

LES CNA ET CAN

Acquisition, Conversion et Restitution de données.

A) Généralités sur les techniques numériques.

A1) Avantages des techniques numériques:

Les techniques numériques ont permis de réaliser ces dernières années, des progrès très importants. Pourtant le monde qui nous entoure n'est composé que de grandeurs analogiques (couples, courants, dimensions, forces, pressions, températures, tensions, vitesses...). Il semblait donc tout naturel au début, de réaliser des dispositifs analogiques, afin de mesurer, enregistrer, piloter ces grandeurs physiques qui nous entourent. Mais très rapidement, les avantages des techniques numériques se sont fait sentir. Dans les domaines tant de la mesure, que de l'acquisition de données, et bientôt dans les asservissements, de nombreux critères favorisent les techniques numériques.

- Précision de mesure apportée par la lecture digitale (disparition d'erreurs de lecture typique aux appareils à aiguilles, (parallaxe)).
- Précision liée au nombre de chiffres significatifs (il est possible d'utiliser un nombre de chiffre significatif important (attention aux précautions de mesure)).
- L'enregistrement de données numériques apporte de multiples avantages (fiabilité des informations, perte de qualité inexistante (possibilité de régénérer les niveaux logiques), rapport signal sur bruit élevé).
- Transmission des données sur de grandes distances, et dans des conditions difficiles.
- Traitement des données en temps réel ou en temps différé, avec des algorithmes de calcul irréalisables de manière analogique.
- Tendance à l'intelligence artificielle, par mémorisation d'un contexte vécu et apprentissage progressif.

... Cette liste ne donne qu'un aperçu des possibilités des techniques numériques. De nombreuses applications utilisent déjà des dispositifs d'analyse et de synthèse vocale, ou de création ou de traitement d'images...

A2) Inconvénients des techniques numériques.

1) Nécessité de traduction de l'information (Analogique <--> Numérique).

Les informations d'entrées doivent être présentées au système numérique sous forme binaire, et de même les informations délivrées seront disponibles sous cette forme.

Entrée d'informations: Il est donc nécessaire de recourir à des transducteurs.

- Capteur délivrant l'information sous forme numérique (ex: clavier, codeur optique). Il n'est pas toujours possible de traduire directement l'information en numérique.
- Capteur analogique associé à un convertisseur analogique numérique.

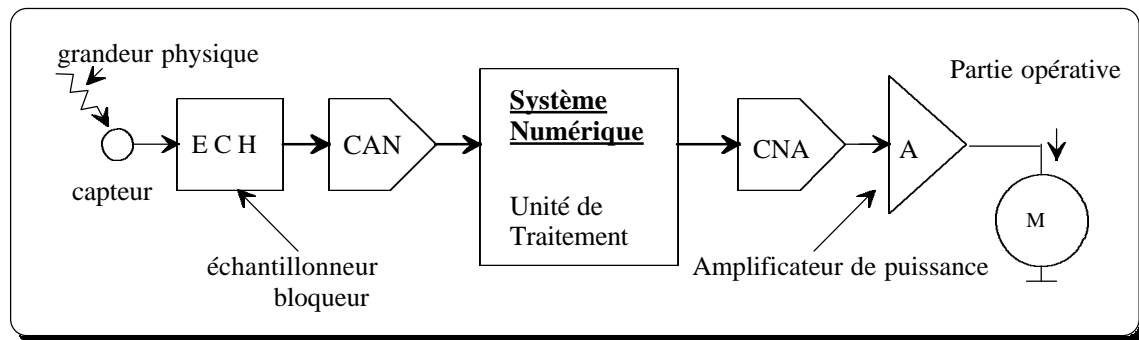
Sortie d'informations:

- Actionneur Numérique (moteur pas à pas).
- Actionneur Analogique associé à un convertisseur numérique analogique.

2) Temps de réponse (conversion et traitement) pouvant être importants.

Les temps liés aux conversions et au traitement, déterminent la frontière d'utilisation des systèmes numériques et de leurs concurrents analogiques. Dans le domaine des asservissements, ou le traitement en temps réel est indispensable pour assurer la stabilité, les techniques numériques sont souvent limitées à des fréquences basses. (Attention, les progrès sur les convertisseurs et sur les micros sont très rapides (les évolutions sur les compacts disques, et sur les ordinateurs personnels, permettent de diminuer les coûts des composants rapides).

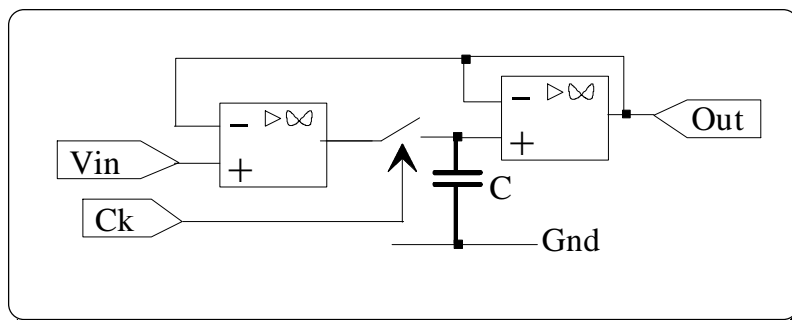
A3) Schéma de principe d'un système numérique complet.



B) L'échantillonneur bloqueur.

Lorsque l'on veut numériser un signal analogique variable à l'aide d'un convertisseur analogique numérique, il ne faut pas perdre de vue que cette conversion ne sera pas instantanée. Or la valeur du signal analogique va évoluer pendant la conversion ce qui peut entraîner des erreurs sur la valeur convertie.

Il faut donc prévoir un dispositif capable de mémoriser la grandeur analogique pendant le temps de conversion., ce dispositif s'appelle un Echantillonneur bloqueur .



B1) Principe de fonctionnement simplifié.

Lors de la phase d'acquisition la tension V_e est appliquée à un condensateur C à travers un interrupteur analogique , l'amplificateur U_a servant d'adaptateur d'impédance .La constante de temps de charge du circuit est le produit $R_{DSon} * C$ ce qui est très faible .

Pour la phase de mémorisation l'interrupteur S est ouvert et le condensateur conserve sa charge pour peu que l'amplificateur U_b ait une très grande impédance d'entrée et un faible courant d'offset.

Le montage est en boucle fermée ce qui permet une amélioration des performances

C) Conversion analogique numérique.

C1) Introduction .

Il existe une grande variété de convertisseurs analogiques numériques (CAN ou ADC= Analog to Digital Converter) mais on les classe dans quatre ou cinq catégories:

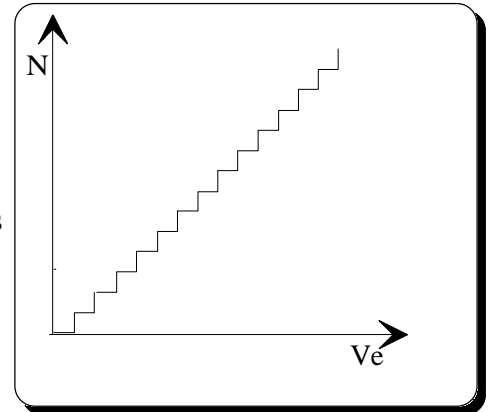
- Les convertisseurs à rampes (simple, double ,multiples).
- Les convertisseurs à approximations successives.
- Les convertisseurs parallèles.

Chaque type de convertisseur possède ses avantages , ses inconvénients et donc ses domaines d'application.

C2) Définition .

Un convertisseur analogique numérique fait correspondre un nombre binaire N à une tension d'entrée V_e . N étant un nombre entier il peut correspondre à des valeurs différentes de V_e si celles ci sont situées entre deux valeurs de N .

Fonction de transfert d'un CAN. (Voir ci-contre).



C3) Caractéristique principale des CAN

- **Résolution:** (exprimée en nombre de bits ou en % de la pleine échelle) Définit la valeur de la variation de la tension d'entrée donnant lieu à une variation d' une unité de la donnée numérique présente en sortie .

Ex: Un convertisseur à une résolution de 12 bits ou de 0,0244 % .souvent confondue avec la taille du LSB.

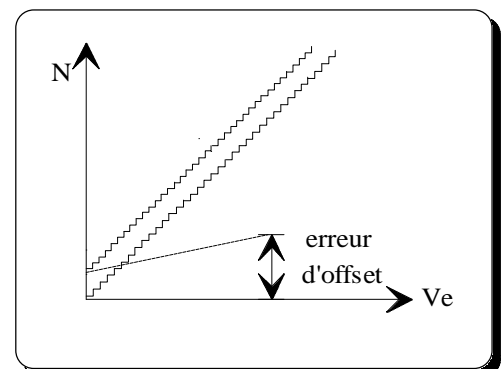
- **Temps de conversion:** durée écoulée entre l'instant d'apparition de l'impulsion de début de conversion et l'instant où la donnée est disponible sur le bus de sortie

- **Polarité:** Un convertisseur peut être **bipolaire** ou **unipolaire** selon qu'il peut accepter ou non des signaux d'entrées symétriques par rapport à zéro.. Dans le cas d'un convertisseur bipolaire, le code de sortie correspond soit à un code binaire décalé, soit à un code complément à deux, ou un code appelé amplitude signe (le bit de signe est inversé par rapport au complément à 2.

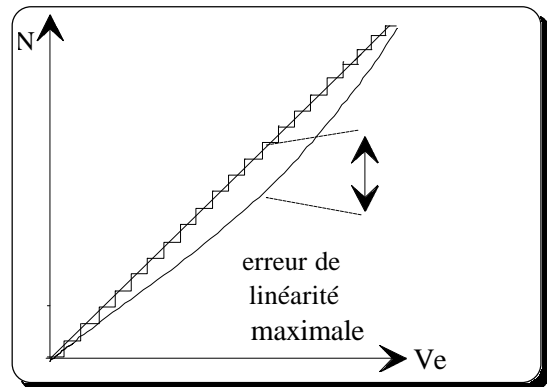
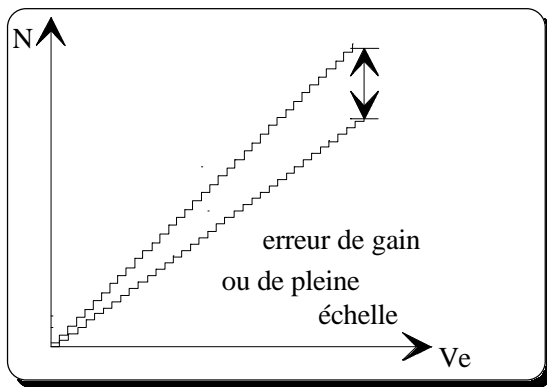
C4) Principaux défauts des CAN.

Erreur d'offset: c'est la tension de décalage du zéro. Ce paramètre est réglable par des composants externes.

Erreur de gain: L'erreur de gain caractérise la différence de tension pleine échelle entre un convertisseur idéal et un convertisseur réel. Ce paramètre est réglable par des composants externes.



Erreur de linéarité relative: elle est définie comme la différence maximale entre la caractéristique $N(V_{in})$ réelle et la caractéristique idéale Ce paramètre n'est pas réglable .

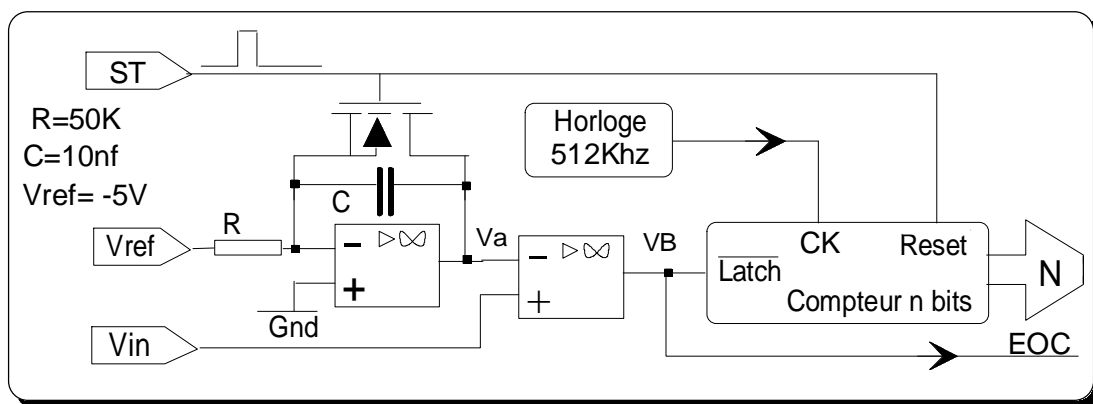


C5) Principe de fonctionnement des CAN.

C5a) Etude du convertisseur analogique numérique à simple rampe:

Ce type de convertisseur n'est plus utilisé mais son principe permet de mieux appréhender les convertisseurs à double rampe.

Description du fonctionnement



Phase 1:

Une impulsion de début de conversion permet de décharger la capacité C et de remettre à zéro le compteur n bits.

La tension V_{in} est appliquée sur l'entrée + d'un comparateur et une rampe de tension VA est appliquée sur l'entrée --

Durant cette phase le compteur est en mode comptage et V_{in} ne doit pas varier.

Phase 2:

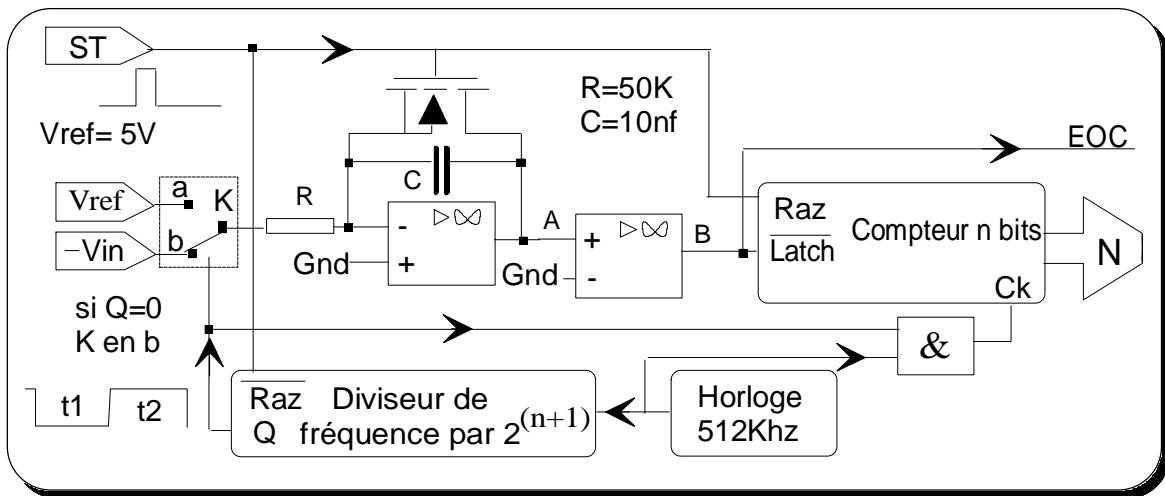
Lorsque V_{in} devient supérieure à VA le nombre N est mémorisé en même temps que devient actif le signal de fin de conversion.

@ on se propose de montrer que le nombre N est proportionnel à la tension V_{in} .

- 1) Exprimez la tension VA en fonction de V_{ref} , R, C et du temps.
- 2) Exprimez le nombre N en fonction de V_{in} , V_{ref} , F_0 , R et C .
- 3)-Que peut-on dire du temps de conversion de ce convertisseur?

C5b) Etude du convertisseur analogique numérique à double rampe:

Ces convertisseurs sont une amélioration de la version précédente .Il sont très utilisés dans les chaines de mesure car très précis. (Ex voltmètres numériques) par contre ils sont très lents et ne peuvent convenir pour la numérisation de signaux rapides.



Description du fonctionnement

Le diviseur de fréquence délivre un signal de rapport cyclique 50% et dont la période est $2^{(n+1)}$ fois celle de l'horloge.

Phase 1:

L'inverseur K est positionné sur $-V_{in}$.Le condensateur C se charge pendant toute la durée t_1 , la pente de charge dépend de la valeur de V_{in} le compteur ne reçoit pas les impulsions de l'horloge.

Phase 2:

L'inverseur K est positionné sur V_{ref} . Le condensateur C se décharge à pente constante et la durée de décharge dépend de la condition initiale au temps t_1 . Le compteur reçoit les impulsions de l'horloge.

Phase 3:

Lorsque la tension V_A devient négative, le comparateur bascule mémorisant le nombre N et activant le signal de fin de conversion.

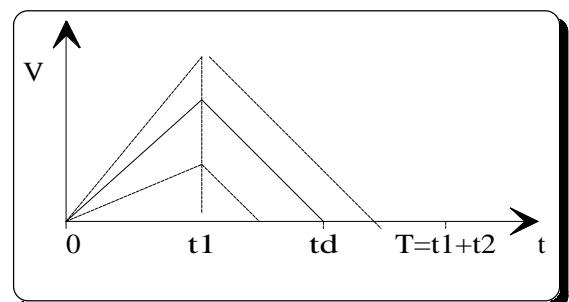
@ 1) Exprimez la durée t_1 du signal présent au point C, en fonction de F_0 la fréquence de l'horloge, si le convertisseur est sur 8 bits ($n=8$)

2) Exprimez la tension présente au point A à la fin de la phase 1, en fonction de $-V_{in}$, R, C, t_1 .

3) Exprimez t_d la durée de la décharge du condensateur C en fonction des éléments en votre possession.

4) Exprimez le nombre N en fonction de $-V_e$, V_{ref} et N.

6) Comparez avec les résultats du simple rampe , conclure.



C5c) Etude des convertisseurs analogiques numériques à rampes multiples:

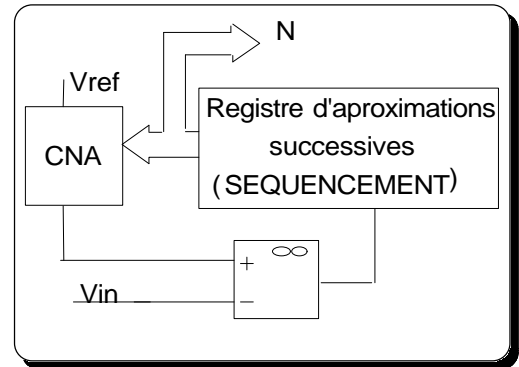
Ce sont pour la plupart d'entre eux des convertisseurs dérivés des précédents qui possèdent un calibrage automatique ou une phase d'auto-zéro, ils sont réservés aux mêmes applications que les doubles rampes.

C5d) Conversion à approximations successives

Constitution :

Les convertisseurs analogiques numériques à approximations successives sont constitués:

- 1) D'un convertisseur numérique analogique à réseau R/2R.
- 2) D'un comparateur de tensions.
- 3) D'un séquenceur (RAS= registre à approximations successives appelé SAR en anglais).



Principe de fonctionnement:

soit N le nombre correspondant au plein calibre du CAN. Le registre d'approximations successives (RAS) présente au CNA le code $N/2$, qui est traduit en $V_{max}/2$.

Le comparateur compare V_e à cette valeur; Si V_e est $<$ à $V_{max}/2$, le RAS présente $N/4$ sinon, il essaie $3N/4$, cette valeur étant de nouveau comparée à V_e .

Cette méthode appelée dichotomie nécessite N comparaisons élémentaires pour un convertisseur de N bits

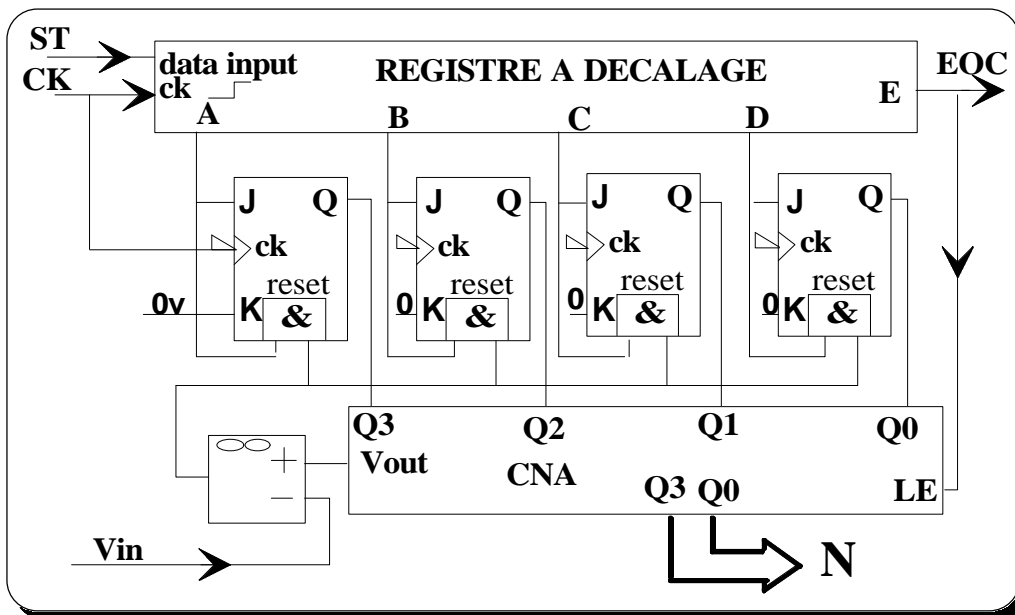


Schéma interne d'un convertisseur 4 bits (principe):

ST:Début de conversion.

EOC:Fin de conversion.

Vout:sortie du CNA.

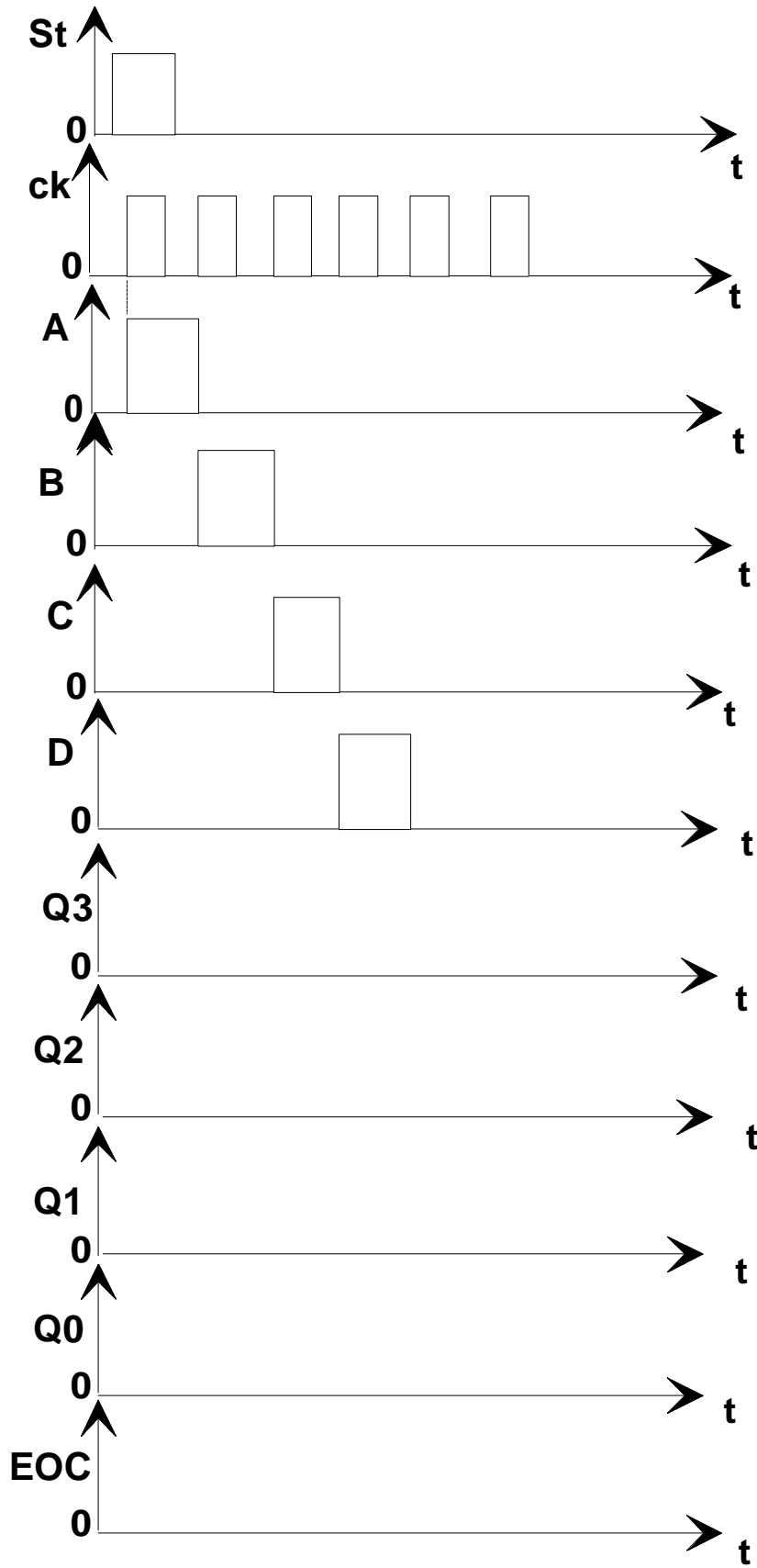
LE:Latch enable

@ Tracez les chronogrammes des signaux A..E et Q3..Q0 en fonction de CK et ST si v_{ref} du CNA = 5 Volts et $V_{in} = 3,25$ Volt.

Quelle valeur de N est mémorisée dans le latch.

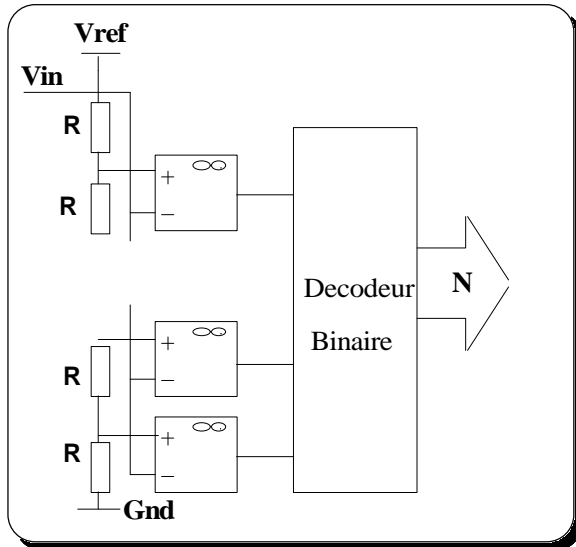
remarque: les bascules J K sont synchrones.

Chronogrammes des signaux du convertisseur à approximations successives.



C5e) Convertisseur FLASH:

Ils sont utilisés dans les applications où le critère de rapidité est prépondérant. Numérisation des images vidéo, par exemple.



Avantages

Le temps de conversion n'est limité que par le temps de propagation des comparateurs et des circuits combinatoires de la logique de décodage.

Inconvénients

Pour réaliser un convertisseur N bits il faut $2^N - 1$ comparateurs .

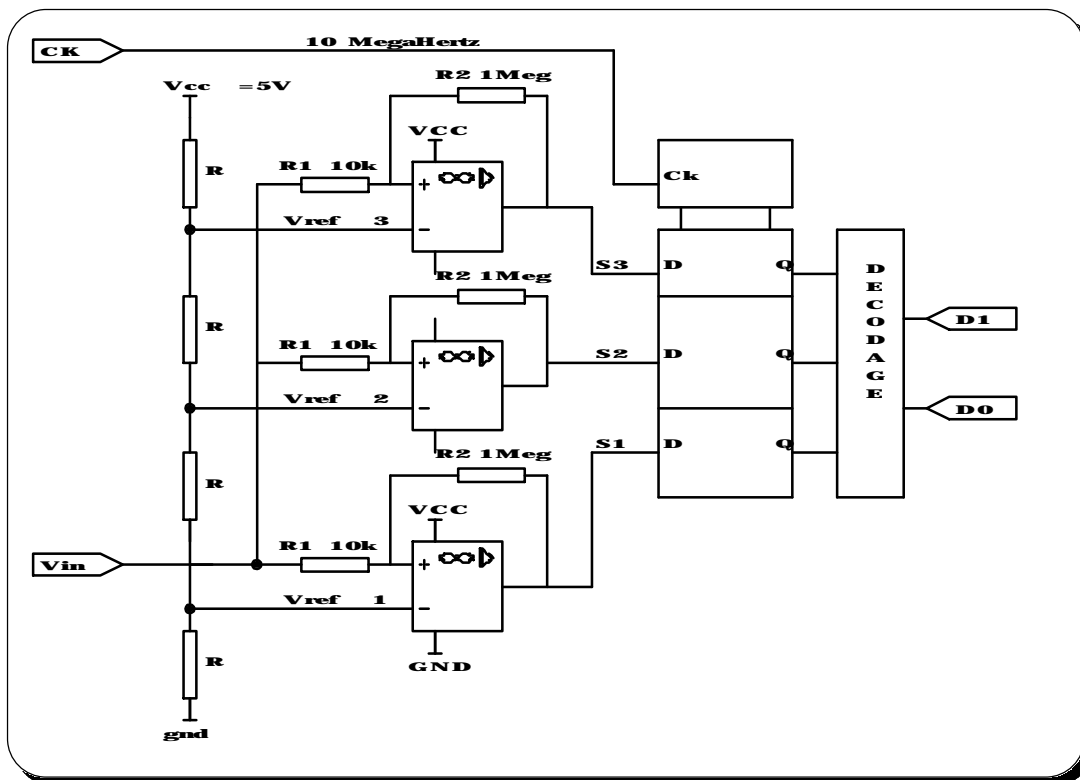


Schéma d'un convertisseur parallèle 2bits.

@1) Calculez les seuils des tensions Vref1,3.

2) Calculez les seuils du trigger n°1, tracez le cyclogramme.

3) Justifiez la présence des bascules D (temps de propagation des triggers $< 50\text{nS}$).

4) Tracez les tensions Vs1 à Vs3 si Vin est une rampe variant de 0 à 5 Volts.

5) Donnez l'équation logique des sorties D0 et D1 et réalisez le décodeur à l'aide de porte "Non Et" en optimisant les temps de propagation.

D) La conversion numérique analogique.

(Rappels mathématiques).

Dans un système de numération de base B, une quantité Q quelconque se représente à l'aide d'une suite de symboles (B correspondra au nombre de valeurs distinctes que peuvent prendre chaque symbole).

$$a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, \dots, a_2, a_1, a_0$$

Chaque symbole a_i est caractérisé par sa position, ou rang, précisé par l'indice i, celui ci définit automatiquement le poids B^i du symbole a_i . Ainsi la valeur Q est par définition:

$$Q = a_{n-1} \cdot B^{n-1} + a_{n-2} \cdot B^{n-2} + \dots + a_1 \cdot B^1 + \dots + a_2 \cdot B^2 + a_1 \cdot B + a_0$$

La conversion numérique analogique, consiste à transformer une information disponible sous forme binaire en une information analogique. Soit N l'information numérique, et A la quantité analogique correspondante.

$$N = (a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, \dots, a_2, a_1, a_0)$$

$$A = q \cdot (a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + \dots + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2 + a_0)$$

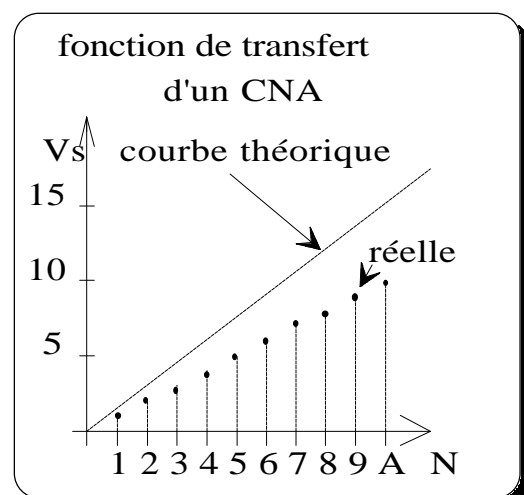
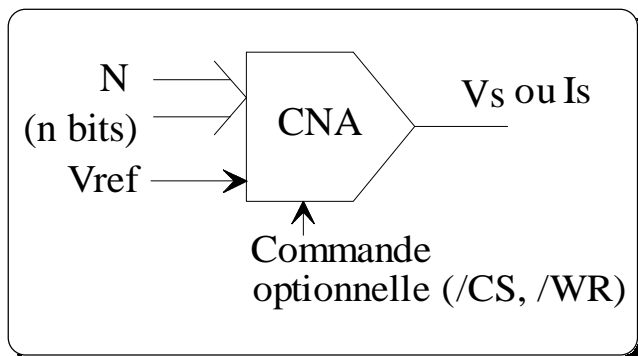
- q est la quantité analogique élémentaire (quantum de base), sa valeur est fonction dans le cas des convertisseurs, du nombre de bits et de l'excursion (pleine échelle appelé FSR= full scale range). Ex: pour un convertisseur 8 bits, si FSR=10V, $q=10/(2^8-1)=10/255=39\text{mV}$ (il y a 255 intervalles).
- a_{n-1} est le bit de poids le plus fort ou MSB (Most Significant Bit).
- a_0 est le bit de poids le plus faible ou LSB (Least Significant Bit).

D1) Différents types de convertisseurs numériques analogiques (CNA ou DAC= digital to analog converter):

Contrairement aux convertisseurs analogiques numériques il existe peu de types différents de convertisseurs numériques analogiques.

On distinguera les convertisseurs à réseaux R/2R et les convertisseurs à rapport cyclique variables très utilisés dans les microcontrôleurs.

D2) Schéma fonctionnel et Fonction de transfert d'un CNA.



D3) Caractéristiques principales des CNA.

Valeur du LSB ou de l'INCREMENT: Représente la variation de la tension de sortie lorsque l'on incrémente (augmente d'une unité) le nombre binaire d'entrée. (utilisé aussi pour les CAN)

- **FSR:** (full scale range) Dynamique de sortie = écart entre le minimum et le maximum de la tension de sortie. (utilisé aussi pour les CAN)

- **RESOLUTION:** exprimée en nombre de bits du convertisseur ou en nombre d'incrément (LSB) du convertisseur.

- **TEMPS D'ETABLISSEMENT:** temps mis par la tension de sortie pour passer de zéro à la pleine échelle. lorsque N passe de 0 à Nmax.

- **LINEARITE, erreurs de gain et d'offset,** s'expriment de la même façon que pour les CAN.

- **POLARITE:** Un convertisseur Numérique analogique peut être considéré comme un multiplieur. En effet il effectue une multiplication entre la valeur de la référence et le nombre à convertir à une constante près $\left[V_S = N \times \frac{V_{ref}}{2^n} \right]$. Selon que N est exprimé en code signé ou que vref peut être positive ou négative on dira que l'on a à faire à un convertisseur deux quadrans ou quatre quadrans si les deux propriétés lui sont acquises.

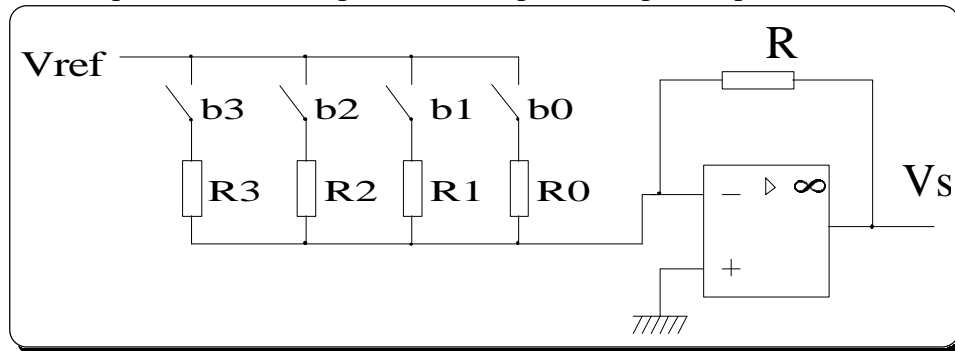
-Précision et monotonie

Lorsque l'on passe d'un nombre N à N+1 la tension de sortie passe de $V_{S_N} \pm \epsilon$ à $V_{S_{N+1}} \pm \epsilon$ le cas le plus défavorable étant $V_{S_N} + \epsilon$ à $V_{S_{N+1}} - \epsilon$ si $\epsilon > 0.5 \text{ LSB}$ alors la tension de sortie diminue au lieu d'augmenter le convertisseur n'est pas monotone.

D4) Principe de fonctionnement des CNA.

D4a) Etude d'un convertisseur à résistances pondérées .

Ce type de convertisseur n'existe pas de façon intégrée car limité à 4 ou 5 bits de résolution. Son étude révèle simplement certains problèmes de précision posés par les convertisseurs.



@ Exprimer la tension V_S en fonction des éléments du montage et montrer que l'on peut la mettre sous la forme. $V_S = -\frac{2 \times V_{ref}}{2^n} [2^3 b_3 + 2^2 b_2 + 2 b_1 + b_0]$

avec $b_0, b_1, b_2, b_3 \in [0, 1]$ et $R_3 = R, R_2 = 2R, R_1 = 4R, R_0 = 8R$ ($n=4, V_{ref} = -8V$)

Erreur mise en jeux :

Les interrupteurs analogiques ont une résistance à l'état passant de 50W (au mieux de 25W), elle diffère selon les branches et doit être négligeable dans tous les cas.

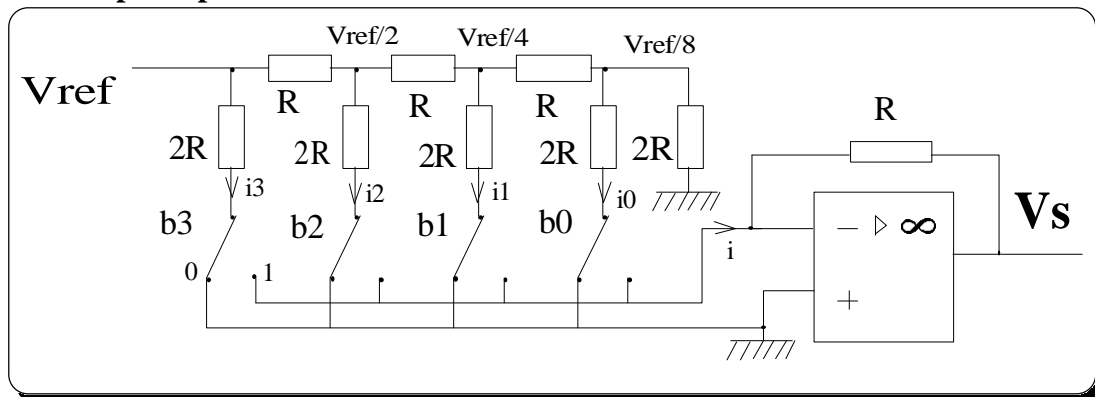
La précision absolue exigée est $< 0.5 \text{ LSB}$ et la précision relative de

$$\frac{0.5 \text{ LSB}}{\text{FSR}} = \frac{0.5}{2^{N-1}} \text{ car } \text{LSB} = \frac{\text{FSR}}{2^{N-1}}, \text{ donc } 3.3\% \text{ pour } n=4 \text{ et } 0.012\% \text{ pour } n=12.$$

D4b) Convertisseur à réseau R/2R.

Ce sont les convertisseurs les plus répandus, ils possèdent une bonne précision car les résistances mises en jeu sont toutes égales à R ou 2R .

Schéma de principe



@ Exprimer la tension V_s en fonction des éléments du montage et montrer que l'on peut la mettre sous la forme:

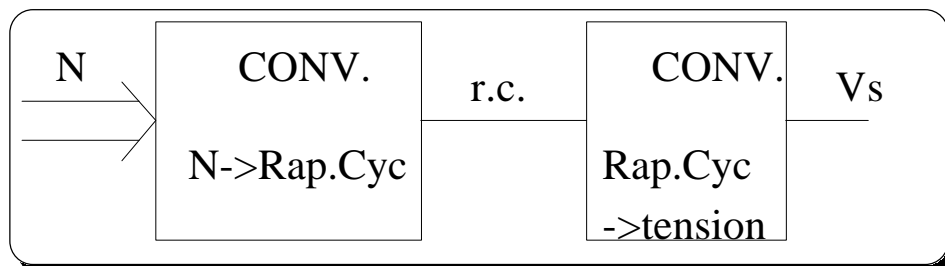
$$V_s = -\frac{V_{ref}}{2^n} [2^3 b_3 + 2^2 b_2 + 2b_1 + b_0]$$

Ces convertisseurs dans un grand nombre de cas ne renferment pas l'ALI dans le boîtier et délivrent donc deux courants I complémentaires l'un de l'autre, par contre la résistance de contre réaction R est prévue dans le boîtier ce qui améliore la précision et la dérive thermique.

Le fait de ne pas intégrer d'amplificateur rend le montage plus souple et permet des applications autres que la conversion comme par exemple les amplificateurs à gain programmables numériquement.

D4d) Les convertisseurs indirect (Ex: à rapport cyclique variable).

Ce sont des conversions indirectes. Ex: On effectue d'abord une conversion numérique rapport cyclique puis une conversion rapport cyclique tension.



Ces convertisseurs sont très utilisés dans les microcontrôleurs car la conversion numérique rapport cyclique peut être réalisée simplement par un Timer. La conversion rapport cyclique tension est alors obtenue par intégration à l'aide d'un circuit RC (Passe bas). Ces convertisseurs sont simples, mais peu rapides.

Chronogrammes des signaux du convertisseur à approximations successives (corrigé).

