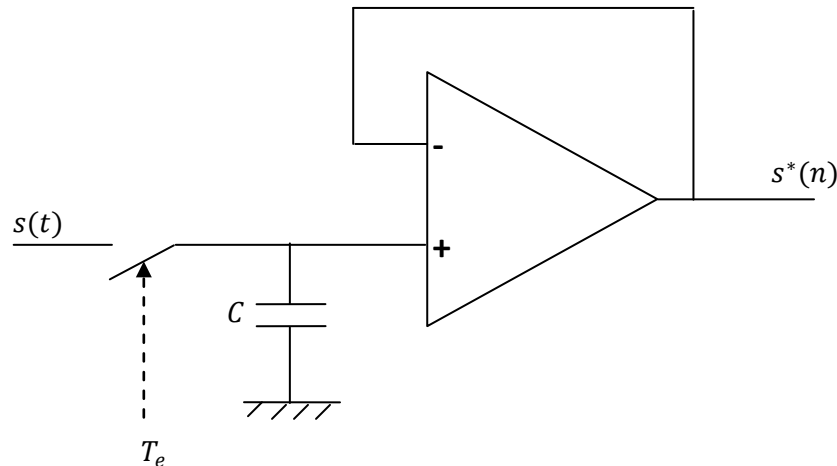
Il faut ensuite conserver l'échantillon le temps de la conversion par le biais d'un bloqueur. On obtient alors un signal $s^*(n)$.



Symbole d'un bloqueur :



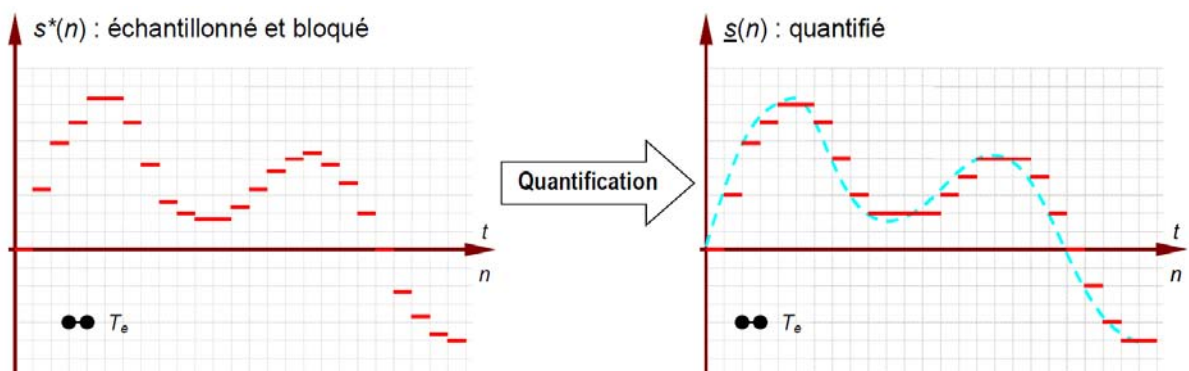
Réalisation d'un échantillonneur-Bloqueur :



L'interrupteur est fermé à intervalle de temps régulier (périodicité : T_e). Le condensateur permet de conserver la valeur $\hat{s}(n) = s(nT_e)$ en entrée du suiveur car il conserve sa charge (courants d'entrée d'un AOP quasi-nuls).

c. Quantification

C'est la phase de conversion à proprement parler. Cette conversion est réalisée par le CAN. Elle consiste à associer la valeur entière la plus proche à la valeur réelle correspondant à la valeur réelle de l'échantillon-bloqué. On obtient alors un signal noté $\underline{s}(n)$.



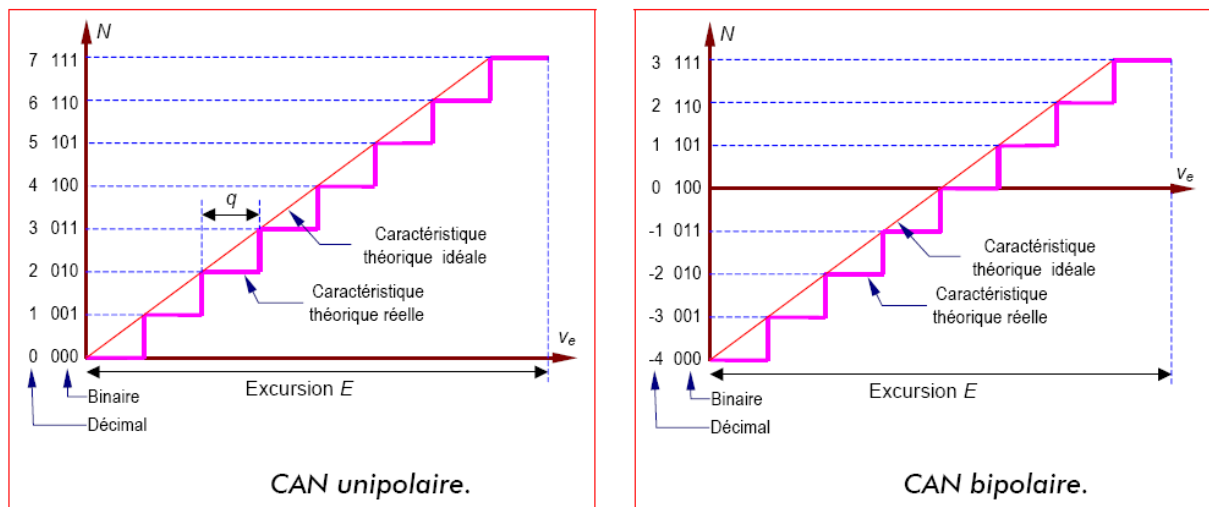
(YC/RN s.d.)

3. Caractéristiques essentielles

Le choix d'un CAN s'appuie sur un ensemble de performances attachées à ses caractéristiques.

a. Caractéristiques de transfert

Comme pour le CNA, deux types de CAN existent : Les CAN unipolaires et les CAN bipolaires.



(YC/RN s.d.)

b. Résolution et quantum

Quantum : Ecart de tension conduisant à l'incréméntation de 1 du nombre de sortie.

Résolution : Nombre d'incréméntes possibles

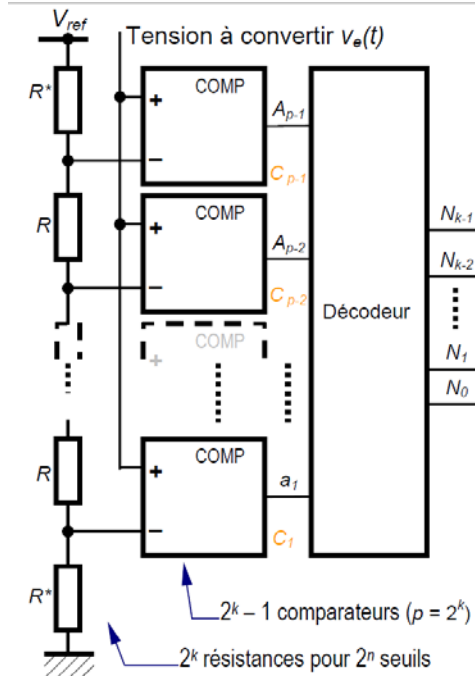
c. Temps de conversion T_c ou temps d'établissement.

C'est le temps minimum nécessaire au convertisseur pour stabiliser une donnée numérique en sortie après avoir appliqué une tension analogique stable en entrée.

$$Rq : T_c \leq T_e \leq \frac{T_{Min}}{2}$$

4. Exemples de CAN

a. Convertisseur parallèle (ou flash)



(YC/RN s.d.)

Principe : On compare la tension à convertir à des fractions d'une tension de référence V_{ref} . La tension atteinte est celle du dernier « 1 » rencontré.

Le décodeur est un circuit combinatoire $2^{k-1} \rightarrow k$ va donner une image binaire des sorties du comparateur.

Inconvénient : beaucoup de matériel, structure complexe

Avantage : temps de conversion très courts.

b. Convertisseur à simple rampe

Principe : Il utilise un compteur qui s'incrémente à partir de 0. Les sorties du compteur sont converties par un CNA. Cette tension interne v_i est comparée à la tension à convertir v_e . Tant que $v_i < v_e$, le compteur s'incrémente. Il se bloque dès que v_i atteint v_e . Le résultat est alors disponible en sortie du compteur.

Avantage : Structure simple

Inconvénient : Convertisseur lent, et peu précis.

c. Convertisseur double-rampe :

Phases de fonctionnement :

1. On charge C pendant T_0 fixé. (temps nécessaire à un cycle complet du compteur). On obtient alors une rampe à temps constant.
2. On décharge C ensuite sous une tension fixée V_{ref} . On obtient alors une rampe à pente constante.

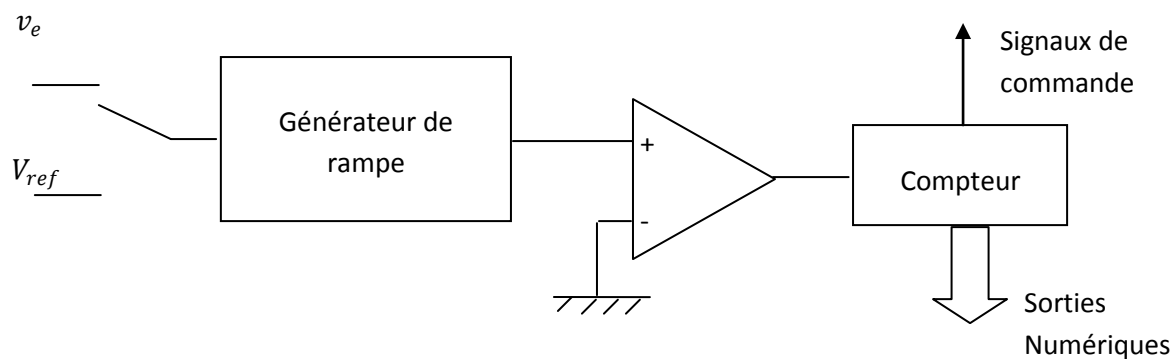
Rq : V_{ref} et V_e doivent être de signe opposés.

Pendant cette décharge, on incrémente le compteur qui, une fois la décharge terminée, sera l'image numérique de la tension à convertir.

Avantages : Très précis

Inconvénients : Très lent

Schéma de principe :



d. Convertisseur semi-parallèle :

Ce convertisseur propose le meilleur compromis temps de conversion/précision.

Schéma de principe : Cas d'un CAN 8 bits

