

CONVERTISSEURS ANALOGIQUE / NUMERIQUE ET NUMERIQUE / ANALOGIQUE



Approfondir

Introduction

Les CNA:

Principe

Circuits à résistances

Circuits à sources pondérées

Cellules analogiques

Les CAN:

Les Suiveurs

Convertisseurs à rampes

Convertisseurs logarithmiques

Convertisseurs flash

1

Après avoir étudié des configurations de circuits propres aux mondes analogiques et numériques, il est naturel de vouloir les interfacer.

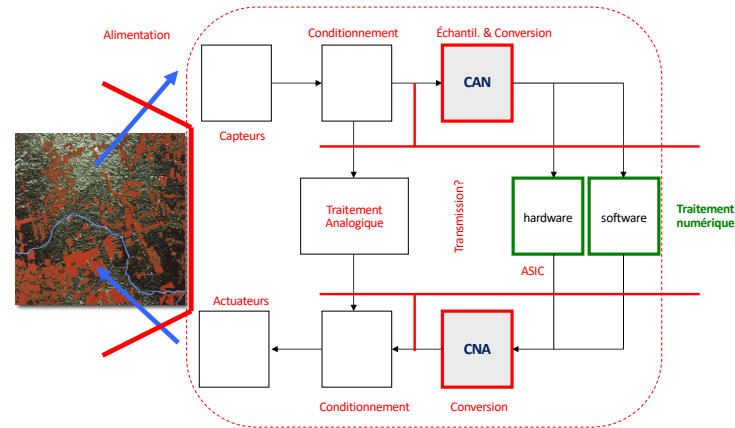
Les convertisseurs numériques - analogiques (CNA - DAC en Anglais) et analogiques - numériques (CAN - ADC en Anglais) permettent cette navigation entre les deux mondes.

Plusieurs solutions de CNA et CAN seront analysées et comparées.

En annexe nous proposons quelques définitions complémentaires, ainsi que l'analyse d'une cellule fondamentale la paire différentielle, utilisée dans le monde des convertisseurs pour jouer le rôle de switch analogique (interrupteur analogique).

Systèmes électroniques

Environnement complet



2

Nous avons évoqué en début d'année, la volonté de l'être humain de maîtriser la nature. D'acquérir ses manifestations dans le but de les analyser afin de reproduire ou de transformer les phénomènes. L'électronique au sens large contribue à cette maîtrise.

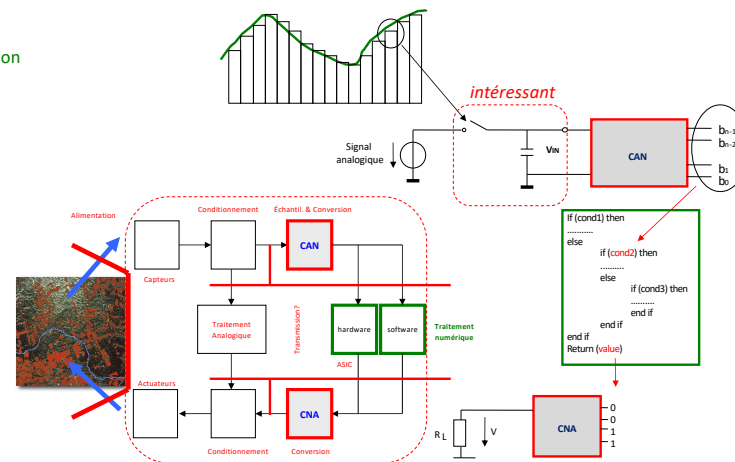
Les traitements sont généralement associés à des réflexions à caractères algorithmiques qui suggèrent deux types de réalisation:

- des circuits numériques spécifiques aux traitements
- des circuits standards (microprocesseur, mémoire) dont le comportement est enrichi par une couche logicielle.

La nature étant par définition analogique, il faut donc interfacer à l'aller comme au retour, les signaux qui sont véhiculés dans ces deux mondes.

Systèmes électroniques [2]

Autre vision



Une vision plus précise montre que le signal analogique doit être échantillonné.

En effet, la nature évolue de manière continue, alors que le traitement informatique doit travailler dans le mode discret qui plus est, avec des fréquences non infinies.

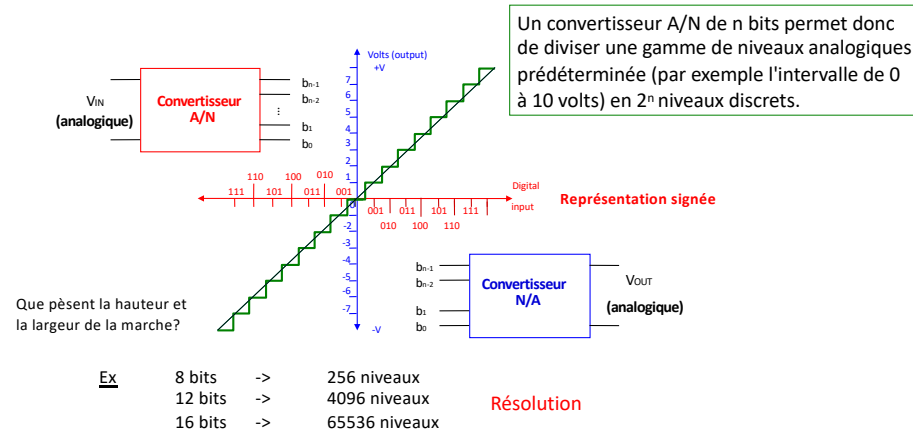
Selon le degré de précision souhaité du phénomène traité et des limites de performances des circuits, le nombre d'échantillons prélevés sera plus ou moins important.

Il est clair que le temps qui sépare le prélèvement de deux échantillons doit permettre de traiter (de manière algorithmique) chaque échantillon.

On distinguera donc deux fréquences, respectivement la fréquence d'échantillonnage et celle de traitement.

Représentation algébrique

Un nombre binaire de n bits permet d'exprimer 2^n valeurs différentes.



La figure ci-dessus illustre l'importance du codage binaire dans la précision des échantillons traités.

Imaginons que le phénomène analysé soit transformé en grandeur électrique (une tension), dont la dynamique varie entre 0V et 10V.

Nous voyons que la précision de l'échantillon converti en valeur binaire dépend du nombre de bits de représentation (résolution).

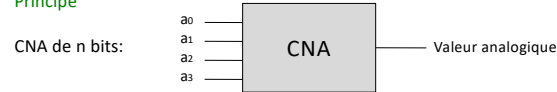
Ainsi avec 8 bits, on obtiendrait 256 niveaux correspondant à 256 valeurs de tension comprises entre 0V et 10V, soit une précision de $10/256 \sim 40$ mV.

Avec 12 bits, on obtiendrait 4096 niveaux correspondant à 4096 valeurs de tension comprises entre 0V et 10V, soit une précision de $10/4096 \sim 2.5$ mV.

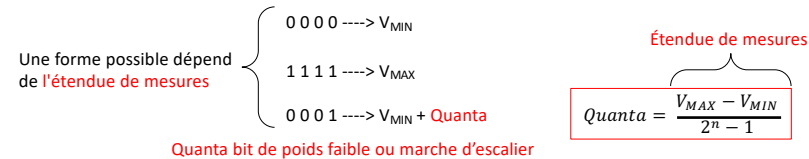
Avec 16 bits, on obtiendrait 65536 niveaux correspondant à 65536 valeurs de tension comprises entre 0V et 10V, soit une précision de $10/65536 \sim 160$ μ V.

Convertisseur Numérique/Analogique

Principe



Quelques observations



Quanta bit de poids faible ou marche d'escalier

<u>Exemple</u>	8 bits	->	256 niveaux
	12 bits	->	4096 niveaux
	16 bits	->	65536 niveaux

5

On propose les définitions suivantes:

- Lorsque tous les bits représentatifs de l'échantillon sont à 0, alors il s'agit de la tension minimale V_{MIN} (on prendra souvent $V_{MIN} = 0V$)
- Lorsque tous les bits représentatifs de l'échantillon sont à 1, alors il s'agit de la tension maximale V_{MAX}

La précision de l'échantillon est mise en évidence avec le bit de poids faible. Cette précision s'appelle le Quanta.

- Lorsque seul le bit de poids faible vaut 1, alors la valeur binaire représente $V_{MIN} + \text{Quanta}$.

Le Quanta peut s'exprimer aussi à partir de la dynamique analysée ($V_{MAX} - V_{MIN}$) et du nombre d'échantillons distincts que l'on peut représenter. Sur n bits, on aura $2^n - 1$ intervalles et le Quanta vaut $(V_{MAX} - V_{MIN}) / (2^n - 1)$

Correspondance poids binaire – tension analogique

Pour avoir $V_{\min}$, il faut:

$a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 0, \dots, a_{n-1} = 0$

Pour mettre en évidence le Quanta, il faut:

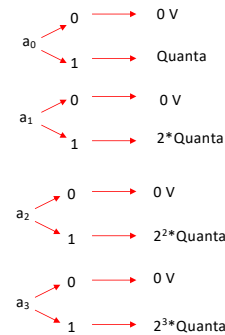
$a_0 = 1, a_1 = 0, a_2 = 0, \dots, a_{n-1} = 0$

Pour avoir $V_{\max}$, il faut:

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

Expression complète

$$V_X = a_0 2^0 \text{Quanta} + a_1 2^1 \text{Quanta} + a_2 2^2 \text{Quanta} + \dots + a_{n-1} 2^{n-1} \text{Quanta}$$



Comment fabriquer le Quanta????

6

Pour simplifier l'analyse, on admet que l'on travaille avec une dynamique allant de $V_{\min} = 0V$ à $V_{\max}$, que l'on souhaite représenter sur 4 bits.

Si le Quanta est représenté par le bit de poids faible (a_0), alors le second bit (a_1) de poids faible représente deux fois le Quanta.

Le troisième bit (a_2) vaudra le double du second soit 4 fois le Quanta (2^2) et le quatrième bit (a_3) vaudra encore le double du précédent soit 8 fois le Quanta (2^3).

Chaque bit valant 0 ou 1, la représentation binaire correspond à une somme de puissances de 2, la tension représentant la valeur binaire est obtenue directement en multipliant la valeur binaire par le Quanta.

Dans la réalité, les valeurs analogiques ne seront pas obtenues par cumul de valeurs proportionnelles au Quanta (l'erreur serait trop grande), mais plutôt par un partitionnement d'une valeur de référence dont l'ordre de grandeur sera comparable à $V_{\max}$.

Expression générale

$$V_{OUT} = a_0 2^0 \text{Quanta} + a_1 2^1 \text{Quanta} + a_2 2^2 \text{Quanta} + \dots + a_{n-1} 2^{n-1} \text{Quanta}$$

$$\text{Quanta} = \frac{V_{REF}}{2^n}$$

$$V_{OUT} = \frac{1}{2^n} \cdot V_{REF} [a_0 2^0 + a_1 2^1 + \dots + a_{n-2} 2^{n-2} + a_{n-1} 2^{n-1}]$$

a_0 = bit de poids le plus faible ou LSB (lower significant bit)

a_{n-1} = bit de poids le plus fort ou MSB (most significant bit)

Valeur maximale de V_{OUT} On admet ici que $V_{MIN} = 0V$

$$a_0 = a_1 = \dots = a_{n-1} = 1 \rightarrow$$

$$V_{OUT_MAX} = \frac{2^n - 1}{2^n} V_{REF}$$

7

Nous proposons une expression générale, qui rappelle structurellement la précédente, et qui sera exploitée dans les montages étudiés par la suite.

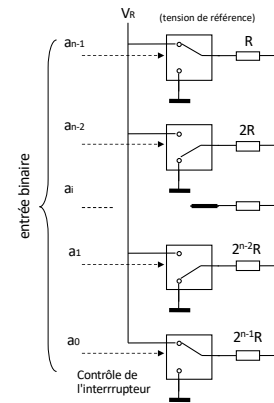
- V_{REF} est une tension de référence qui imposera la dynamique du circuit.
- n est le nombre de bits de précision
- b_i est le bit dont le poids est en $(i+1)$ ème position
- b_0 est le bit de poids le plus faible
- b_{n-1} est le bit de poids le plus fort

On détermine aisément $V_{MAX} = (2^n - 1) \cdot V_{REF} / 2^n$ (tous les bits sont à 1)

et $\text{Quanta} = V_{REF} / 2^n$ seul le bit de poids faible est à 1.

A

Convertisseurs numériques - analogiques



Convertisseur N/A à résistances pondérées

On propose:

- $R' = R/2$
- $a_i = 1 \rightarrow$ position V_R
- $a_i = 0 \rightarrow$ position 0

Dynamique de V_{OUT} :

$$0 \leq |V_{OUT}| = \left| V_R \cdot \frac{R'}{R} \left(2 - \frac{1}{2^{n-1}} \right) \right|$$

$$V_{OUT} = -V_R \cdot R' \left(a_{n-1} \frac{1}{R} + a_{n-2} \frac{1}{2R} + \dots + a_1 \frac{1}{2^{n-2}R} + a_0 \frac{1}{2^{n-1}R} \right)$$

Bien de la forme (à l'envers)

$$V_{OUT} = \frac{1}{2^n} \cdot V_{REF} [a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0]$$

$$Quanta = -V_R \cdot \frac{R'}{2^{n-1}R} = -V_R \cdot \frac{1}{2^n}$$

8

J'utilise des a à la place des b pour marquer la différence entre la réalisation et le concept algébrique

Le convertisseur numérique analogique le plus simple est réalisé avec des résistances pondérées.

Le montage global rappelle un sommateur où les entrées valent soit 0V soit une pondération d'une tension de référence.

Les valeurs de résistances correspondent à des puissances de 2 fois une résistance de base $R' = R/2$

Chaque résistance est connectée soit à la tension de référence V_{REF} , soit à la masse, selon que la valeur binaire a_i qui la contrôle vaut 1 ou 0.

En sommant les différentes valeurs de V_{REF} pondérée, on obtient une formule représentant V_{OUT} correspondant très précisément à celle mise en évidence dans l'expression générale. Il en est de même pour la valeur du Quanta.

Convertisseur N/A à résistances pondérées

Précision-stabilité

La précision de ce convertisseur dépend de la précision du rapport des résistances et du maintien de ce rapport en fonction du temps et de la température.

Exemple:

pour un convertisseur 8 bits, la résistance de poids le plus élevé vaut R et celle de poids le plus faible vaut $R \cdot 2^{n-1} = 128 R$.

Une erreur inférieure à 1% sur la valeur de la résistance de poids le plus élevé correspond déjà à une erreur de 1 bit de poids le plus faible.

9

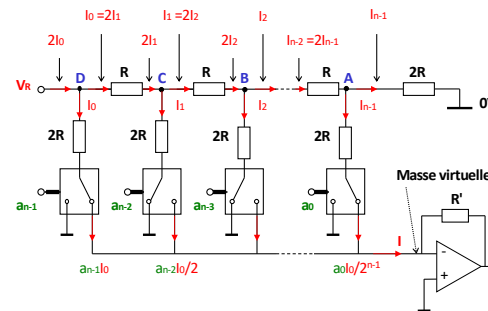
La précision de ce type de montage dépend principalement de la tolérance des résistances.

Pour le poids faible la valeur analogique associée vaut $V_{REF}(R + \Delta R)/256R$.

Si $\Delta R/R = 1\%$ correspond à la tolérance de la résistance positionnée dans la réaction négative, alors on aurait une imprécision globale représentant 1% du bit de poids le plus faible, ce qui est insignifiant.

Pour le poids fort, la situation est plus "dramatique". La valeur analogique associée vaut $V_{REF}(R + \Delta R)/2R$. On constate que l'imprécision générée est 128 fois plus élevée que celle du bit de poids faible. En fait l'imprécision a le même ordre de grandeur que le poids faible, ce qui signifie que le poids faible n'est pas "crédible". Seuls les 7 premiers bits seraient exploitables et ceci quelle que soit la résolution souhaitée 8, 12, 16 bits ou plus.

Convertisseur N/A à réseau de résistances R/2R



$$I = I_0 \left(\frac{a_{n-1}}{2^0} + \frac{a_{n-2}}{2^1} + \dots + \frac{a_1}{2^{n-2}} + \frac{a_0}{2^{n-1}} \right) \quad \text{or } I_0 = \frac{V_R}{2R}$$

Toujours de la forme $V_{OUT} = \frac{1}{2^n} \cdot V_{REF} [a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0]$

10

Avec le réseau R/2R proposé, le problème de l'incertitude disparaît.

Pour simplifier l'analyse, il est utile de démarrer par la droite.

Le point A voit en parallèle 2 résistances de $2R$ reliées respectivement à

a) une masse réelle et

b) une masse réelle ou virtuelle (celle de l'A.O. en réaction négative) selon que la valeur binaire qui contrôle l'interrupteur (le switch) est à 0 ou 1.

La résistance équivalent vue depuis A vaut R et le courant entrant en A se répartit à raison d'une moitié dans chaque branche $2R$.

Le point B voit en parallèle 2 résistances de $2R$ reliées respectivement à

a) une masse réelle et

b) une masse réelle ou virtuelle selon que la valeur binaire qui contrôle l'interrupteur est à 0 ou 1.

La résistance équivalent vue depuis B vaut R et le courant entrant en B se répartit à raison d'une moitié dans chaque branche $2R$. On remarque que le courant entrant en B vaut le double du courant entrant en A.

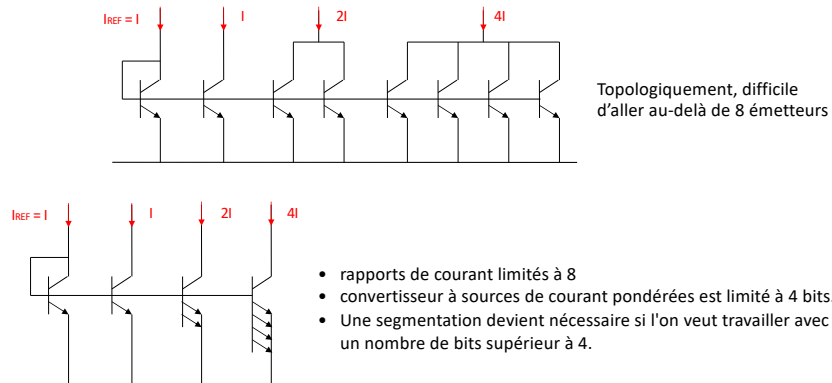
En reformulant récursivement ces lignes, on devine aisément que le courant entrant en D est le double de celui entrant en C, qui est le double de celui entrant en B, etc... Les différentes branches qui dérivent vers l'A.O. représentent des puissances négatives de 2 (puisqu'on divise chaque fois par 2) fois un courant de référence $I_0 = V_R / 2R$. Cette somme de courant est

convertie en tension via l'A.O.

Convertisseur N/A à sources de courant pondérées

A voir la semaine prochaine
Cours miroir de courant

Le schéma de principe est simple: on utilise un ensemble de **sources de courants** dont les valeurs sont les multiples de 2 d'un courant de référence.



11

La technologie évoluant, il est possible de générer des courants pondérés grâce à des transistors structurés en "miroirs de courant".

Un miroir de courant est réalisé à partir d'un transistor de référence dont la base et le collecteur sont court-circuités (le transistor fonctionne alors toujours à la limite entre le mode linéaire et saturé).

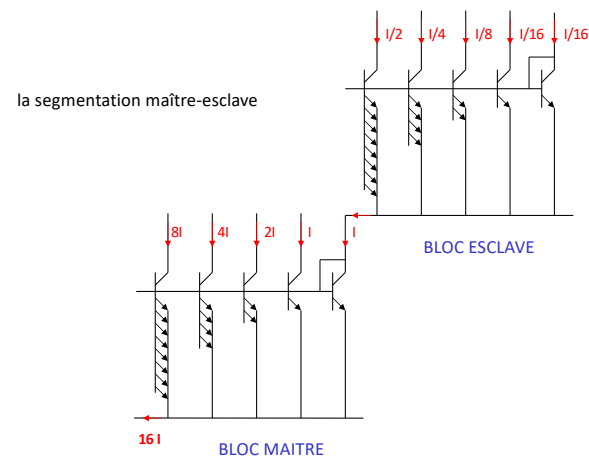
Si la base de ce transistor est reliée à un transistor voisin dont l'émetteur est au même potentiel que celui du transistor de référence et que les deux transistors sont identiques (cela fait beaucoup de si), alors les courants de collecteur que l'on observe sont identiques ($I_C = I_S \exp(V_{BE}/U_T)$)

Il est possible de tirer des courants multiples du courant de référence en couplant des paires de transistors (toujours en respectant les conditions énoncées plus haut) via leurs collecteurs. Ainsi un couplage de deux transistors identiques véhiculera un courant double du courant de référence, un couplage de quatre transistors identiques véhiculera un courant quatre fois plus élevé etc...

Il est possible d'optimiser le nombre de transistors en exploitant les structures vues en TTL, à savoir les transistors multi-émetteurs.

Ainsi un double émetteurs se comportera comme un couplage de deux transistors identiques, un quadruple émetteur se comportera comme un couplage de quatre transistors identiques. On arrête cependant les structures à 8 émetteurs ce qui suppose l'artifice présenté ci-après.

Exemple de sources de courant pondérées



12

Pour pouvoir travailler sur 8 bits, il faut réaliser une segmentation des bits en deux blocs.

Le premier bloc réalisé comme précédemment, permettra de tirer à partir d'une référence I_{REF} , quatre courants pondérés: I_{REF} , $2I_{REF}$, $4I_{REF}$ enfin $8I_{REF}$.

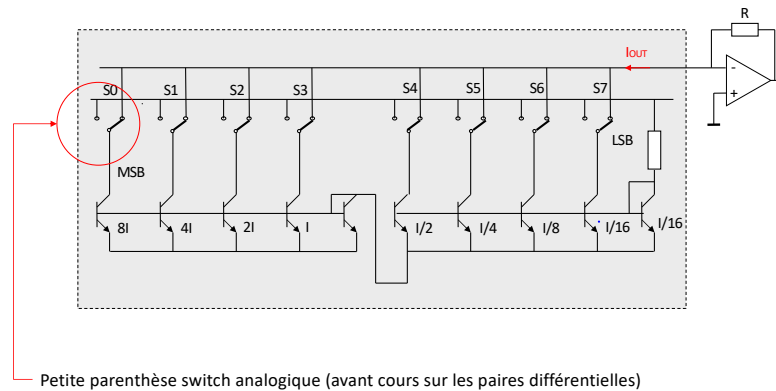
Le premier bloc complet (appelé esclave) tirera un courant total de

$$I_{REF} + I_{REF} + 2I_{REF} + 4I_{REF} + 8I_{REF} = 16I_{REF}$$

Ce courant est réinjecté dans un deuxième bloc (appelé maître). Les $16I_{REF}$ servent donc de référence pour le second bloc.

Les quatre transistors suivants généreront donc des courants valant $16I_{REF}$, $32I_{REF}$, $64I_{REF}$, enfin $128I_{REF}$.

Montage complet



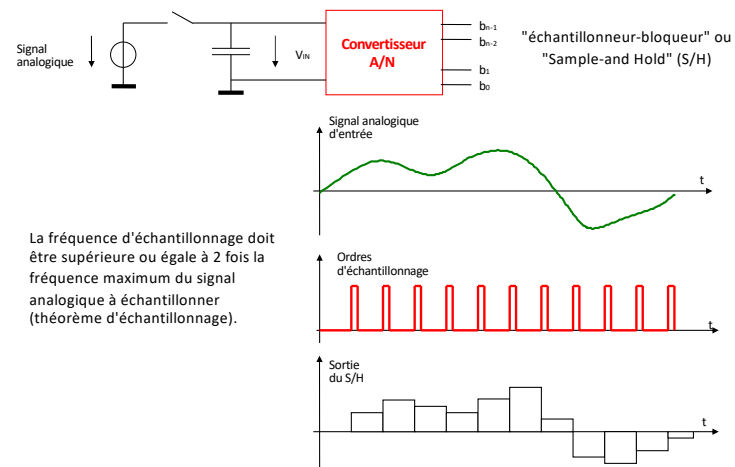
13

Pour avoir une structure complète, chaque source de courant est reliée à un interrupteur contrôlé par une valeur binaire. Selon la valeur binaire, le courant est extrait depuis une masse réelle (interne au circuit), ou depuis une sortie (généralement reliée à un A.O. pour réaliser une conversion courant - tension).

Le courant total extrait depuis la sortie est donc proportionnel à la valeur binaire en entrée.

Comme nous le verrons en annexe, les interrupteurs sont réalisés à partir de paires différentielles.

Échantillonnage et maintien (Sample and Hold)



14

Le principe de l'échantillonnage est réalisé simplement à partir d'un interrupteur qui contrôle le chargement d'une capacité. Lorsque l'interrupteur est ouvert, la valeur présente aux bornes de la capacité est mémorisée le temps que celle-ci soit convertie en numérique. Les fréquences d'échantillonnage sont suffisamment élevées pour que la valeur stockée dans la capacité ne se dégrade pas significativement.

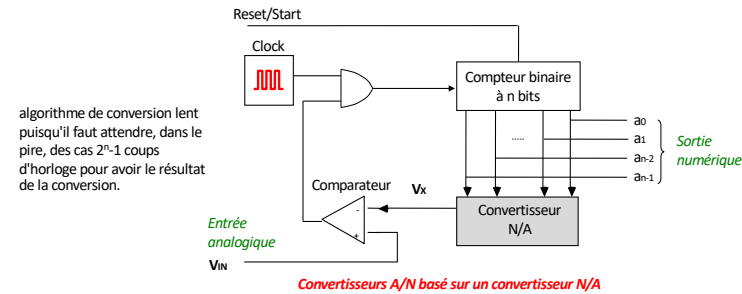
Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, l'échantillonnage doit satisfaire deux contraintes:

- le temps séparant le prélèvement de deux échantillons doit permettre le traitement de l'échantillon.
- Le nombre d'échantillons prélevés doit être respectueux de la nature du signal analysé. Selon le théorème de Shannon, la fréquence d'échantillonnage doit être au minimum deux fois supérieure au signal analysé.

Convertisseurs analogiques/numériques

Il existe de nombreux types de convertisseurs analogiques numériques qui diffèrent par :

- la technique de conversion
- la complexité du circuit
- la vitesse de conversion
- la limite de précision
- la puissance dissipée



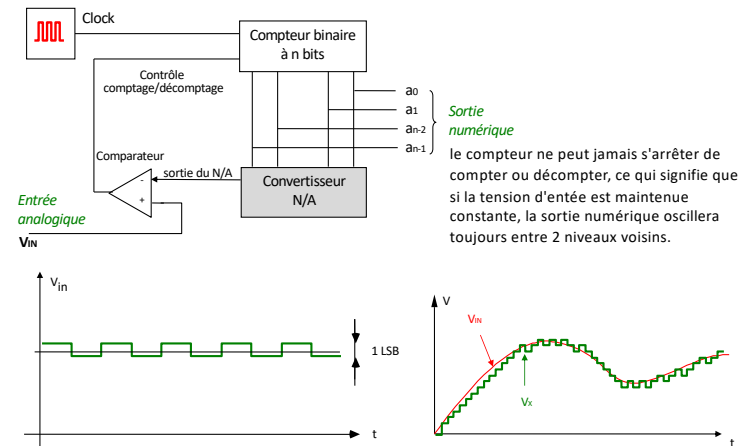
15

Le convertisseur CAN le plus simple est réalisé à partir d'un CNA. Le montage complet correspond à une boucle incluant quatre éléments:

- Un compteur binaire dont la sortie reflètera la valeur analogique.
- La sortie du compteur est connectée au CNA qui la convertit en une valeur analogique V_x .
- Grâce à un comparateur logique, la valeur V_x est comparée à l'échantillon analogique V_{IN} que l'on veut convertir en numérique.
- Une porte AND permet de valider ou d'inhiber un signal d'horloge qui incrémentera le compteur. Si la valeur numérique courante (sortie du compteur) correspond à une valeur analogique inférieure à V_{IN} , alors le compteur continue de s'incrémenter.

Dans le pire des cas, il faudra générer $2^n - 1$ coups d'horloge pour atteindre la valeur recherchée.

Variante/amélioration du convertisseur précédent: le convertisseur-suiveur (tracking converter)

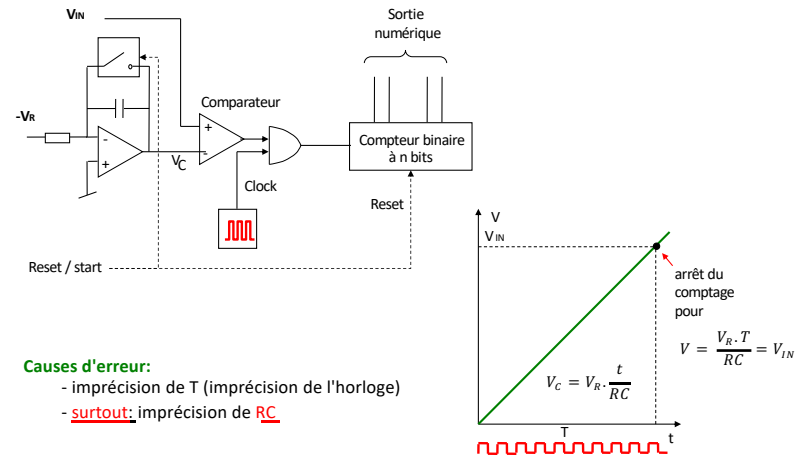


16

Ce convertisseur est comparable au précédent. Les caractéristiques principales sont:

- **un pire cas** comparable au précédent, puisqu'il serait possible d'attendre $2^n - 1$ coups d'horloge.
- **Un avantage**, car le compteur peut s'incrémenter ou se décrémenter, suivant mieux l'évolution du signal analogique V_{IN} .
- **Un inconvénient**, car une fois la valeur V_{IN} atteinte, le circuit oscille autour de cette valeur, car continuellement il incrémentera ou décrémentera.

Intégrateur à simple rampe



17

Le montage est constitué de quatre blocs:

- Un intégrateur réalisé avec un A.O. Son entrée correspond à une tension fixe $-V_R$. La sortie inverseuse génère donc une pente positive. A chaque début de conversion, la sortie doit être positionnée à "0", ceci est réalisé en court-circuitant la capacité.
- Un comparateur logique qui produit "1" tant que V_{IN} (entrée analogique à convertir) est supérieure à V_C (sortie de l'intégrateur). Dès que V_C dépasse V_{IN} , le comparateur bascule à "0".
- Une porte AND qui inhibe une horloge dès que V_C a dépassé V_{IN} ("0" à la sortie du comparateur).
- Un compteur binaire qui à chaque cycle de conversion est remis à zéro et qui s'incrémente tant que l'horloge qui le pulse reste active.

Remarque: La constante $-V_R$ est choisie telle que, au bout de $2^n - 1$ coups d'horloge, la sortie ait atteint la tension max.

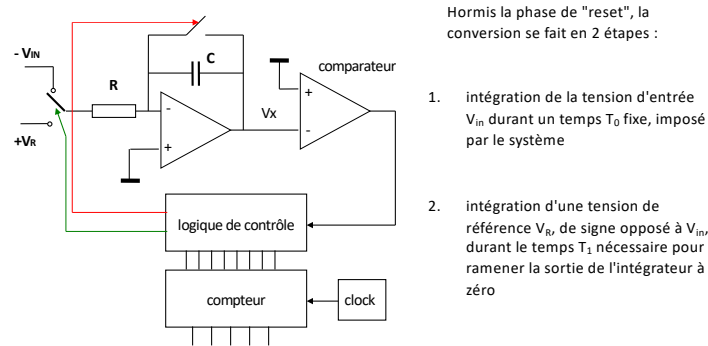
Le temps nécessaire pour atteindre V_{IN} est donné par la loi $V = V_R \cdot T / RC$.

Durant ce temps, N_0 coups d'horloge se sont produits générant la valeur numérique N_0 à la sortie du compteur.

Le pire cas présente toujours $2^n - 1$ cycles. Le principal problème reste la

précision d'un tel convertisseur, sachant que T et R sont imprécises.

Intégrateur à double rampe



18

Ce circuit est plus complexe que le précédent et son comportement se décrit en deux phases. Trois blocs principaux constituent ce montage:

1) Un intégrateur traite au cours de la première phase l'entrée $-V_{IN}$ que l'on cherche à convertir. Le temps imparti pour intégrer $-V_{IN}$ est fixe quel que soit $-V_{IN}$. La tension atteinte à la fin de cette phase vaut V_X qui est donc inconnue.

Au cours d'une seconde phase, la tension V_R qui est connue est intégrée. La pente négative qui en résulte permet à la tension V_X de revenir à 0V. Si V_R est connue, en revanche, le temps nécessaire pour le retour est inconnu.

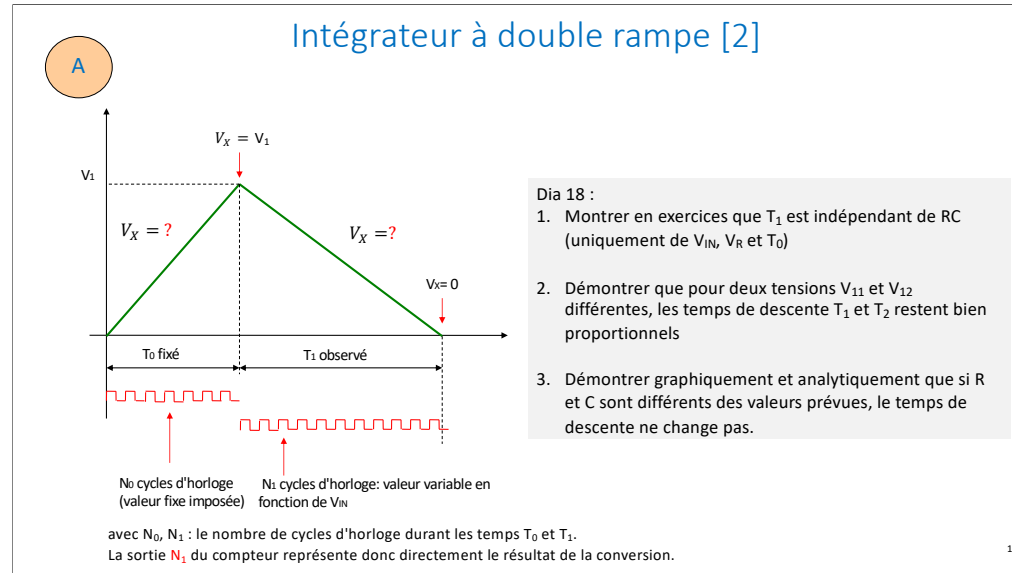
Chaque cycle de conversion commence par la mise à zéro de l'intégrateur ($V_X = 0$) en court-circuitant la capacité.

2) le signal V_X est positionné à l'entrée du comparateur. Ce comparateur produit un "1" tant que V_X n'est pas revenu à 0V.

3) Durant la phase descendante de V_X , et tant que le comparateur produit un "1", le compteur reste activé et s'incrémente à chaque coup d'horloge. Au basculement à "0" du comparateur, le compteur est inhibé et la valeur à sa sorti correspond à la valeur numérique de V_{IN} .

Une logique de contrôle est nécessaire pour **inhiber** le comptage durant la génération de la rampe positive (période connue), et pour **valider** le comptage durant la génération de la rampe négative (période inconnue). Cette logique doit permettre la remise à zéro de l'intégrateur à chaque nouveau cycle de

conversion.



L'analyse se déroule en deux phases:

phase 1: le temps T_0 pour produire la rampe positive est **connu**. V_{IN} étant inconnue, la pente et donc la tension atteinte $V_X = V_{IN} \cdot T_0 / RC$ sont **inconnues**.

phase 2: la pente $-V_R/RC$ est **connue**, car V_R est connue. Le temps nécessaire pour revenir à "0" est **inconnu** car on démarrerait d'une tension V_X inconnue.

Bilan: Les deux hauteurs parcourues à l'aller et au retour sont identiques en valeur absolue, les deux expressions $V_{IN} \cdot T_0 / RC$ et $|V_R| \cdot T_1 / RC$ peuvent donc être égalisées.

Pendant T_0 , N_0 coups d'horloge sont générés

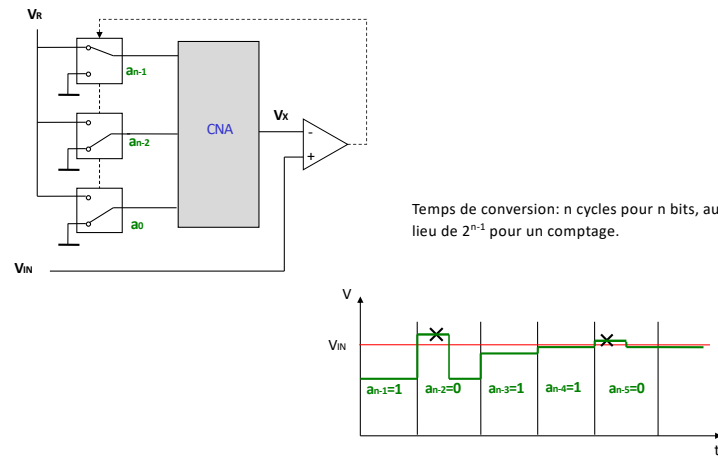
Pendant T_1 , N_1 coups d'horloge sont générés

On a directement N_1 qui correspond à la valeur numérique associée à V_{IN} .

Le pire cas dans cette version met en évidence un temps pouvant être plus long (pour générer $N_{1\max} = 2^n - 1$ coups d'horloge) auquel il faut évidemment rajouter T^0 fixe.

A

Convertisseur à approximations successives



20

Ce type de convertisseur est beaucoup plus performant que les précédents, car le pire cas pour obtenir le résultat est directement donné par le nombre n de bits de résolution, contrairement aux cas précédents qui nécessitaient $2^n - 1$ coups d'horloge.

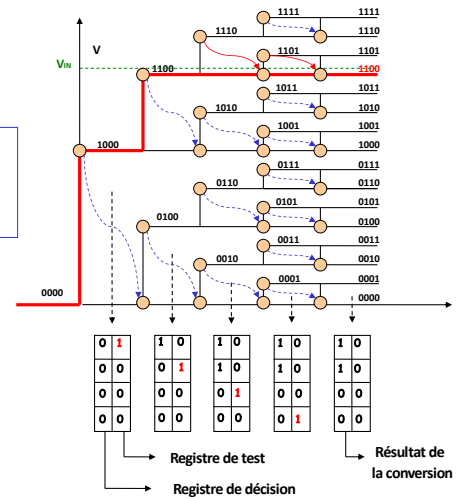
La technique se traduit par une approximation binaire successive des poids forts vers les poids faibles.

Au premier coup d'horloge, le poids fort est positionné à "1" et tous les autres bits à "0". Le poids fort correspond à la moitié de la dynamique ($V_{MAX}/2$). On convertit la valeur binaire en analogique et on compare cette valeur V_X avec l'entrée V_{IN} . Si V_X est plus petite que V_{IN} on maintient le "1", sinon on repositionne la valeur à "0". La moitié du chemin a été parcourue avec ce bit. On passe ensuite au second bit de poids fort qui subit le même traitement et ainsi de suite jusqu'au bit de poids faible.

A chaque bit supplémentaire la dynamique examinée est divisée par 2.

Convertisseur à approximations successives [2]

Exemple: parcours de l'arbre de décision et contenus successifs des registres pour une tension d'entrée V_{IN} quelconque.



21

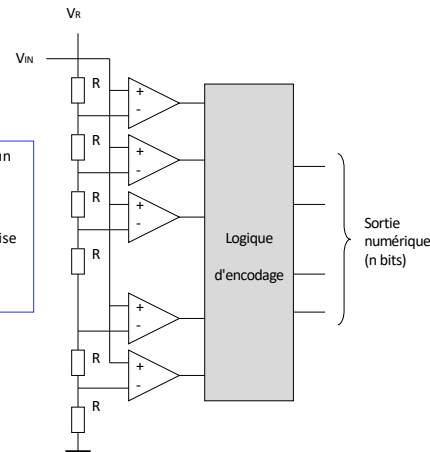
Le graphe ci-dessus nous montre tous les chemins que peut parcourir le convertisseur. C'est un parcours d'arbre binaire.

L'état des registres montre à chaque coup d'horloge l'évolution binaire du convertisseur avec maintien à "1" ou remise à "0" du bit traité.



Convertisseur "FLASH"

- le plus rapide : conversion totale en un seul cycle
 - principe très simple
 - schéma très lourd : pour un convertisseur à n bits, le système utilise $(2^n - 1)$ comparateurs.
- Ex. : 6 bits => 63 comparateurs !



22

Le convertisseur Flash est de loin le plus performant car la conversion est obtenue en un coup d'horloge.

Le principe est simple:

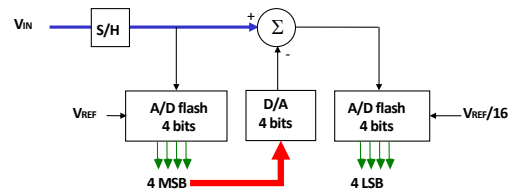
- Une tension de référence $V_R = V_{MAX}$ est découpée en $2^n - 1$ paliers différents grâce à un diviseur résistif contenant $2^n - 1$ résistances.
- Chaque palier est comparé à V_{IN} grâce à un comparateur logique. Il est évident que dès qu'un palier a un niveau inférieur à V_{IN} , tous les paliers suivants le seront aussi.
- Il est donc nécessaire de réaliser une logique d'encodage qui détecte le premier palier inférieur à V_{IN} ou si l'on préfère, le premier comparateur qui donnerait "1" en sortie. L'encodeur produit directement la valeur binaire associée à ce palier.

L'inconvénient majeur de ce circuit réside dans le volume de matériel auquel il faut consentir. Pour travailler avec 24 bits, il faudrait 16 millions de comparateurs ce qui reste impossible aujourd'hui (sans compter l'encodeur gigantesque et les 16 millions de résistances). La précision reste donc limitée.

Les convertisseurs semi-flash.

Pour des raisons de surface, on ne réalise pas de convertisseurs flash à 8 bits à cause des 255 comparateurs.

réalisation d'un convertisseur semi-flash 8 bits en utilisant 2 convertisseurs flash de 4 bits (ou 2 fois le même) à 15 comparateurs chacun.



le convertisseurs A/D flash à 4 bits doivent travailler avec une précision de 8 bits.

23

On peut améliorer la précision en travaillant avec des structures semi-flash.

Le principe est le suivant:

La valeur V_{IN} est convertie via un flash sur 4 bits. Le résultat binaire est reconverti en analogique et soustrait à V_{IN} . Il reste donc un résidu qui de toute évidence est au moins 16 fois inférieur à V_{IN} (ordre de grandeur représentant le poids faible du 1er CAD Flash).

Ce résidu est converti en binaire via un second flash dont la référence de tension est réadaptée à des valeurs de tension 16 fois inférieures à V_{IN} (tensions résiduelles).

Le premier flash donne donc les poids forts de V_{IN} et le second flash donne les poids faibles de V_{IN} .

Compte tenu des temps de propagation à travers les différents blocs (1er flash, CDA, Soustracteur, 2nd flash), ce circuit est plus lent que le précédent mais reste significativement performant.

Résumé des performances des différents convertisseurs

Convertisseurs A/N à intégration

- Famille de convertisseurs à plus haute résolution (16 bits et plus).
- Excellente linéarité différentielle et intégrale.
- Temps de conversion assez longs (environ 2^n cycles) : ... 1ms ... 1s ...
- Applications : Instrumentation de précision.

Convertisseurs A/N à approximations successives

- Famille de convertisseurs à moyenne résolution (8 à 14 bits).
- Temps de conversion moyens (n cycles) : 1 à 100μs
- Applications : Télécommunications
Traitement du signal
Usages généraux.
- Bon compromis précision/vitesse/prix.

Convertisseurs A/N flash

- Résolution faible (4 à 8 bits).
- Temps de conversion courts (1 seul cycle) : 10ns à 1μs
Convertisseurs les plus rapides.
- Applications : radar ou Traitement numérique rapide de signaux (ex: vidéo).

24

L'ensemble des solutions proposées est résumé en termes de:

- Nature de convertisseur,
- précisions typiques,
- performances,
- d'applications sollicitées.