
Conversores Analógico/Digital e Digital/Analógico

Electrónica 3 – 2005/06
José Machado da Silva
Vítor Grade Tavares

1

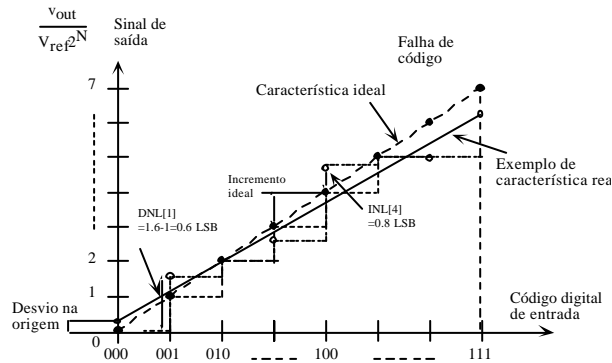
Conversores Digital/Analógico

Sumário

- Introdução
- Architecturas
 - Cadeia resistiva
 - Malha resistiva com pesos binários
 - Malha resistiva com escalonamento R-2R
 - Escalonamento de correntes
 - Escalonamento de correntes com pesos binários
 - Escalonamento de carga
 - Pipeline
 - Cíclico

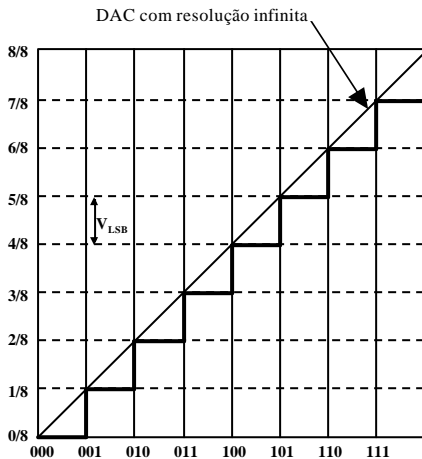
Conversores Digital/Analógico

Característica de transferência



$$\text{Erro de ganho} = \text{declive ideal} - \text{declive real}$$

Conversores Digital/Analógico



• Algumas definições:

• Resolução= Número de bits da palavra digital de entrada (dito N-bits)

$$V_{LSB} = \frac{V_{ref}}{2^N}$$

V_{LSB} é a variação de tensão na saída para uma variação de um LSB.

$$1LSB = \frac{1}{2^N}$$

Máxima escala (FS): Diferença entre a saída analógica para a palavra digital menor (000...) e a maior (111...):

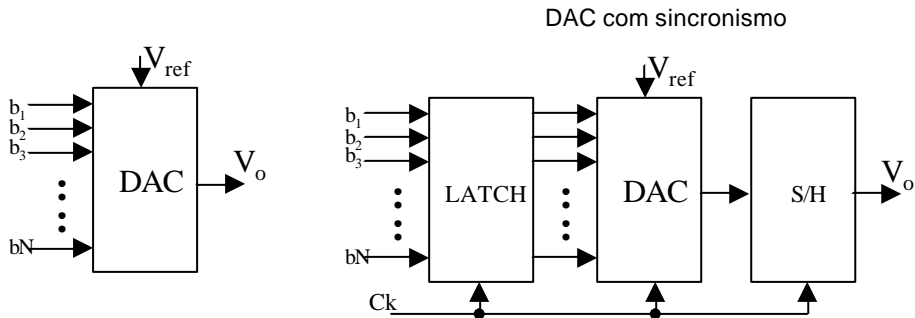
$$FS = V_{ref} - V_{LSB} = V_{ref} (1 - 2^{-N})$$

• Gama de escala máxima (FSR):

$$FSR = \lim_{N \rightarrow \infty} FS = V_{ref}$$

Conversores Digital/Analógico

Requer-se fonte de tensão de referência de grande exactidão e estabilidade.



Conversores Digital/Analógico

O objectivo da DAC é produzir uma tensão (ou corrente) analógica directamente proporcional à palavra digital de entrada:

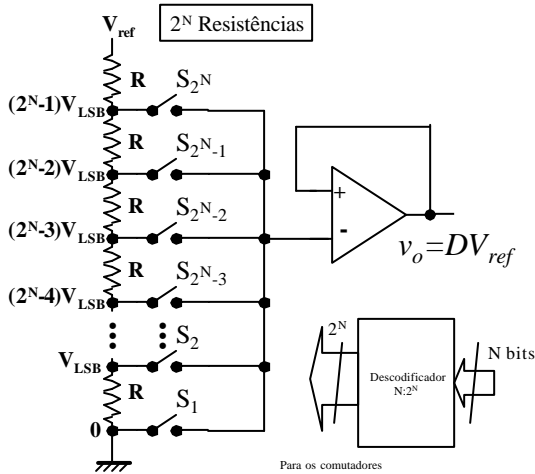
$$V_o = K \times V_{ref} \times D$$

$$D = b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_N 2^{-N}$$

$$V_o = K \times V_{ref} \times [b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + \dots + b_N 2^{-N}]$$

Conversores Digital-Analógico (DAC)

• Cadeia resistiva.



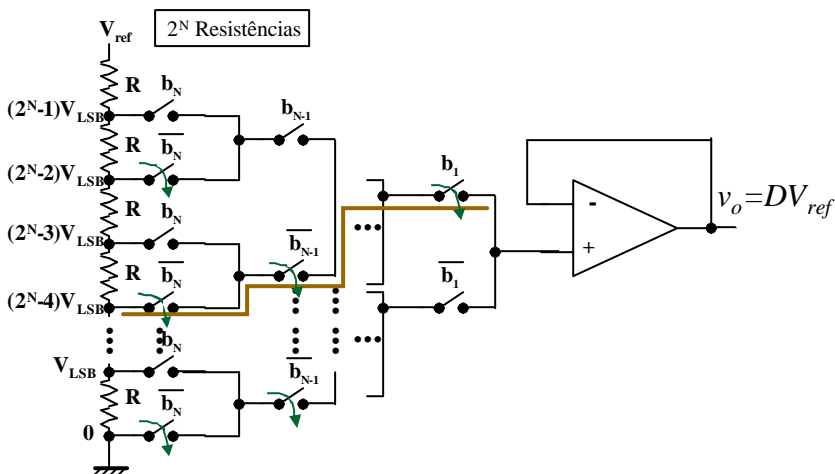
- Em cada momento um só comutador *on* por palavra digital de entrada. A cadeia de resistências gera todos os níveis possíveis de saída que são depois seleccionados pelo descodificado.

- Estes DACs ocupam em geral muita área, particularmente para resoluções elevadas onde se exige um emparelhamento mais rigoroso (imposto por INL e DNL mais baixos = 1LSB/2).

- A minimização da área tem consequências na potência dissipada.

Conversores Digital-Analógico (DAC)

• Cadeia resistiva – conversor potenciométrico



Conversores Digital/Analógico

- Os DAC com divisores resistivos são extremamente dependentes do bom emparelhamento das resistências. Garantem contudo uma característica monotóna.

$$INL = \underbrace{V_{(i)real}}_{\text{Nível de tensão ideal na posição da cadeia resistiva}} - \underbrace{(i)V_{LSB}}_{\text{Nível de tensão ideal na posição da cadeia resistiva}}$$

$$DNL = \underbrace{V_{(i)real}}_{\text{Nível de tensão real na posição da cadeia resistiva}} - \underbrace{V_{(i-1)real}}_{\text{Nível de tensão real na posição (i-1) da cadeia resistiva}} - IV_{LSB}$$

$$\Leftrightarrow DNL = INL_{(i)} - INL_{(i-1)}$$

$$V_{(i)real} = \frac{\sum_{j=1}^i (R + \Delta R_j)}{\sum_{j=1}^{2^N} (R + \Delta R_j)} V_{ref} \quad \left| \begin{array}{l} \\ \text{se } \sum_{j=1}^{2^N} (\Delta R_j) = 0 \end{array} \right. = \frac{\sum_{j=1}^i (R + \Delta R_j)}{2^N R} V_{ref} = (i) \frac{V_{ref}}{2^N} + \frac{\sum_{j=1}^i (\Delta R_j)}{2^N R} V_{ref} = (i)V_{LSB} + \frac{\sum_{j=1}^i (\Delta R_j)}{R} V_{LSB}$$

Conversores Digital/Analógico

- Quanto maior a resolução melhor tem de ser o emparelhamento

$$INL = \left| \frac{\sum_{j=1}^i (?R_j)}{R} \right| V_{LSB}$$

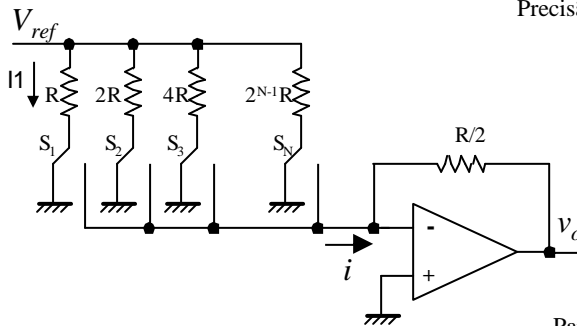
$$INL = \left| \frac{\sum_{j=1}^i (?R_j)}{R} \right| \text{ (em LSBs)}$$

$$DNL = \left| \frac{?R_j}{R} \right| V_{LSB}$$

$$DNL = \left| \frac{?R_j}{R} \right| \text{ (em LSBs)}$$

Conversores Digital/Analógico

- Malha resistivas com pesos binários (N resistências)



Precisão muito dependente de:

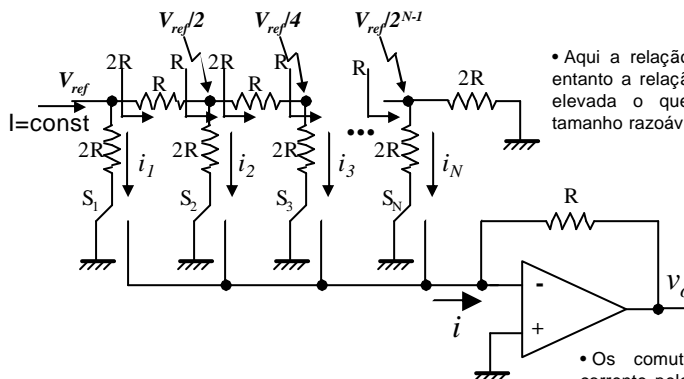
- V_{ref}
- Precisão das resistências
- Comutadores (são analógicos)

$$v_o = -i \times \frac{R}{2} = -\frac{2V_{ref}}{R} D \frac{R}{2} = -V_{ref} D$$

Para N elevado a relação entre as resistências torna-se muito elevada, dificultando a precisão.

Conversores Digital/Analógico

- Escalonamento R-2R (N resistências)



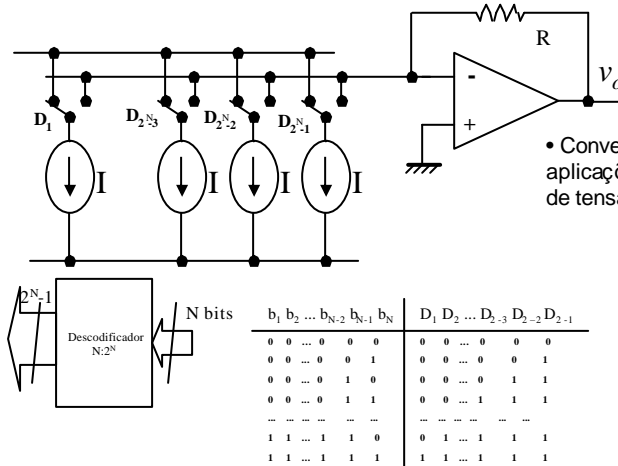
• Aqui a relação de resistências é baixa, no entanto a relação de correntes pode ser muito elevada o que implicará comutadores de tamanho razoável.

$$v_o = -i \times R = -\frac{V_{ref}}{R} D R = -V_{ref} D$$

• Os comutadores são percorridos por corrente pelo que é conveniente adicionar comutadores para compensar as quedas de tensão nos diferentes comutadores S_i .

Conversores Digital/Analógico

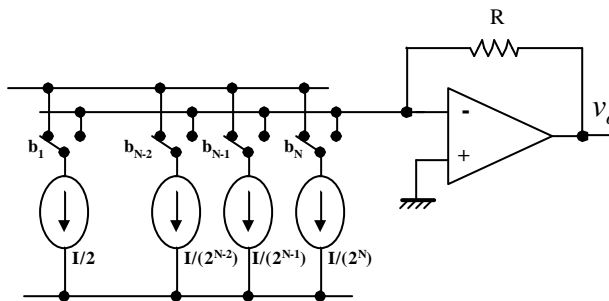
• Escalonamento de correntes (2^{N-1})



• Conversores utilizados para aplicações ápidas (as variações de tensão são muito baixas)

Conversores Digital/Analógico

• Escalonamento de correntes (N) com pesos binários



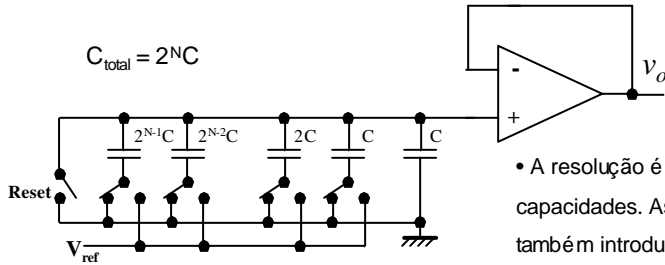
• São críticos os transitórios (*glitches*). Quando há transições de código, os pequenos atrasos na comutação poderão provocar comutações de corrente intermédias que geram picos de tensão.

• Este circuito exige menos fontes de corrente (N), no entanto a relação de correntes pode tornar-se muito elevado, limitando assim a resolução possível.

• A resolução é limitada pela precisão das fontes de corrente

Conversores Digital/Analógico

- Escalonamento de carga



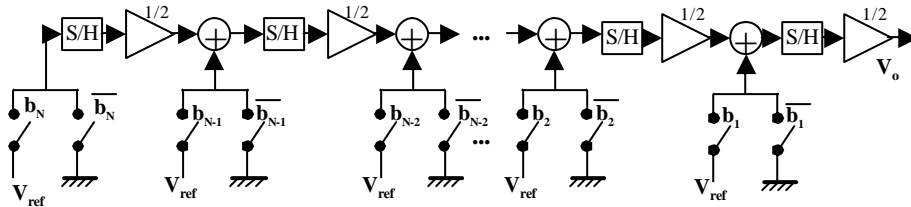
- A resolução é limitada pela precisão das capacidades. As capacidades parasitas também introduzem desvios.

$$v_{OUT} = \frac{2^k C}{2^N C} V_{REF} = 2^{k-N} V_{REF} \quad \text{contributo de cada capacidade}$$

$$v_{OUT} = \sum_{k=0}^{N-1} D_k 2^{k-N} V_{REF} \quad \text{resultante para a palavra D}$$

Conversores Digital/Analógico

- Em cascata (pipeline)



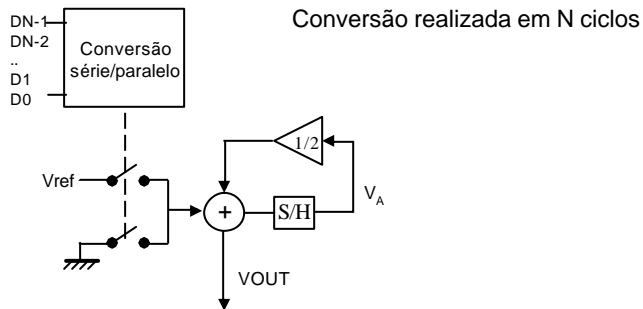
$$V_{OUT}[i] = (b_i V_{ref} + V_{i-1}) \frac{1}{2}$$

- A saída é obtida por acumulação de ganhos ao longo da cadeia. Por esta razão a saída vem atrasada de N clocks, mas apesar disto são DACs muito rápidos.

- A precisão é dependente da qualidade do amplificador. Este é normalmente implementado usando capacidades. O S/H e o somador também necessitam de ser precisos. O uso de técnicas de condensadores comutados é muito natural nesta topologia.

Conversores Digital/Analógico

- Cíclico



$$v_{OUT}[n] = \left(D_{n-1} V_{REF} + \frac{1}{2} V_A[n-1] \right) \frac{1}{2}$$