

La conversion analogique/numérique

A. PRINCIPE DE LA CONVERSION

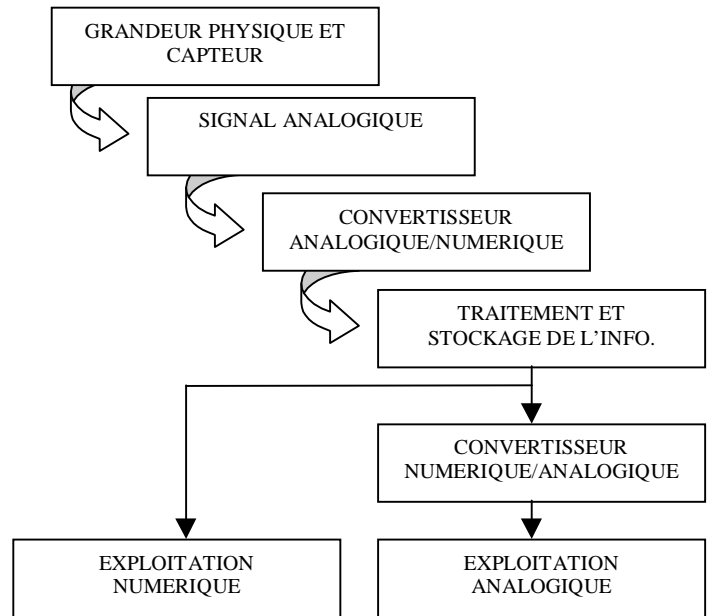
Les signaux analogiques sont l'images des variations des grandeurs physiques telles que :

- température,
- pression,
- débit,...

qui varient continuellement dans le temps. les signaux numériques (ou digitaux), qui sont matérialisés par des impulsions :

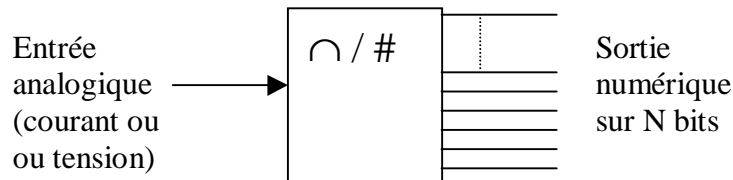
- discrètes,
- quantifiées,
- codées,

facilitent le traitement et le stockage des informations.



Organisation générale de la fonction conversion

La fonction conversion analogique-numérique consiste à transformer une grandeur électrique en une grandeur numérique exprimée sur N bits. Cette grandeur de sortie représente, dans le système de codage qui lui est affecté, un nombre proportionnel à la grandeur analogique d'entrée.



D'une manière générale, convertir une grandeur analogique en une grandeur numérique nécessite deux opérations :

- la quantification : opération qui consiste à associer une valeur analogique à la plus petite variation mesurable entre deux valeurs codées distinctes en sortie. Cette valeur est appelée **quantum**.

$$q = \frac{\Delta V_{eMAX}}{2^n} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n}$$

q : quantum (V), aussi appelé résolution

ΔV_{eMAX} : c'est l'écart entre la valeur mini et maxi de V_e à numériser (V)

n : nombre de bits en sortie du convertisseur

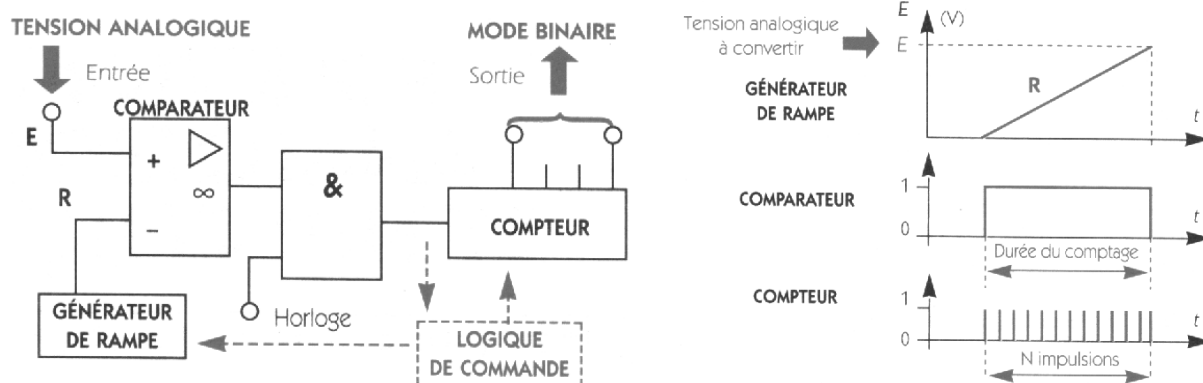
- Le codage : opération qui assigne une valeur numérique à chacun de ces niveaux. Les codages les plus couramment utilisés sont :

- ◆ Le binaire naturel, pour les nombres non signés,
- ◆ Le complément à 2 pour les nombres signés,
- ◆ Le code binaire signé.

B. LES CONVERTISSEURS A INTEGRATION

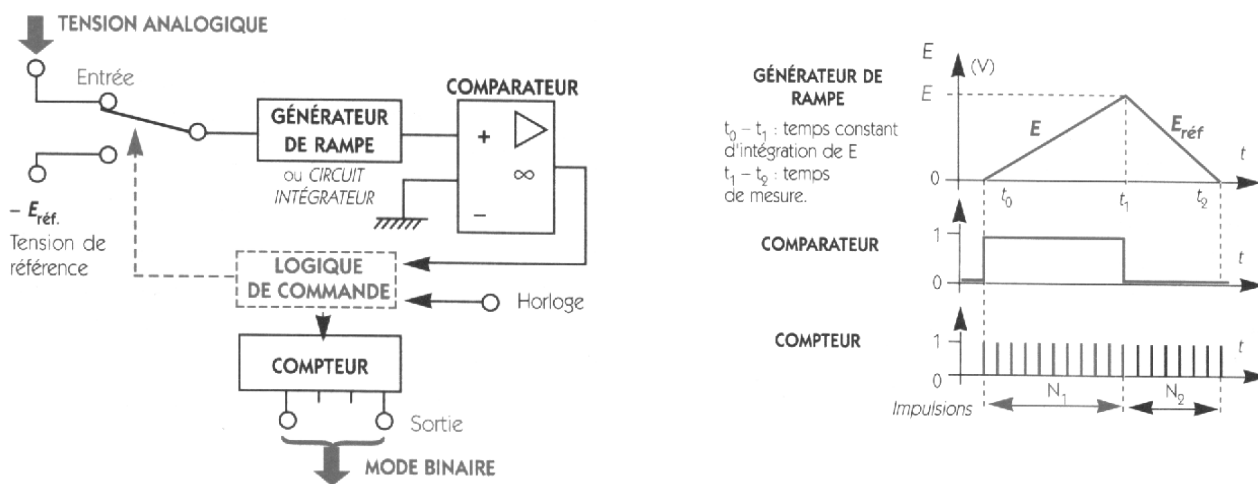
Leur principe consiste à comparer, en temps contrôlé, la tension E à numériser à une tension qui croît linéairement avec le temps. Cette rampe analogique est générée, le plus souvent, par un montage intégrateur à A.I.L.

a) Convertisseur simple rampe :



Le compteur fonctionne en mode comptage tant que la rampe de tension R n'a pas atteint la valeur de la tension à numériser (valeur à partir de laquelle le compteur est stoppé). Ainsi, on obtient en sortie du compteur un mot binaire représentatif de la tension E . Bien que présentant une excellente linéarité, il est lent, peu fiable, peu précis et très sensible aux bruits. Ce convertisseur est de plus en plus délaissé au profit du convertisseur à double rampe.

b) Convertisseur double rampe :



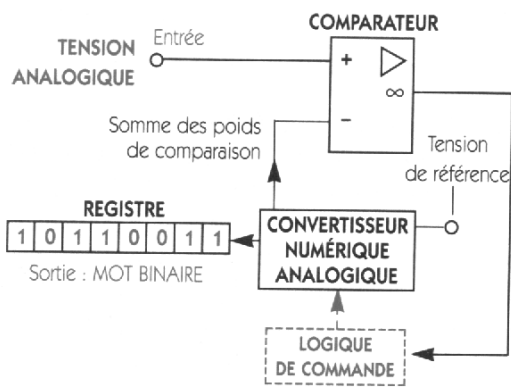
Cette fois-ci, la tension E est appliquée à l'entrée du montage générateur de rampe (montage intégrateur) pendant un temps prédéterminé. Un compteur mesure ce temps, soit N_1 impulsions. Ensuite la logique de commande commute l'entrée du générateur de rampe sur une tension de référence E_{ref} de polarité opposée à la tension E . La tension de sortie décroît linéairement jusqu'à s'annuler. Un compteur mesure la durée de cette décroissance, soit N_2 impulsions. La valeur de la tension à convertir est donnée par la relation : $E = E_{ref} \cdot \frac{N_1}{N_2}$

Dans ce type de convertisseur :

- la première rampe est à **temps constant**,
- la seconde à **pente constante**.

Ce convertisseur est simple, précis, économique mais lent.

C. LE CONVERTISSEUR A APPROXIMATIONS SUCCESSIVES



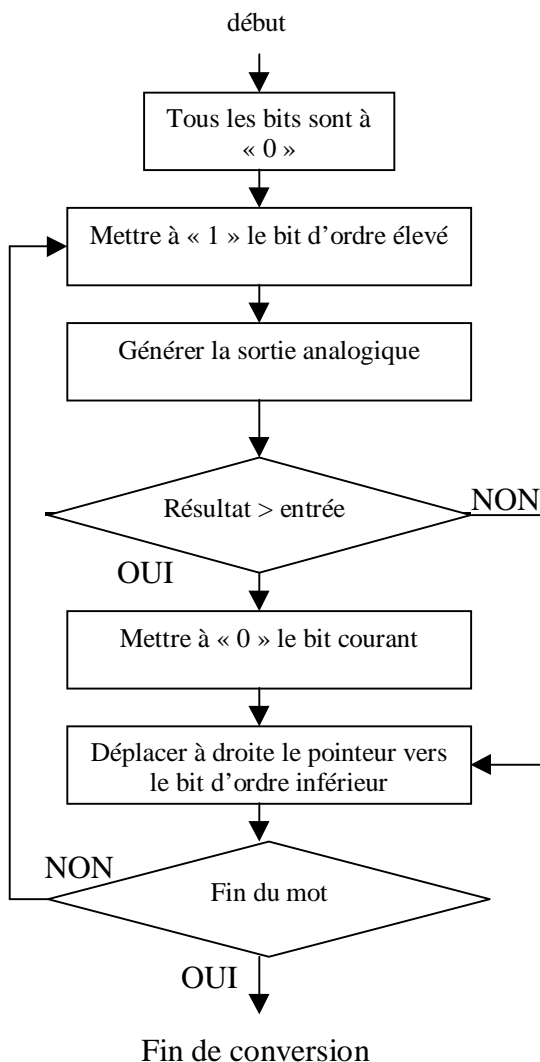
La tension d'entrée à convertir est appliquée à une des entrées du comparateur.

Elle est comparée à des tensions successives de référence un peu comme s'effectue la pesée d'une marchandise sur une balance par le choix de poids successifs dont on fait la somme.

Chaque bit affecté à un poids retenu est considéré à l'état logique « 1 ».

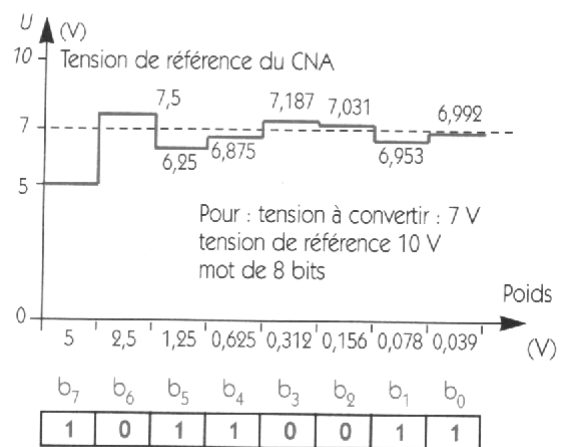
Tous les bits avec leurs états 0 ou 1 sont regroupés dans un mot binaire qui est l'expression numérique de la valeur analogique d'entrée.

Organigramme de fonctionnement :



Exemple :

• Courbe



• Calculs d'approximations successives

POIDS	SOMME ET COMPARAISON	RÉSULTATS
5	$5 < 7$	Conservé $b_7 = 1$
2,5	$5 + 2,5 = 7,5 > 7$	Rejeté $b_6 = 0$
1,25	$5 + 1,25 = 6,25 < 7$	Conservé $b_5 = 1$
0,625	$6,25 + 0,625 = 6,875 < 7$	Conservé $b_4 = 1$
0,3125	$6,875 + 0,3125 = 7,1875 > 7$	Rejeté $b_3 = 0$
0,15625	$6,875 + 0,15625 = 7,03125 > 7$	Rejeté $b_2 = 0$
0,078125	$6,875 + 0,078125 = 6,953125 < 7$	Conservé $b_1 = 1$
0,0390625	$6,953125 + 0,0390625 = 6,9921875 < 7$	Conservé $b_0 = 1$

Description : La tension d'entrée est de 7V.

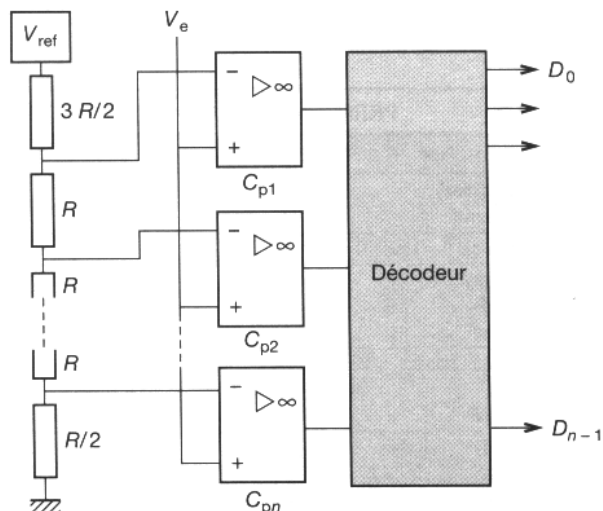
La tension de référence appliquée au CNA qui génère les valeurs de tension est 10V.

Le 1^{er} poids appliqué au comparateur (V-) est 5V, soit la moitié de la tension de référence.

Le second poids est le quart (soit 2,5V), le 3^{ème} le huitième, le 4^{ème} le seizième... jusqu'au poids du bit le plus faible, soit b_0 qui a pour valeur : $\frac{10}{2^n} = \frac{10}{2^8} = \frac{10}{256} = 0,039V$.

D. CONVERTISSEUR PARALLELE OU FLASH

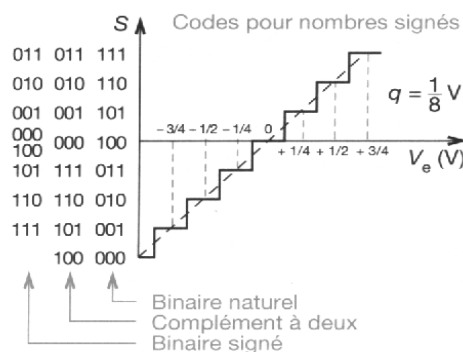
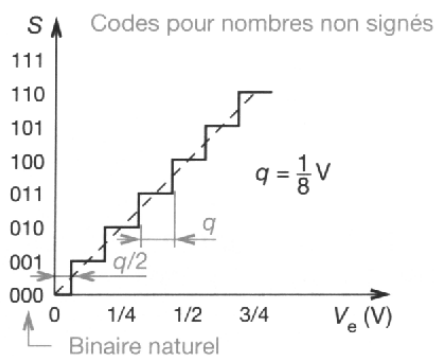
Une chaîne de 2^{n+1} résistances détermine un échelonnement de valeurs distantes de q et comprises entre V_{\max} et V_{\min} (sauf pour la première qui est distante de $q/2$). Chaque valeur est appliquée à l'une des entrées de 2^n comparateurs. Le potentiel V_e est appliqué sur la deuxième entrée de chaque comparateur et tous les comparateurs correspondant à des niveaux inférieurs ou égaux à V_e basculent simultanément. Le codage est ensuite effectué instantanément par un décodeur (ou une structure logique).



Inconvénient : il faut 255 comparateurs pour une conversion sur 8 bits.

E. CARACTERISTIQUES DES C.A.N.

- ◆ Pleine échelle : Etendue de la grandeur analogique d'entrée. Notée U_{pe} .
- ◆ Résolution : Amplitude de la plus petite variation de la sortie. Elle correspond au LSB, (Last Significant Bit) bit de poids faible. Notée r ou q .
- ◆ Temps de conversion : C'est le temps minimum nécessaire au convertisseur pour stabiliser une donnée numérique en sortie après qu'une tension analogique ait été appliquée à l'entrée du C.A.N. Notée T_c .
- ◆ Erreur de décalage : C'est l'écart entre la valeur réelle de la grandeur d'entrée et la valeur théorique de cette grandeur qui fournirait le même mot binaire en sortie.
- ◆ Erreur de gain : Elle se traduit par la différence qu'il existe entre le maximum de la valeur analogique d'entrée et la valeur théorique du plus grand mot binaire de sortie.
- ◆ Erreur de linéarité : Elle se caractérise par l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite idéale. Elle s'exprime en % de ΔV_e .
- ◆ Erreur de quantification : Elle est systématique de la conversion analogique-numérique. Elle vaut : $\pm \frac{1}{2}$ LSB.
- ◆ Exemple de codage des valeurs

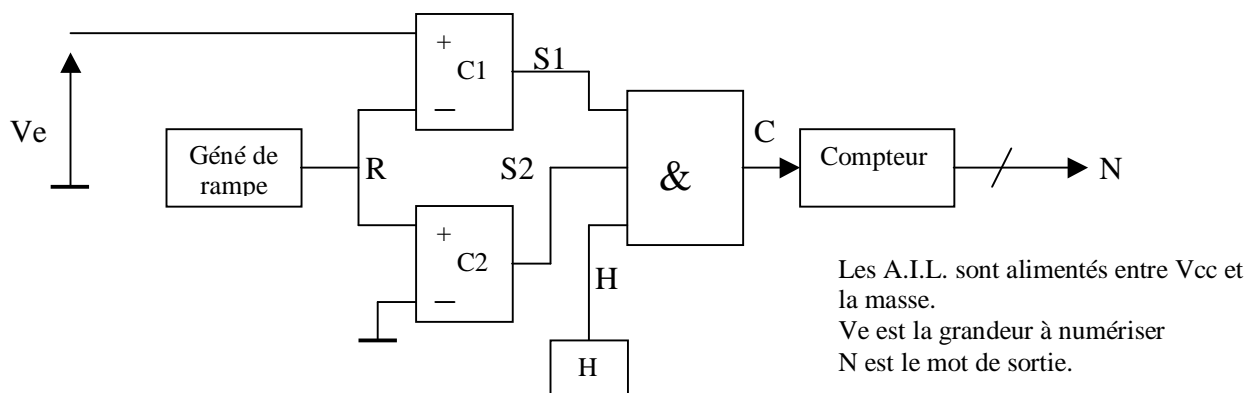


- ◆ Conversion unipolaire : Permet de convertir des tensions analogiques d'entrée :
 - positives ($V_{ref+} = +V$; $V_{ref-} = 0$) : $0 < V_e < V_{ref+} - q$
 - négatives ($V_{ref-} = -V$; $V_{ref+} = 0$) : $-(V_{ref-} + q) < V_e < 0$
- ◆ Conversion bipolaire : Permet de convertir des tensions positives et négatives :
 - $-(V_{ref-} + q) < V_e < V_{ref+} - q$

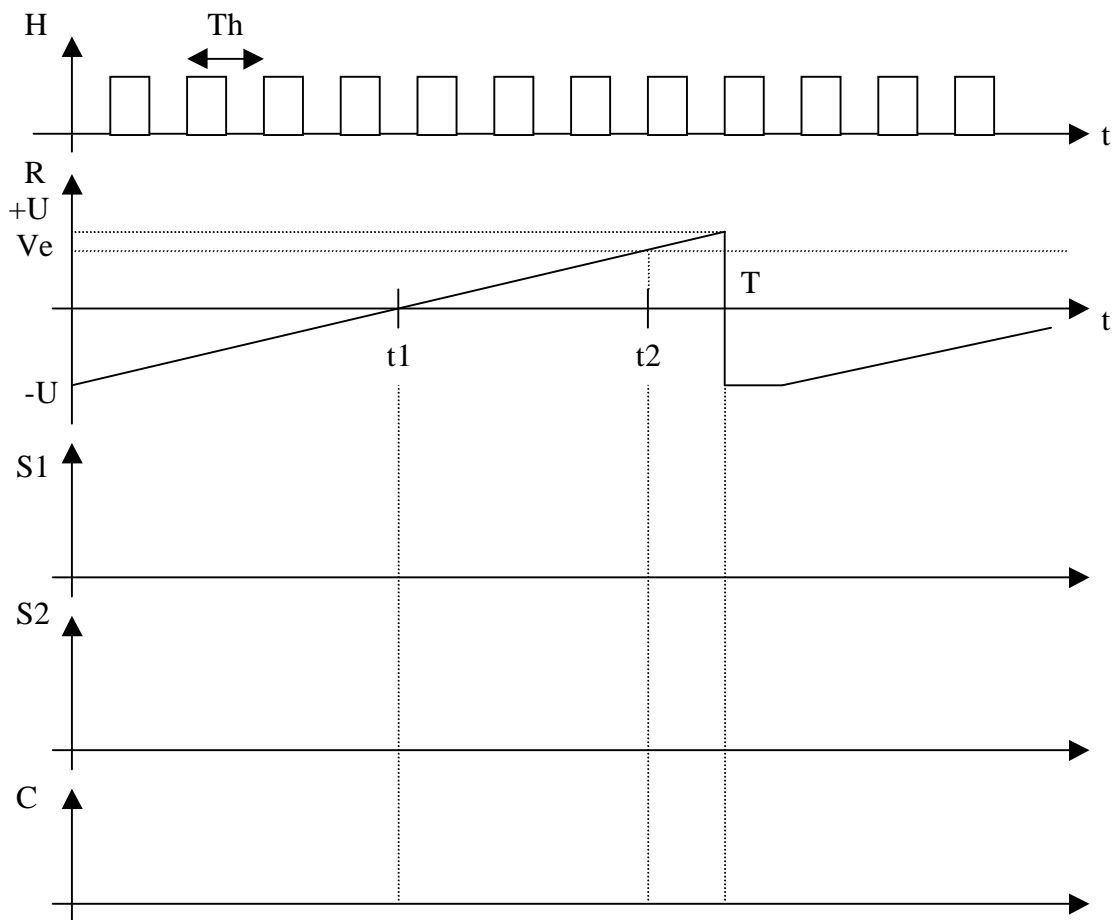
F. APPLICATIONS

a) Etude du convertisseur simple rampe :

La principe est celui proposée au § B) a). La structure est la suivante :



Les chronogrammes relatifs au fonctionnement de la structure sont les suivants :



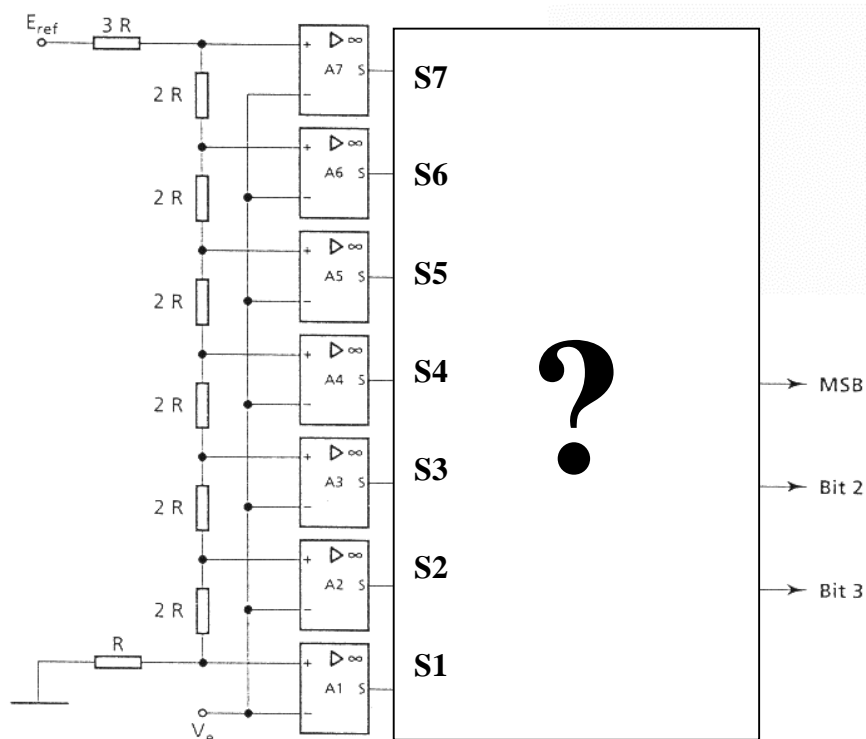
- Donner en le justifiant le régime de fonctionnement des A.I.L. C1 et C2.
- Donner l'équation logique du signal C.
- Compléter l'allure des signaux S1, S2 et C sur les chronogrammes ci-dessus.
- Donner la valeur théorique du nombre N dans ce cas.

e) On veut démontrer que $N = f(V_e)$

1. Durée des impulsions sur C : d'où : $N =$
Période du signal d'horloge :
2. Donner l'équation de la rampe présente sur R.
Rappel : équation d'une rampe : $u = a t + b$.
3. Exprimer t_2 en fonction de T, U et V_e .
4. Exprimer t_1 en fonction de T.
5. Déterminer la relation liant N à T, U, T_h et V_e .
Si $N = K V_e$; Donner l'expression de K.

b) Etude du convertisseur flash :

La structure proposée pour réaliser le convertisseur parallèle est la suivante :



- a) Donner les expressions des potentiels $V+$ des comparateurs A1 à A7 en fonction de E_{ref} .
- b) Calculer la valeur du quantum q de ce convertisseur.
- c) Le tableau suivant décrit l'évolution du code de sortie (constitué de MSB, bit2 et bit3) que l'on désire en fonction des valeurs d'entrée.

Grandeur d'entrée	$0 < E < q$	$q < E < 2q$	$2q < E < 3q$	$3q < E < 4q$	$4q < E < 5q$	$5q < E < 6q$	$6q < E < 7q$	$7q < E < 8q$
MSB	0	0	0	0	1	1	1	1
Bit 2	0	0	1	1	0	0	1	1
Bit 3	0	1	0	1	0	1	0	1

Déterminer les équations de MSB, Bit 2 et Bit3 en fonction de S1, S2, S3, ..., S7.

- d) Proposer une structure logique validant le fonctionnement du convertisseur.