

Conversió Analògica-Digital (A/D) i Digital-Analògica (D/A)

Sumari

- Introducció
 - Sistema binari
 - Concepte de conversió
 - Conversió A/D i D/A
 - Famílies de convertidors A/D
- Circuits de mostreig i retenció
- Característiques dels conversors
 - Paràmetres i característiques d'operació
- Conversors A/D de feedback
 - Convertidor D/A auxiliar
- Conversors A/D integradors
 - Rampa simple i doble rampa
- Conversors A/D basats en conversió V-F
- Conversors A/D paral.lels (flash converters)

Introducció : Sistema binari

- Qualsevol nombre es pot expressar en forma binària com:

$$N_{10} = a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a^{n-2} 2^{n-2} + a^{n-1} 2^{n-1}$$

– així :

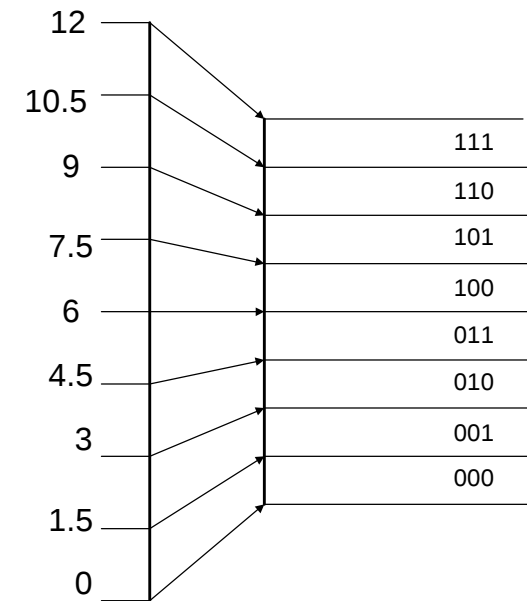
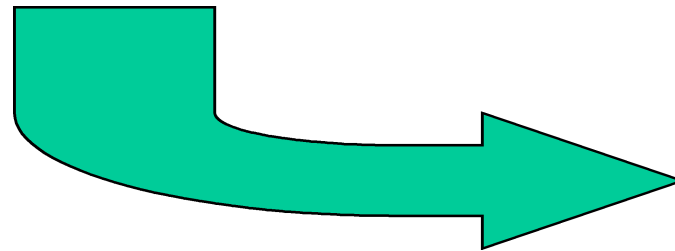
$$50_{10} = 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5$$

$$50_{10} = 110010_2$$

- Nombre=succesió de 1's i 0's
- Codificació mitjançant tensió:
 - 1=VDD (o tensió de referència (5V, 3.5V, 1.8V,etc))
 - 0=GND (0V)
- Possibilitat de treballar elèctricament

Introducció : Concepte de conversió

- El nombre de bits és finit.
 - Un sistema de n bits pot representar 2^n nombres distints
 - 3 bits - 8 # distints (000-001-010-011-100-101-110-111)
- Nombre màxim a convertir : Tensió analògica a convertir en digital.
- Exemple : $V_{\max}=12$, 3 bits

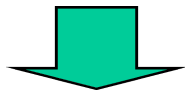


Introducció : concepte de conversió

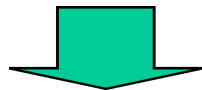
- Tensió de referència
 - Vmax, (Vmin=0 a molts casos)
 - El resultat dependrà d'aquesta.
 - Fluctuacions → errors

- Resolució

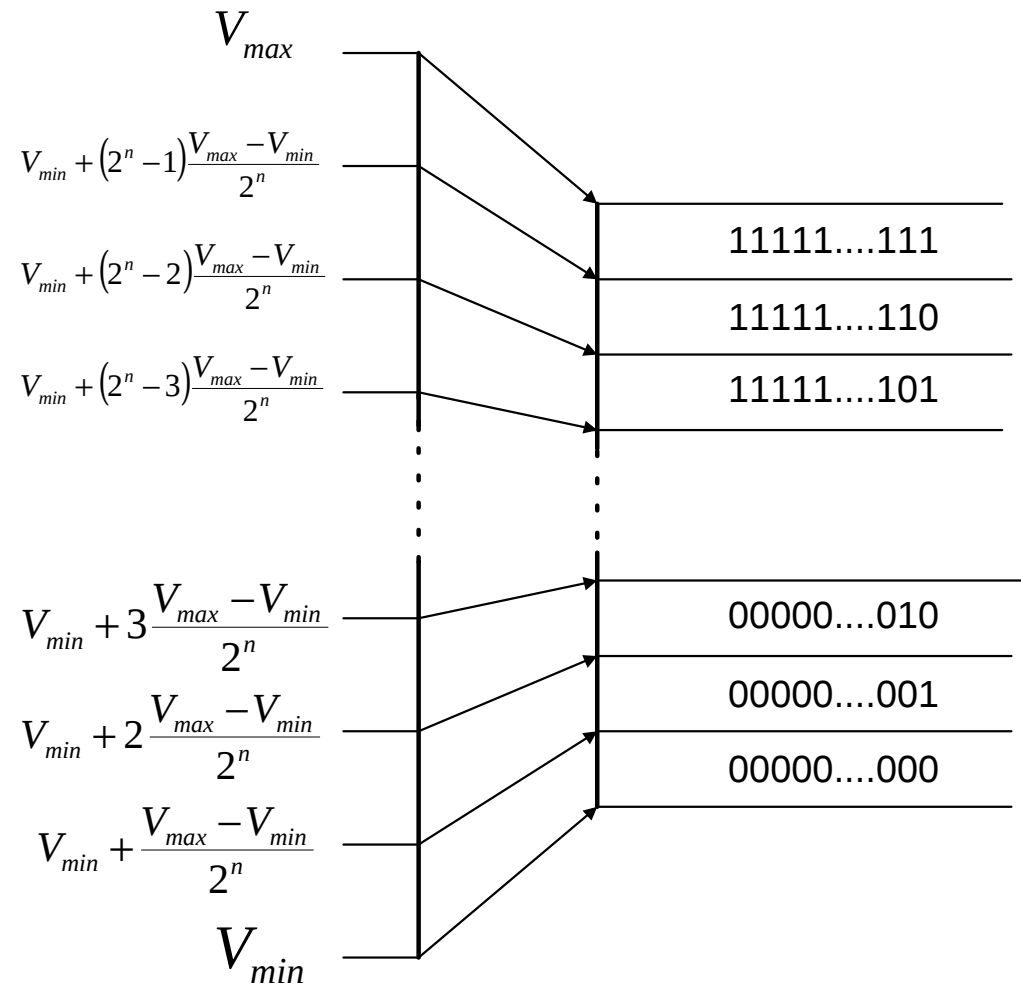
- Mateix codi per a distints valors
 - conversió V entre 0 i 5 volts
 - empram 8 bits.
 - tendrem 2^8 estats



- $5/256=0.0195$
- 0.0195 volts cada interval
- (0.0781,0.09765)

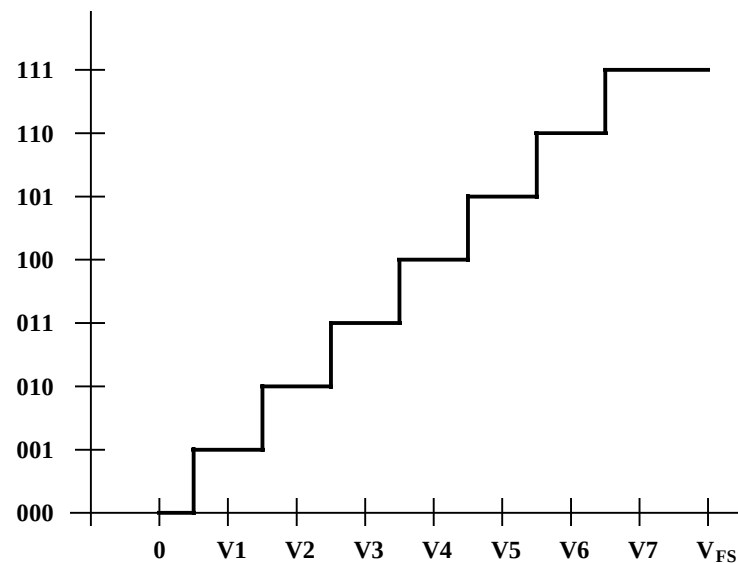


mateix codi



Introducció : Concepte de conversió

- A cada V_{IA} s'assigna un valor digital B:
$$B = \left\lfloor V_{IA} \frac{2^N}{V_{FS}} \right\rfloor$$
- Existeix un error de quantització: a un rang de valors de V_{IA} li correspon el mateix valor digital
- Nombre de valors digitals major implica menor error de quantització (amb igual V_{FS})

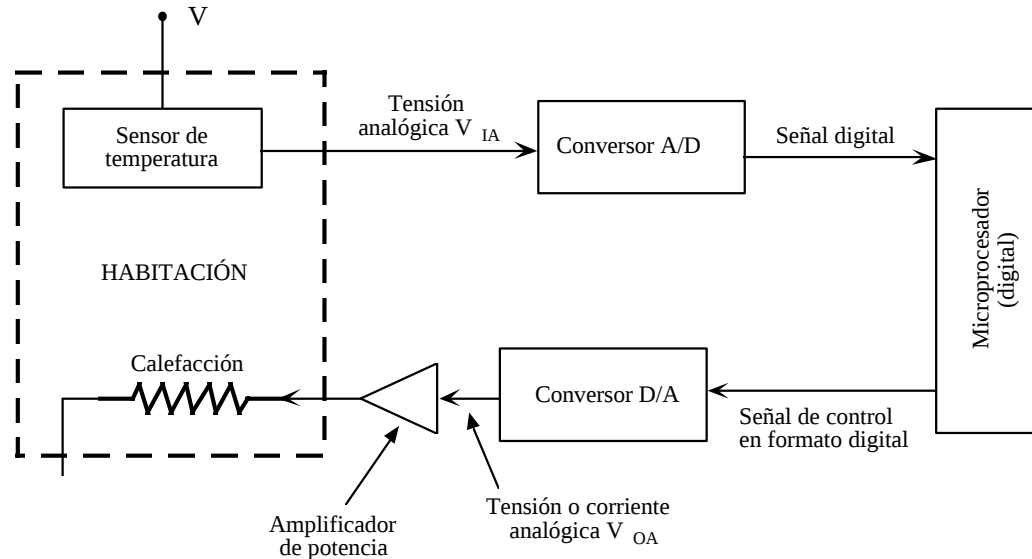


Introducció : conversió A/D i D/A .

Fenòmens físics ➡ Magnituds contínues ➡ Senyals analògics

Processat d'informació ➡ Ordinador ➡ Valors digitals

Els convertidors A/D i D/A ens permeten interconnectar els dos entorns



Exemple:

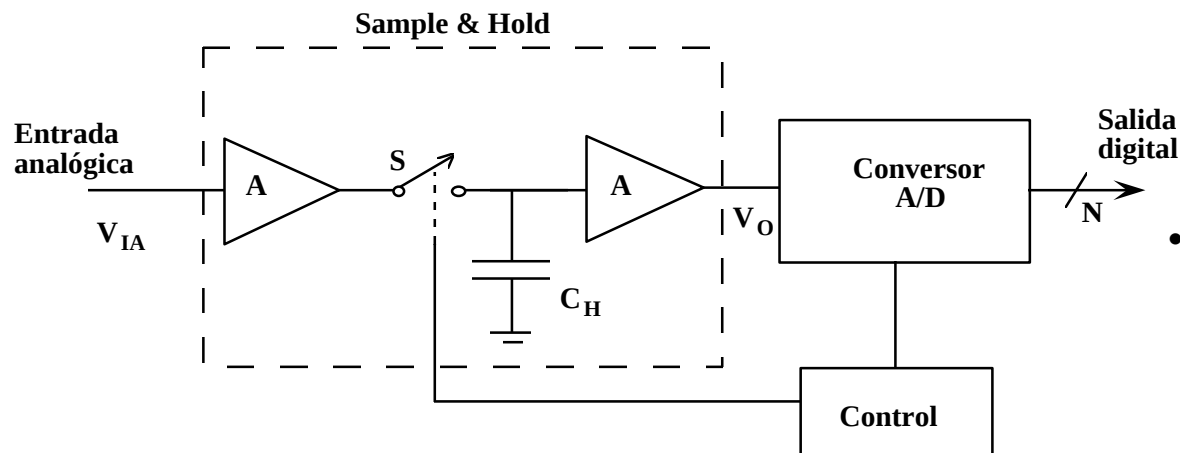
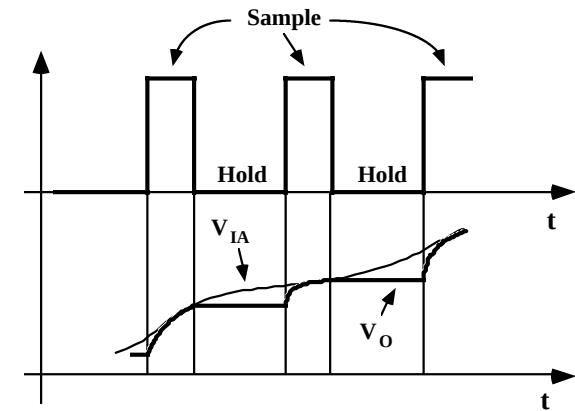
Control de la temperatura
d'una habitació

Famílies de convertidors A/D

- Integradors
 - converteixen tensió d'entrada a temps o freqüència
 - Alta resolució, baixa velocitat.
 - Exemples : Doble rampa, rampa simple, V-F converters)
- Feedback
 - es basen en un convertidor D/A realimentat i comparen entrada actual amb la sortida reconvertida.
 - Alta velocitat i baixa resolució
 - Exemples : Convertidors d'aproximacions succesives, rampa escalonada)
- Vídeo
 - Velocitat > 1 MHz, conversió ràpida i baixa resolució
 - Exemples : convertidors tipus flash
 - No emprats en multímetres (tipus flash).

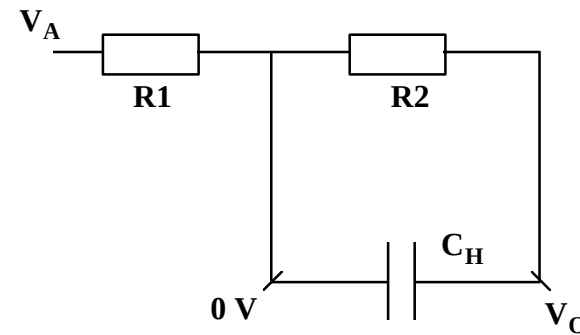
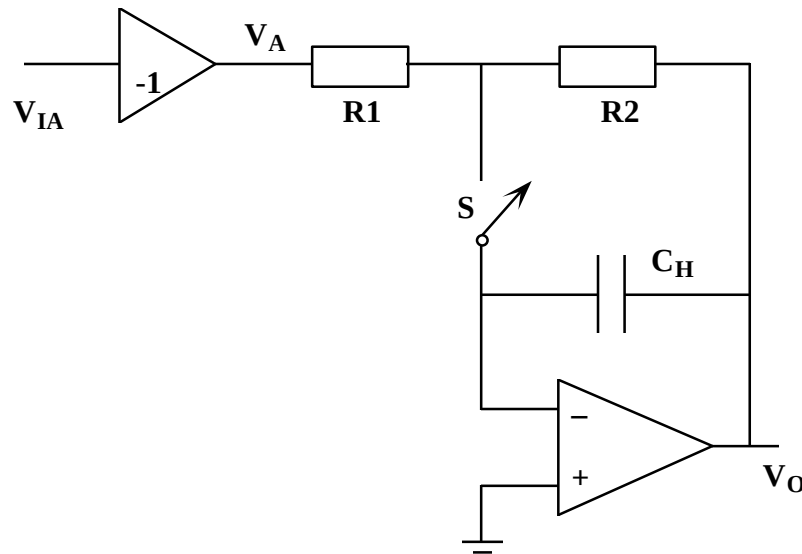
Circuit de retenció-mostreig (*Sample & Hold*)

- L'entrada V_{IA} ha de permaneixers constant durant la conversió.
- Solució : emprar un circuit que mostregi el senyal (*sample*) i la mantengui constant durant la conversió (*hold*)



- Esquema d'un conversor A/D amb un circuit de retenció i mostreig (S & H)

Circuit de retenció-mostreig (*Sample & Hold*)

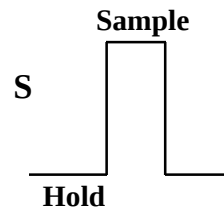
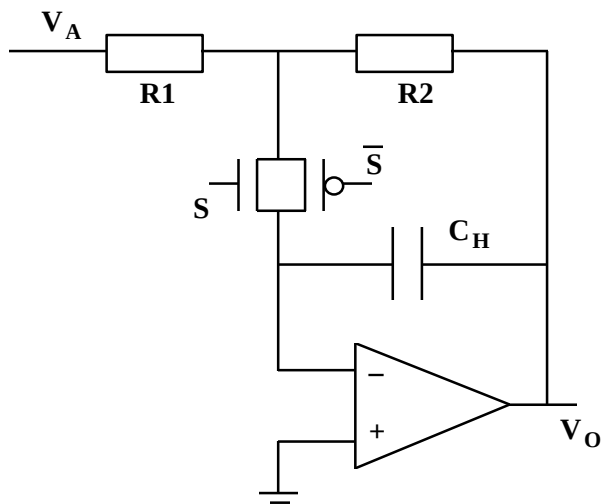


$$V_o = -V_A \frac{R_2}{R_1} \left(1 - e^{-t/R_2 C_H}\right)$$

$$V_i = -V_A$$

Circuit de retenció-mostreig (*Sample & Hold*)

Circuit basat en portes de transmissió



- **Portes de transmissió MOS com interruptors**
- **Altres opcions :**
 - FETs
 - pont de diodes

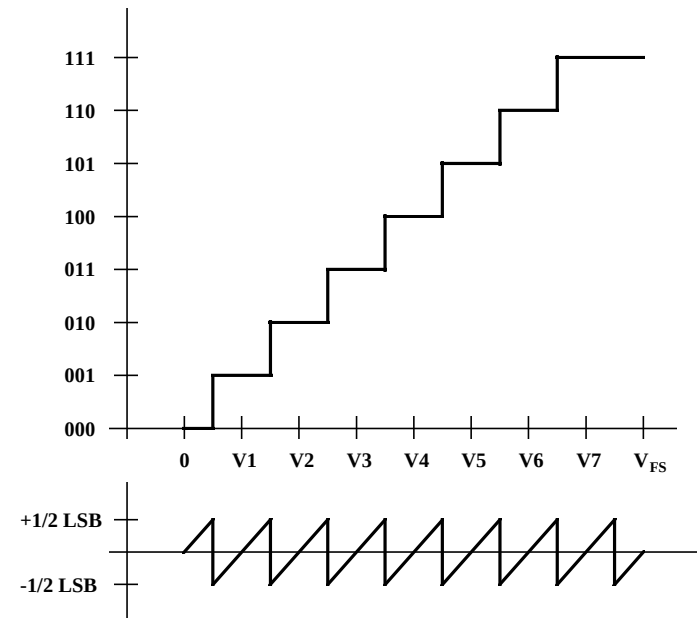
Característiques : Paràmetres relatius precissió

- Rang dinàmic: quocient entre màxima V_{IA} i mínim increment en V_{IA} amb canvi a la sortida

Ej. A/D con $N=3$ y $V_{FS}=10V$

$$\frac{10V}{2^3} = 1.25V \Rightarrow \frac{10V}{1.25V} = 8 = 18dB$$

- **Error de quantització:** diferència entre V_{IA} i el valor analògic corresponent a la sortida digital

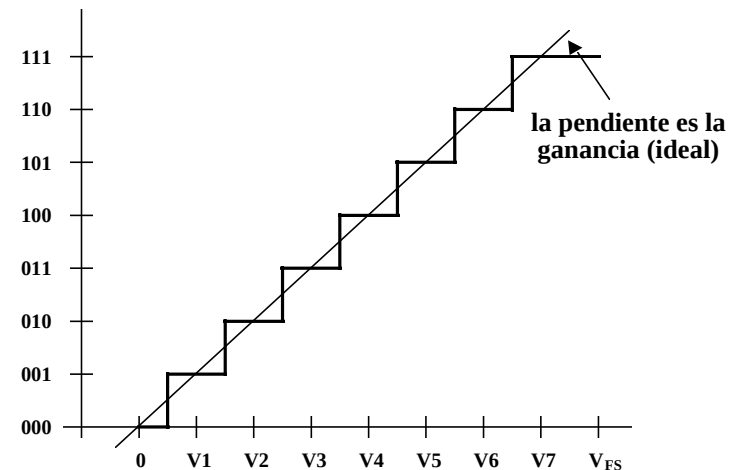


Característiques : Paràmetres relatius precissió

- Resolució: nombre de nivells en els que V_{IA} pot discernir-se (és equivalent al rang dinàmic)

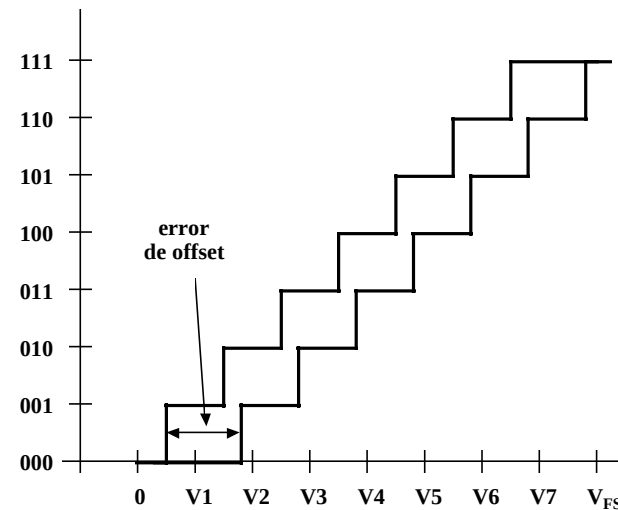
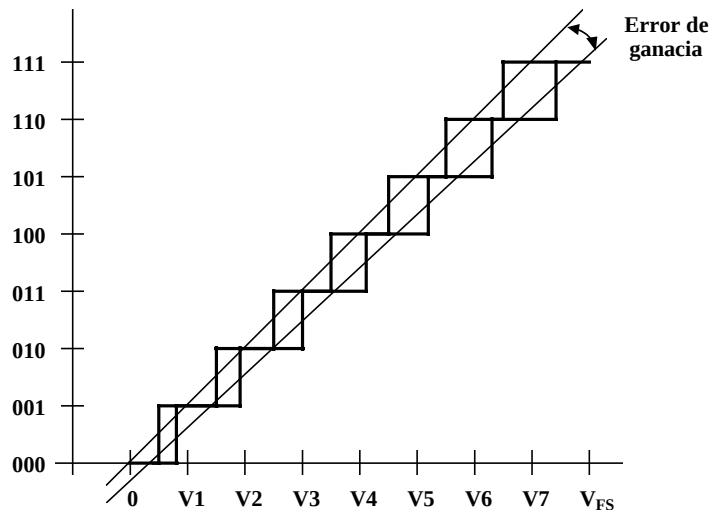
Ej. Un A/D amb $N=3$ tendrà una resolució igual a 8

- **Funció de transferència del A/D:** gràfica dels còdis digitals de sortida vs. V_{IA}
- El pendent proporciona el guany ideal



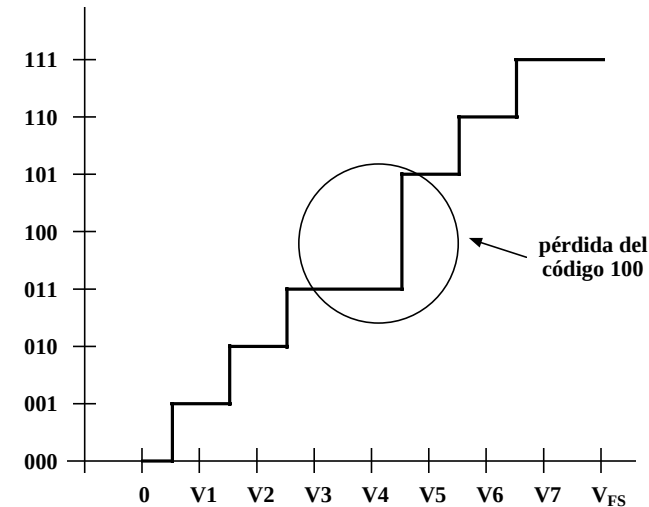
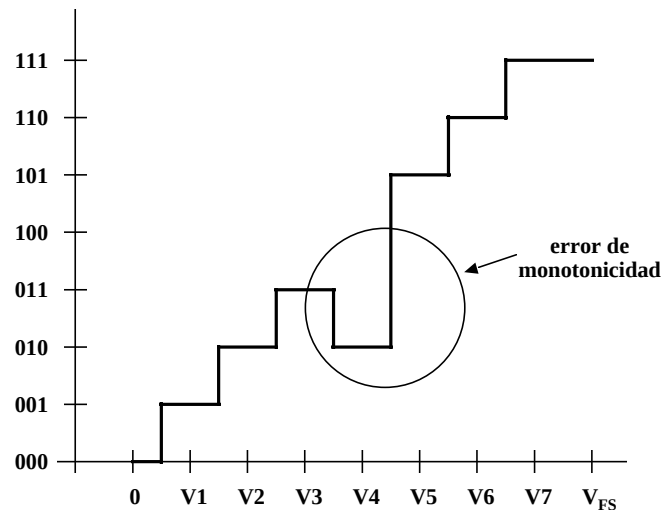
Característiques : Paràmetres relatius precissió

- **Error de guany:** desviació del pendent de la funció de transferència en front a la ideal ($2^N/V_{FS}$)
- **Error d'offset:** desviació de la tensió corresponent al primer nivell digital en front a l'ideal



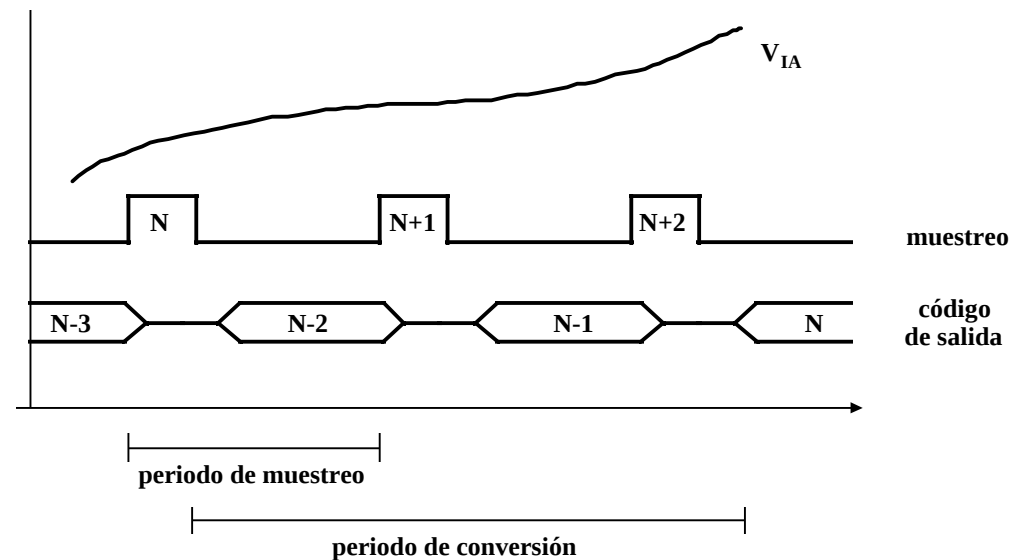
Característiques : Paràmetres relatius precisió

- **Monotonicitat:** A/D monotònic si un increment de V_{IA} produeix un augment de la sortida digital
- **Pèrdua de codis:** existeix qualche valor digital que no apareix per cap V_{IA}



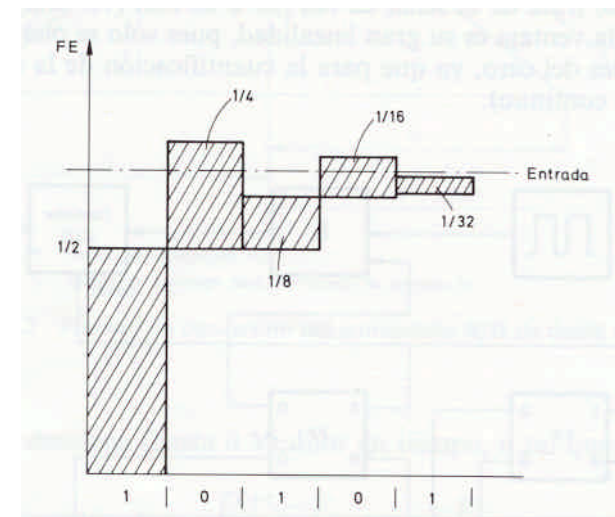
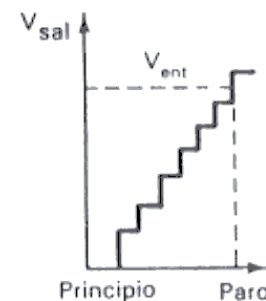
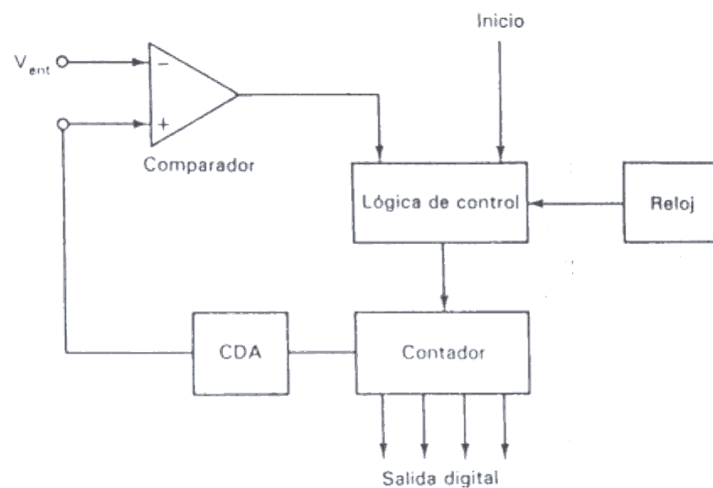
Característiques d'operació

- **Temps de conversió:** temps entre el mostreig de V_{IA} i la sortida digital vàlida (*conversion time*)
- **Freqüència de mostreig:** nombre de mostres de V_{IA} per unitat de temps (*sampling rate*)

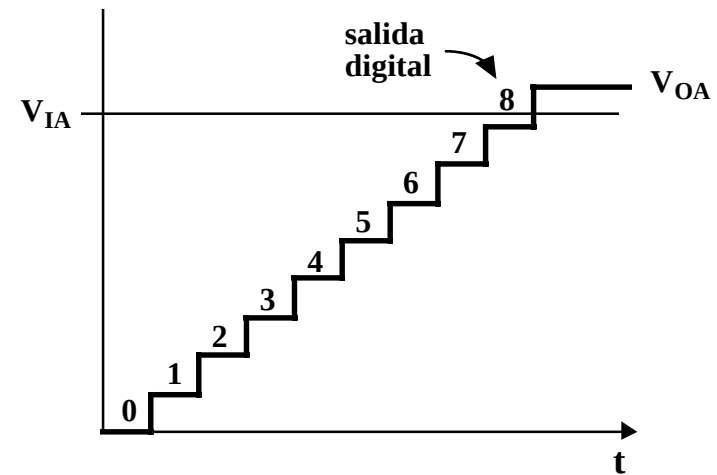
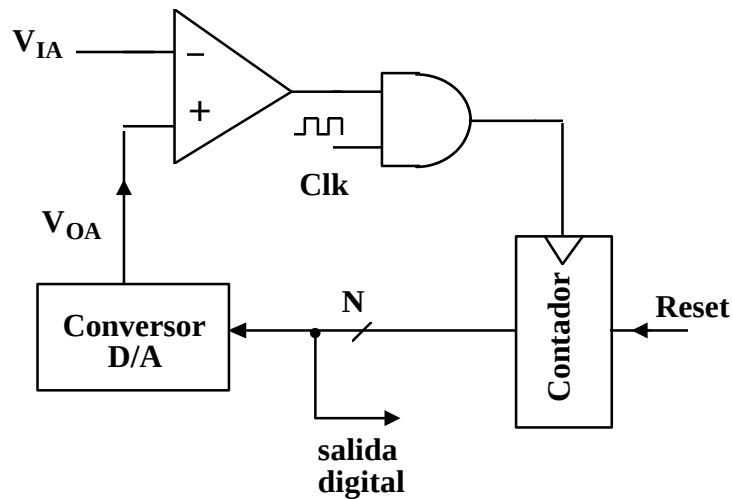


Convertidors de feedback

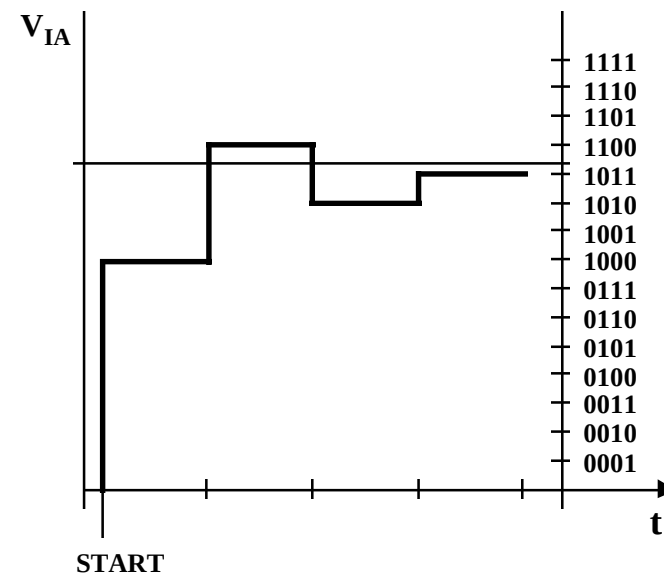
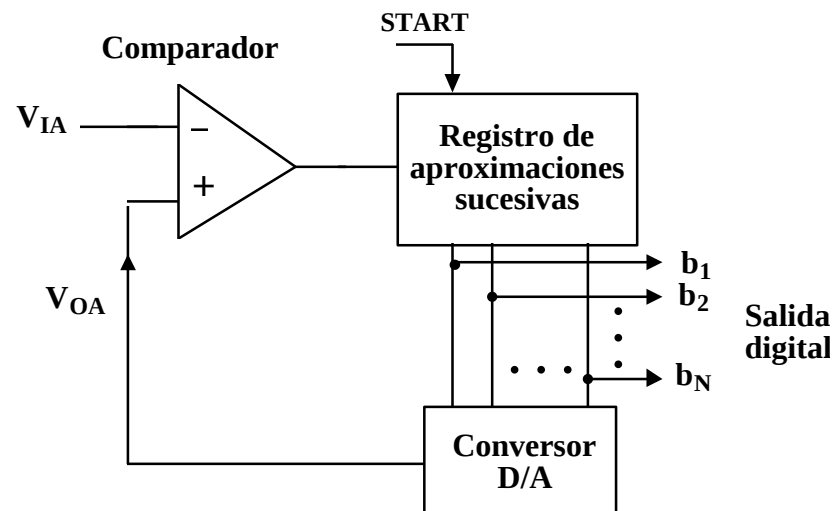
- es basen en un convertidor D/A realimentat i comparen entrada actual amb la sortida reconvertida
- exemple : anam incrementant el comptador fins que el valor comparat supera al valor a convertir
- optimització de l'exemple : convertidor d'aproximacions sucesives (cada comparació queda establert un bit.



Conversor A/D de rampa de comptador



Conversor A/D d'aproximaciones sucesivas



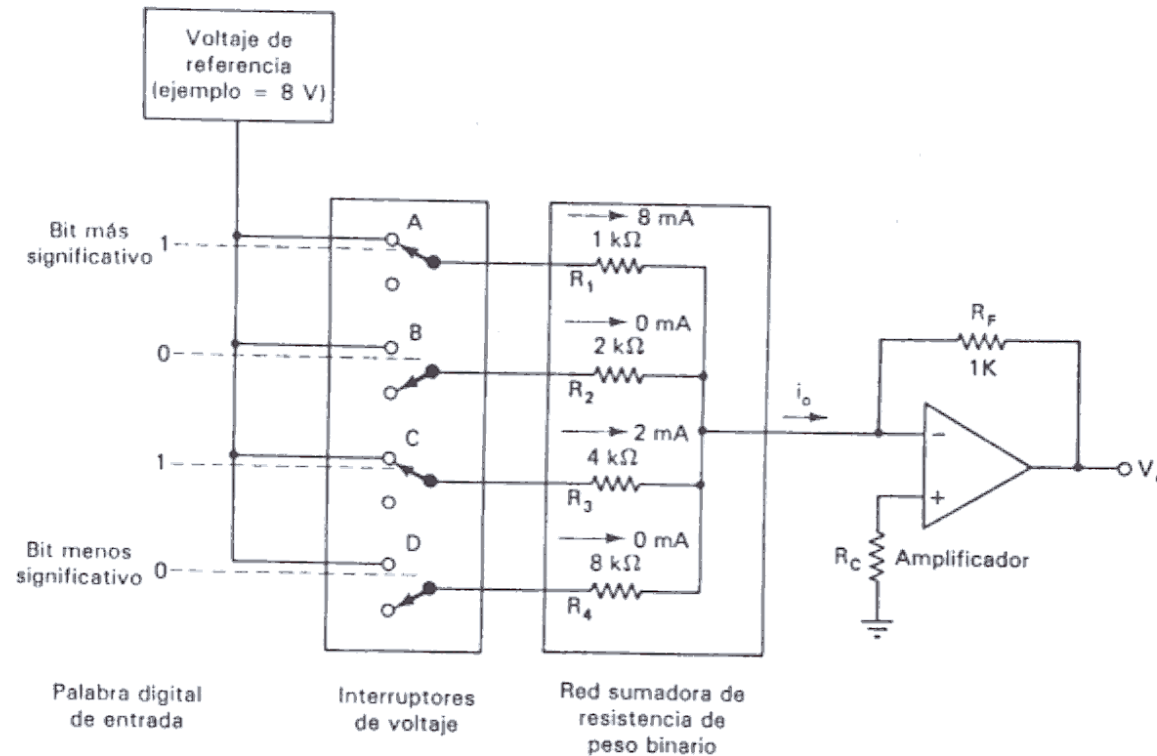
Convertidor D/A (auxiliar)

$$I_1 = \frac{V_{REF}}{R_1} a_3$$

$$I_2 = \frac{V_{REF}}{R_2} a_2$$

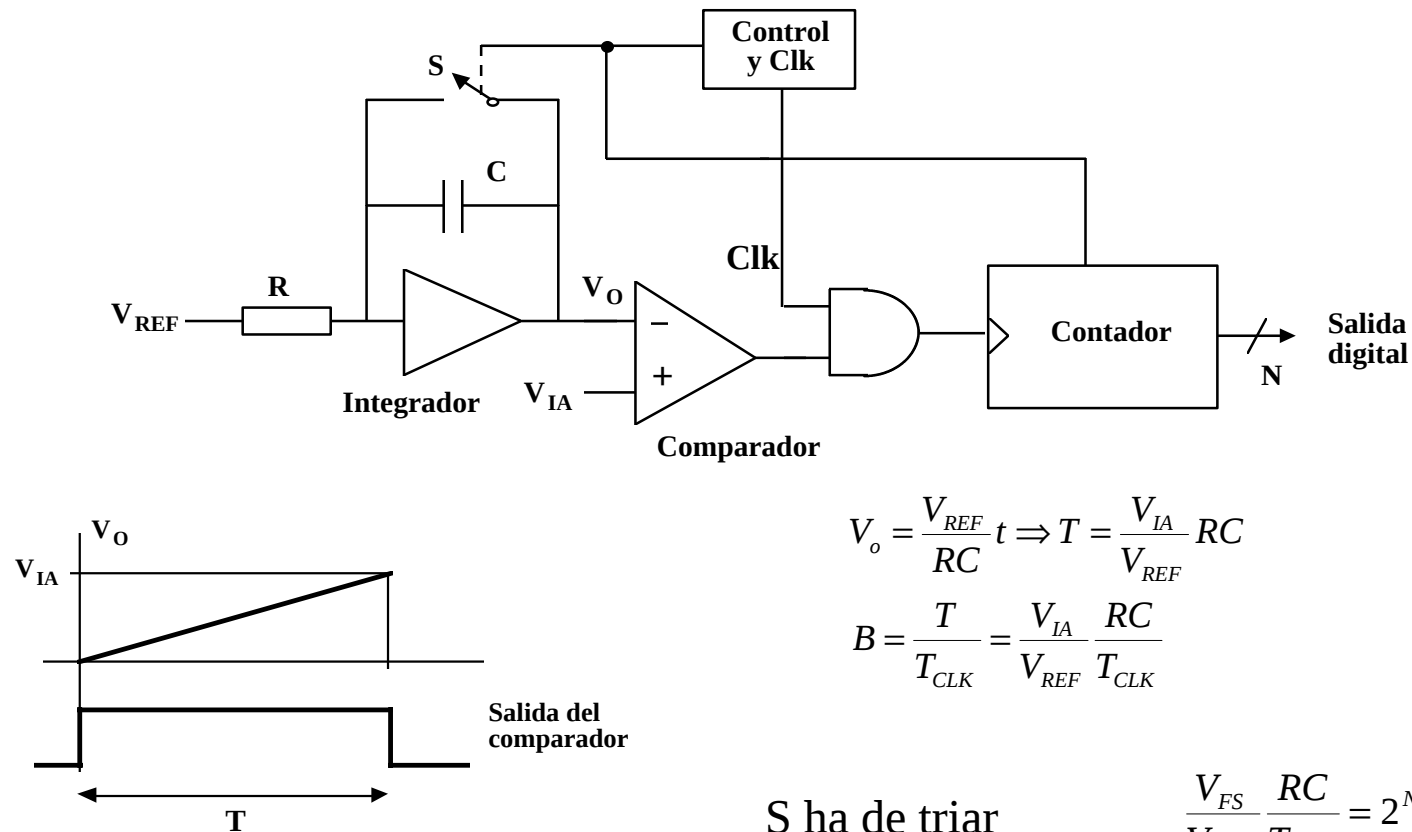
$$I_3 = \frac{V_{REF}}{R_3} a_1$$

$$I_4 = \frac{V_{REF}}{R_4} a_0$$



$$V_o = -R_F V_{REF} \left(\frac{a_3}{R_1} + \frac{a_2}{R_2} + \frac{a_1}{R_3} + \frac{a_0}{R_4} \right)$$

Conversor de rampa simple



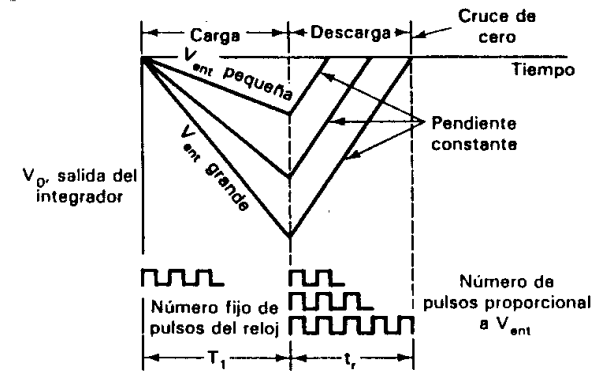
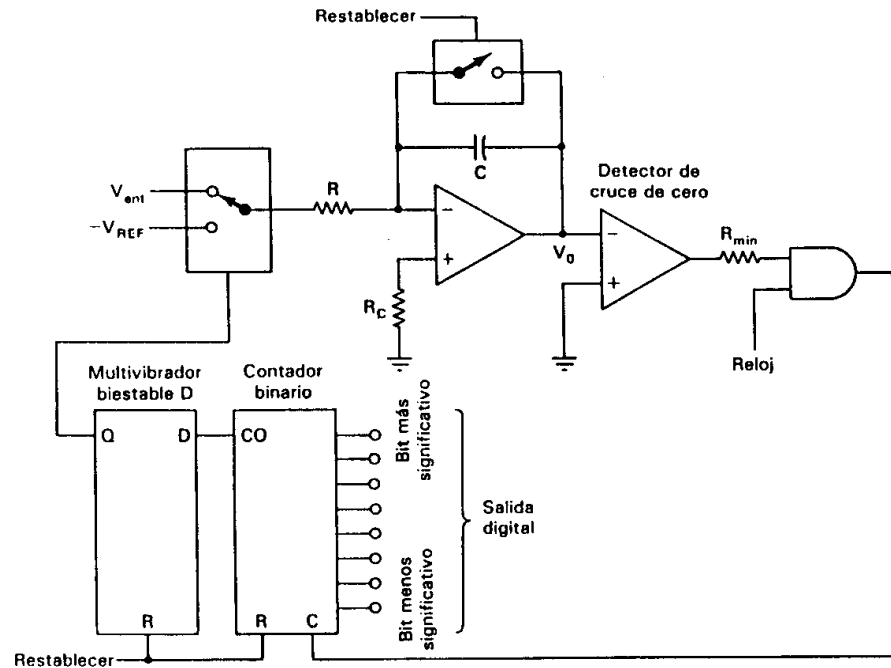
$$V_o = \frac{V_{REF}}{RC} t \Rightarrow T = \frac{V_{IA}}{V_{REF}} RC$$

$$B = \frac{T}{T_{CLK}} = \frac{V_{IA}}{V_{REF}} \frac{RC}{T_{CLK}}$$

S ha de triar $\frac{V_{FS}}{V_{REF}} \frac{RC}{T_{CLK}} = 2^N$

per que Bmax sigui $V_{IA} \max$

Convertidor Doble Rampa



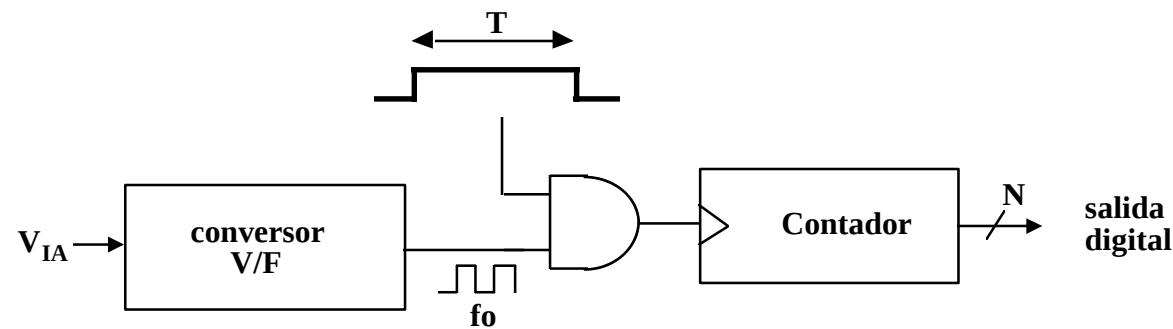
$$V_C = - \int_0^{T_1} \frac{V_{ent}}{RC} dt = - \frac{V_{ent}}{RC} T_1$$

$$0 - V_C = - \int_{T_1}^{T_1+t_r} \frac{-V_{ref}}{RC} dt = \frac{V_{ref}}{RC} t_r$$

$$T_1 = T \cdot n_{estats} = T \cdot 2^N$$

$$t_r = \frac{V_{ent}}{V_{ref}} T_1$$

Conversor A/D basat en conversor voltatge-freqüència (V/F)

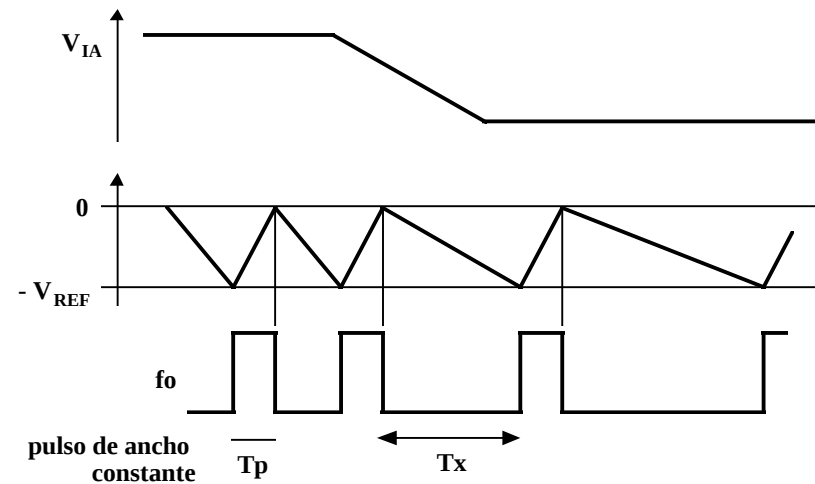
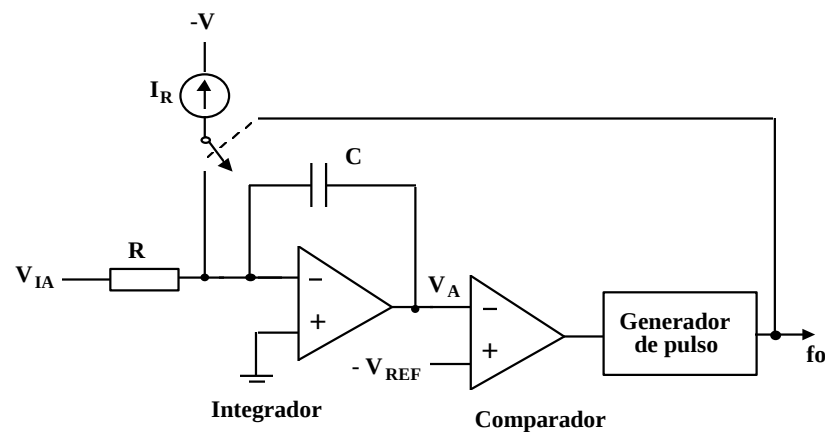


$$f_o = \frac{f_{FS}}{V_{FS}} V_{IA}$$

$$f_{FS} T = 2^N \Rightarrow T = \frac{2^N}{f_{FS}}$$

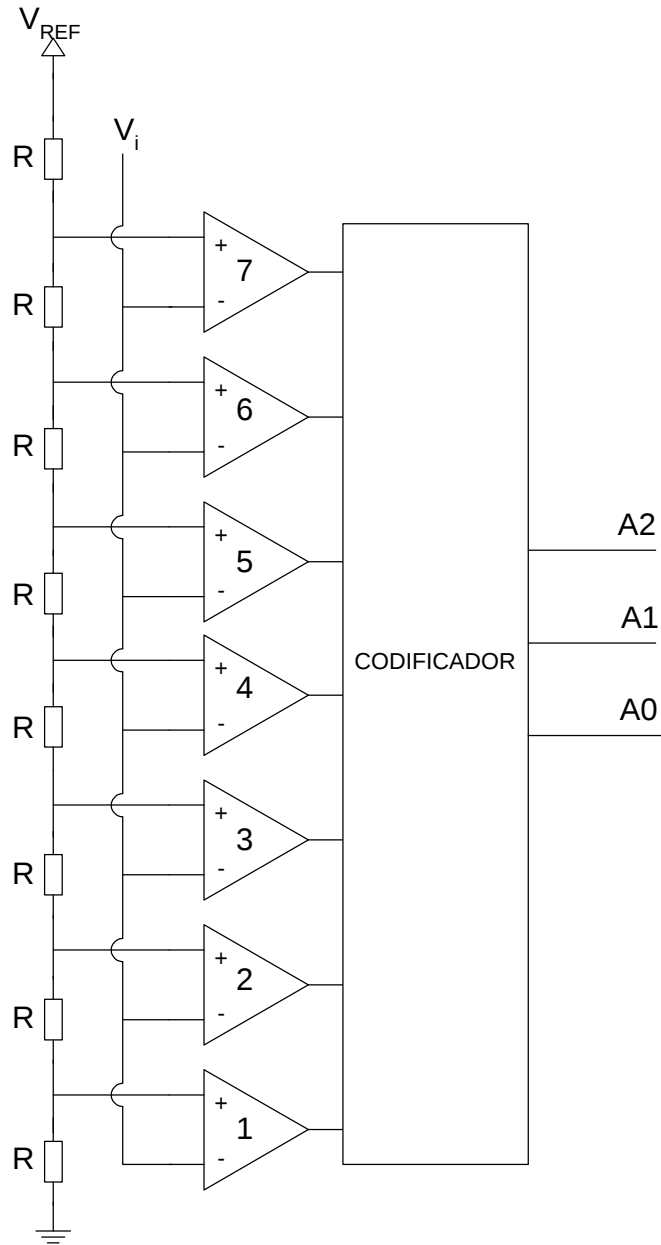
$$B = f_o T = \frac{f_{FS}}{V_{FS}} V_{IA} T = 2^N \frac{V_{IA}}{V_{FS}}$$

Conversor V/F per balanç de càrrega



$$Q_{DOWN} = Q_{UP} \Rightarrow I_A T_x = (I_R - I_A) T_p \Rightarrow T_x = T_p \left[\frac{I_R}{I_A} - 1 \right] = T_p \left[\frac{R}{V_{IA}} I_R - 1 \right]$$

$$f_o = \frac{1}{T_p + T_x} = V_{IA} \frac{1}{R T_p I_R}$$

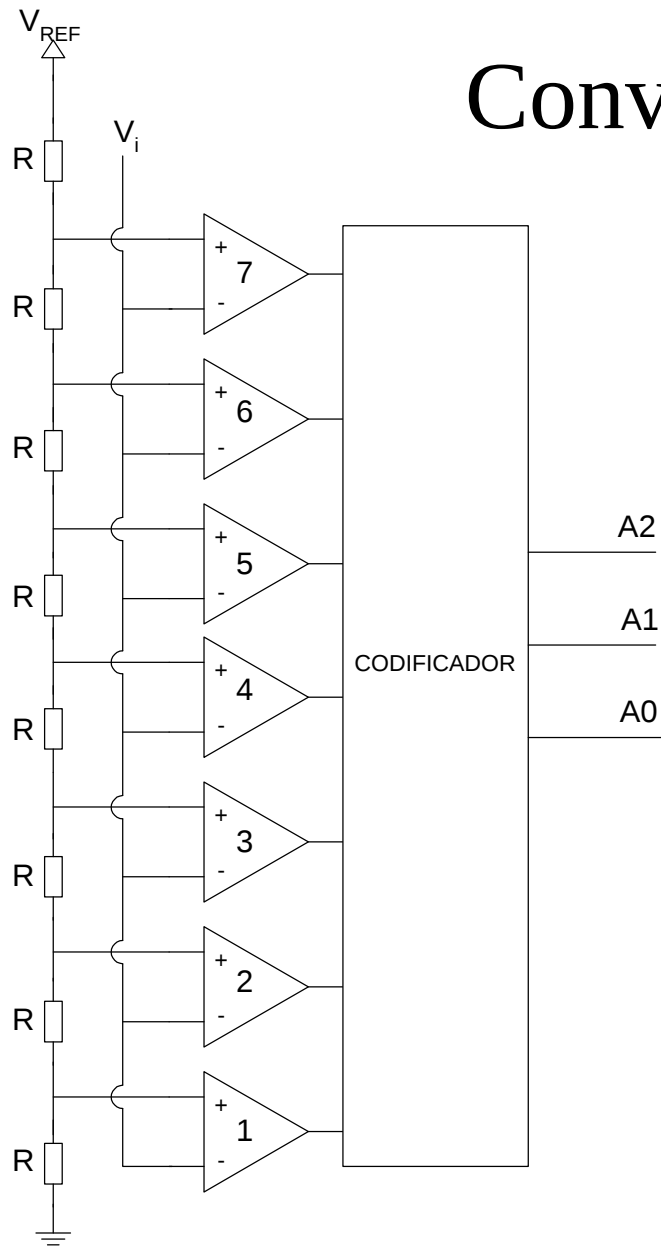


Convertidor A/D flash

- Escala de resistències
- Tants comparadors com estats-1
- Ràpid, una única comparació en paral.lel és suficient per a realitzar la conversió
- Codificador necessari per a representar el resultat final



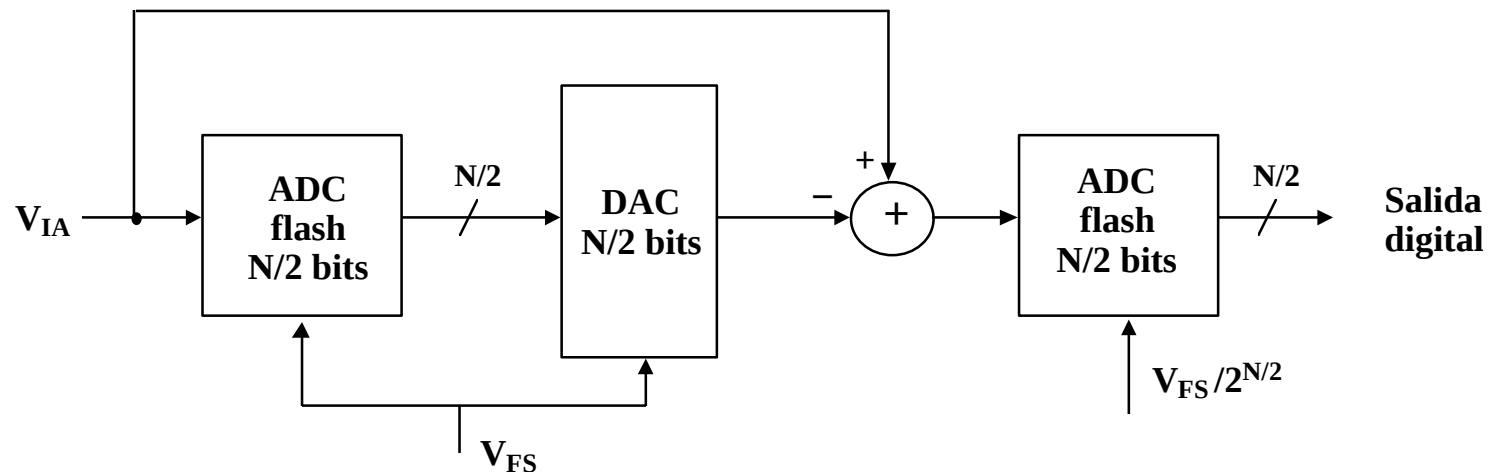
Convertidor A/D flash



Codificació termomètrica (3 bits)

<u>binària</u>	<u>termomètrica</u>
000	0000000
001	0000001
010	0000011
011	0000111
100	0001111
101	0011111
110	0111111
111	1111111
N bits	$2^N - 1$ bits

Conversor A/D paral.lel *flash* de 2 etapes



Ej. $V_{FS} = 8 \text{ V}$ $N = 8$ $V_{IA} = 3.7 \text{ V}$ llur valor digital és $118_{10} = 01110110$

Emprant
$$B = \left\lceil V_{IA} \frac{2^N}{V_{FS}} \right\rceil$$

$B1 = 7_{10} = 01111$ i el DA el converteix en 3.5 V que restat de V_{IA} resulta 0.2 V
que el segon AD converteix en $B2 = 6_{10} = 0110$