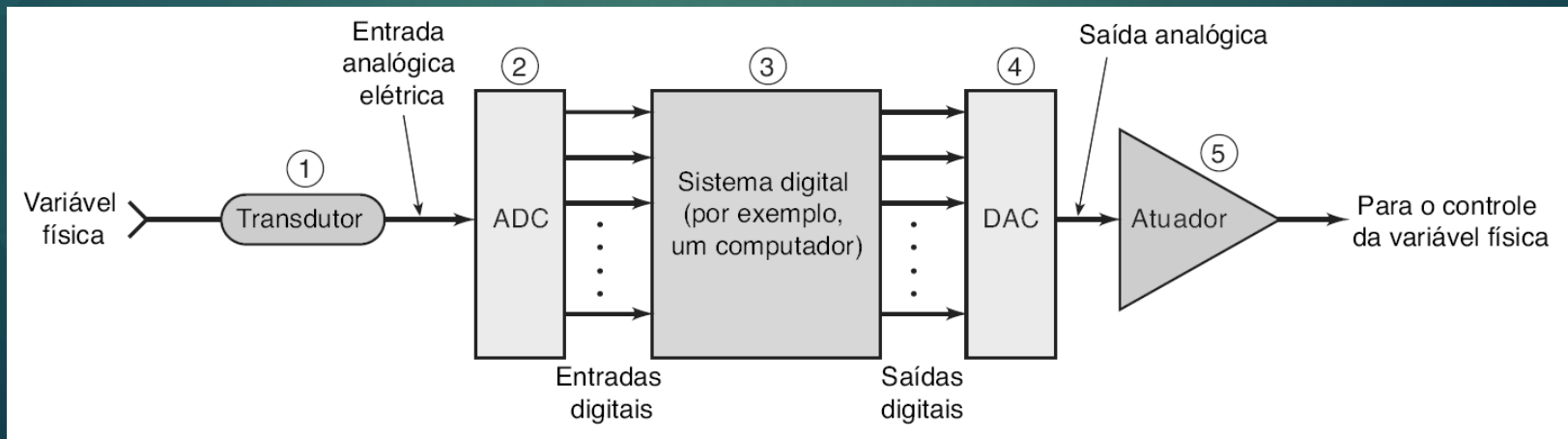


Conversores A/D e D/A

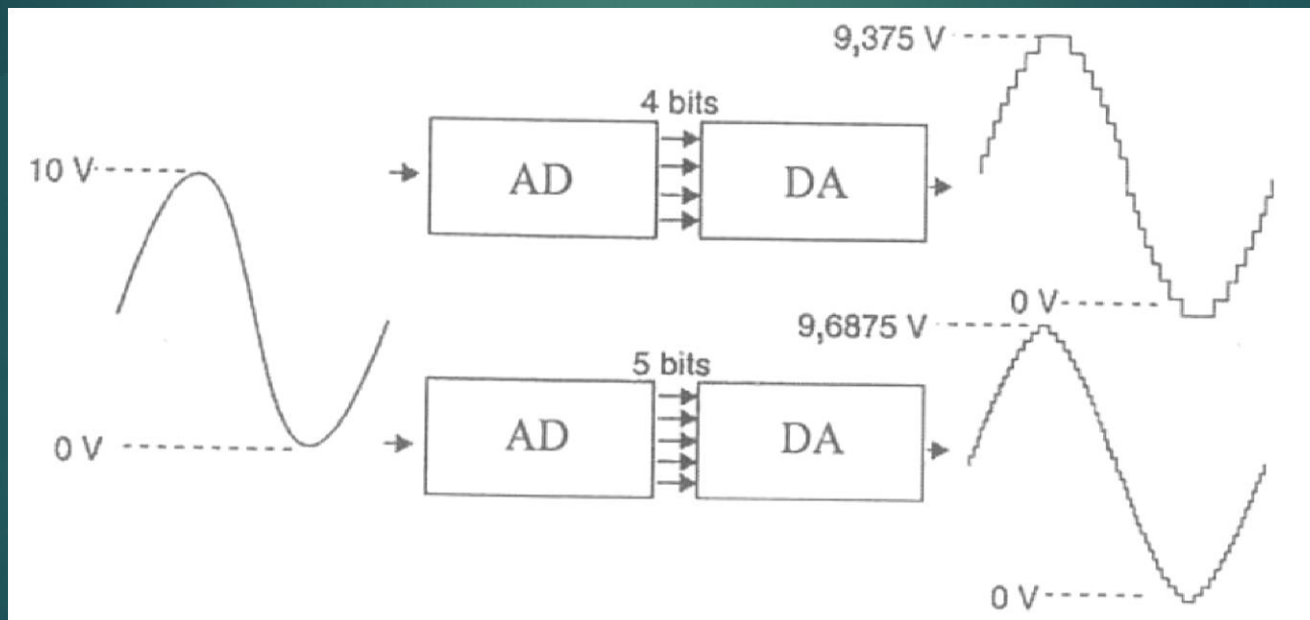
Esquema de um sistema básico

- ▶ Variável física: analógica;
- ▶ Transdutor(sensor): converte variável física em elétrica;
- ▶ Conversão A/D: digitalizar para processamento;
- ▶ Conversão D/A: conversão para atuação.



Conversão A/D e D/A – digitalização e reconstrução

- Quantização do sinal analógico no processo de digitalização e reconstrução.

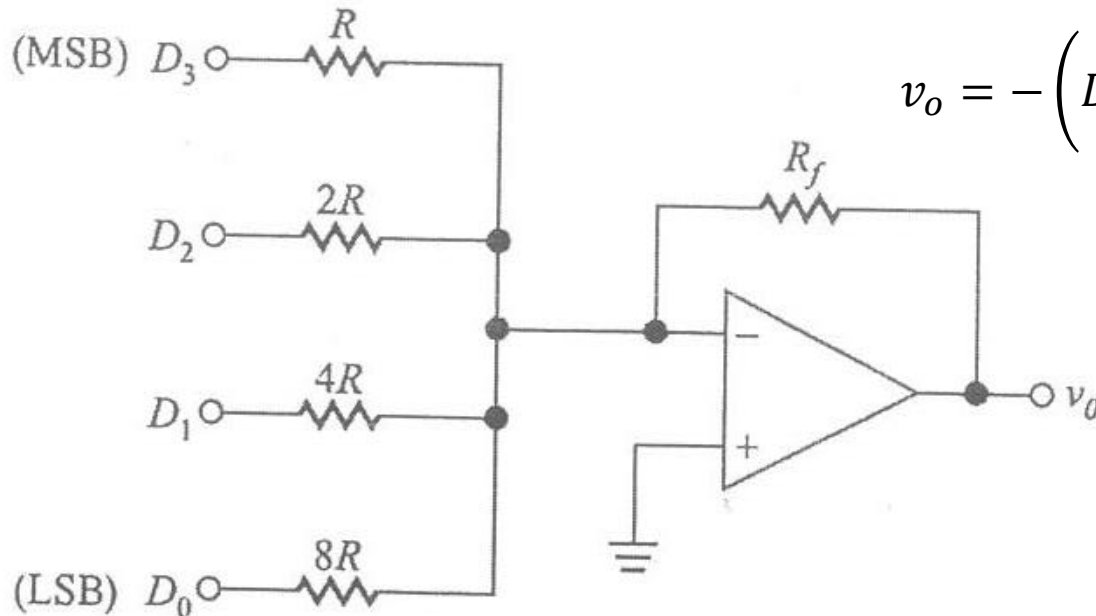


Técnicas de conversão D/A

- ▶ A conversão D/A é o processo em que o valor representado em código digital é convertido em tensão ou corrente proporcional ao valor digital.
- ▶ Conversor com resistor de peso binário;
- ▶ Conversor com escada $R/2R$;
- ▶ Conversor com fonte de corrente chaveada ($R/2R$);
- ▶ Conversor com capacitores chaveados;
- ▶ Conversor por modulação de largura de pulso.

Conversor com resistor de peso binário

- ▶ Amplificador Operacional na configuração somador inversor;
- ▶ Pesos na soma são proporcionais às posições dos bits de entrada.

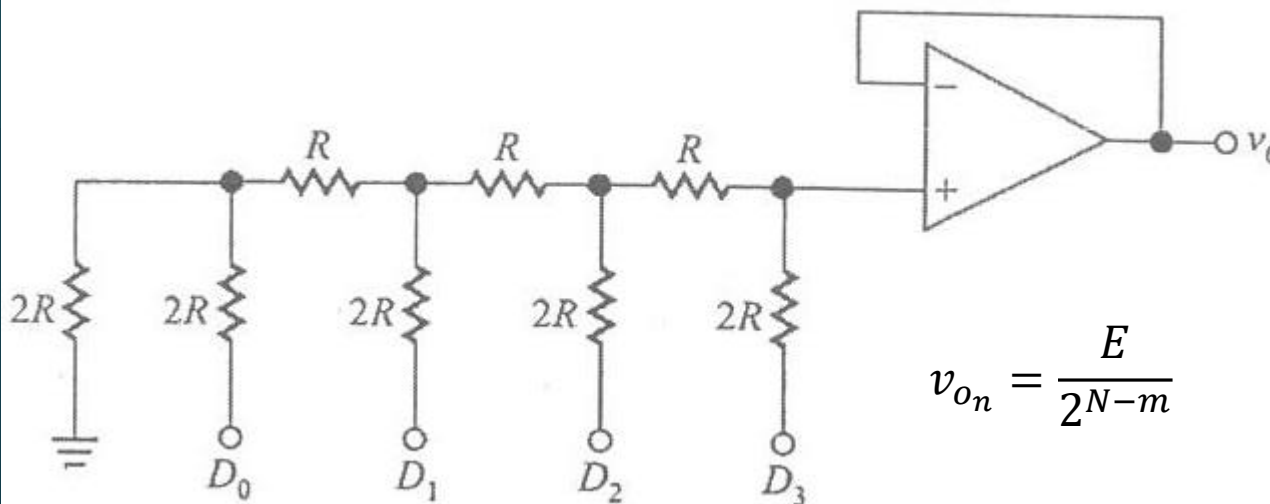


$$v_o = - \left(D_3 + \frac{1}{2} D_2 + \frac{1}{4} D_1 + \frac{1}{8} D_0 \right) \frac{R_f}{R}$$

Desvantagem:
Resistores de precisão
Com valores variados.

Conversor com escada R/2R

- ▶ Malha em escada – combinação série-paralelo de resistores com 2 valores: R e $2R$;
- ▶ Entradas digitais pode ter dois valores de tensão: caso nível '1' tensão E , caso nível '0' tensão 0 Volt.
- ▶ Cada entrada tem uma parcela da saída.
- ▶ Saída total v_{oTOTAL} é a soma de todas as parcelas.

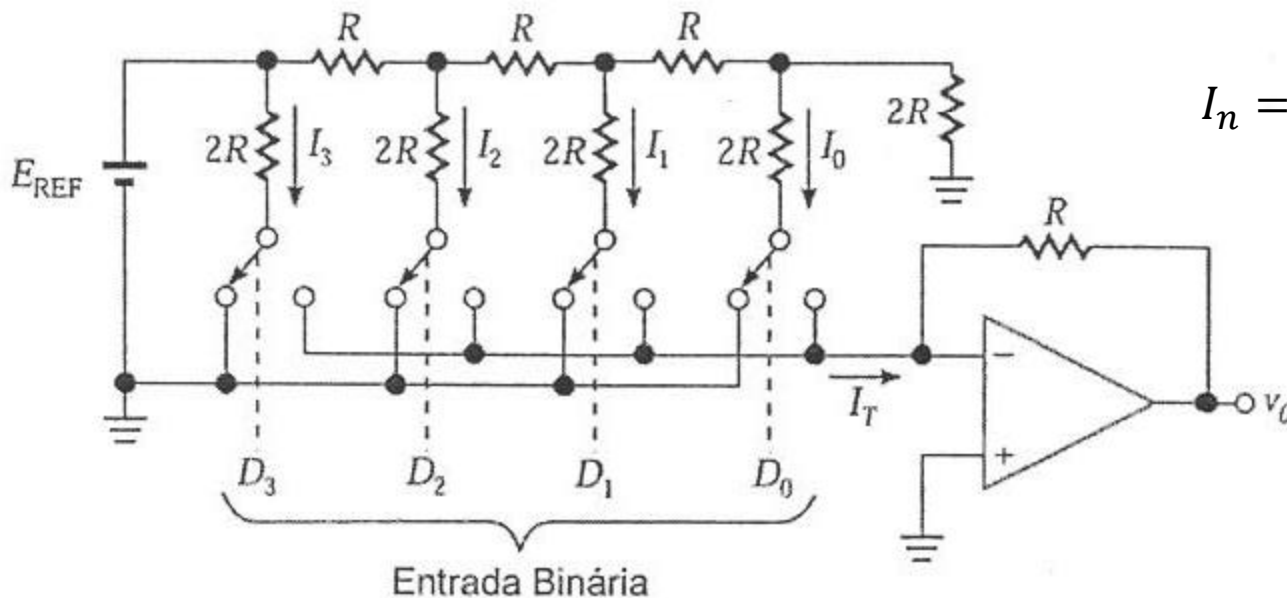


$$v_{o_n} = \frac{E}{2^{N-m}}$$

Desvantagem:
Lento e não
uniformidade
das tensões de
entrada.

Conversor com fonte de corrente chaveada

- ▶ Chaveamento de corrente – mais rápido do que tensão.
- ▶ Entradas binárias ativam/desativam as chaves.

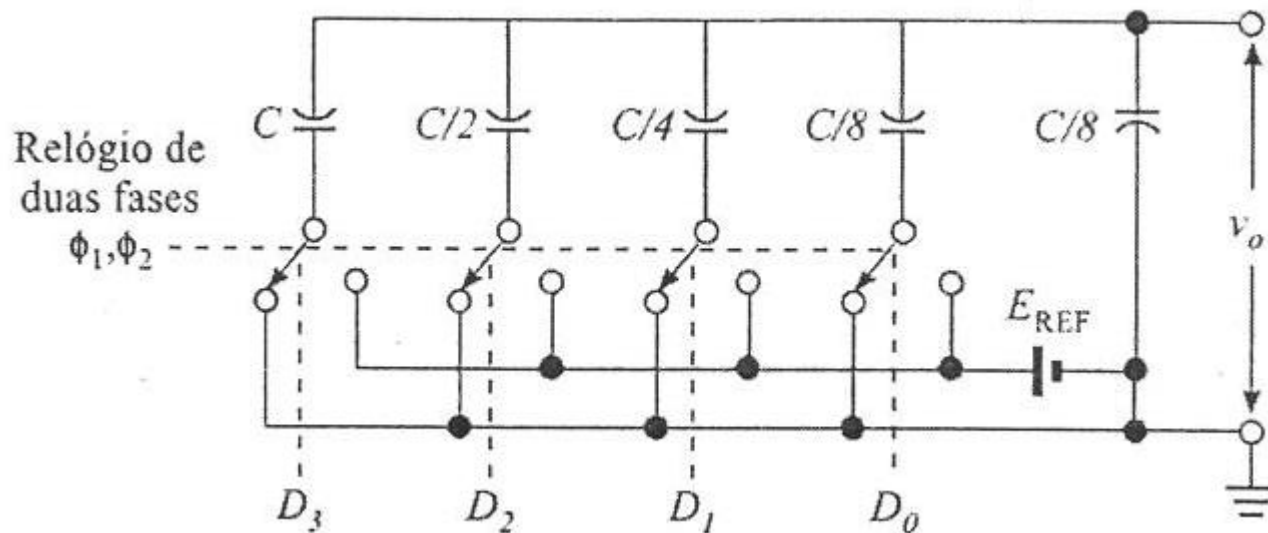


$$I_n = \left(\frac{E_{REF}}{R} \right) \frac{1}{2^{N-m}}$$
$$v_o = -I_T R$$

Técnica mais utilizada

Conversor com capacitores chaveados

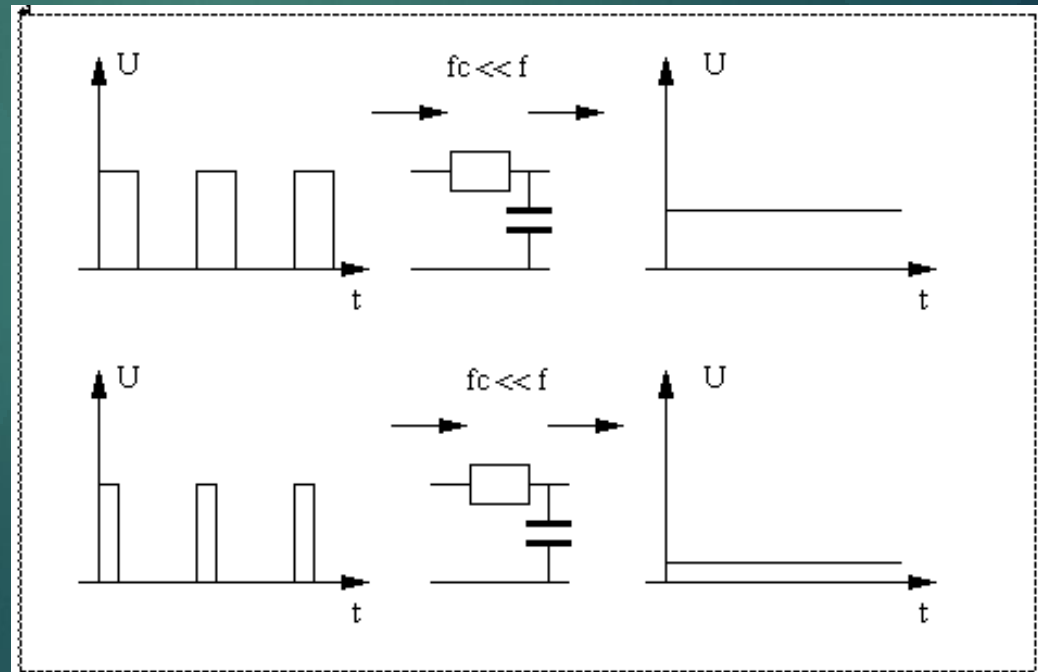
- ▶ Capacitores carregados para formar um divisor de tensão capacitivo.
- ▶ Tecnologia recente.



$$v_o = \left(\frac{C_{eq}}{2C} \right) E_{REF}$$

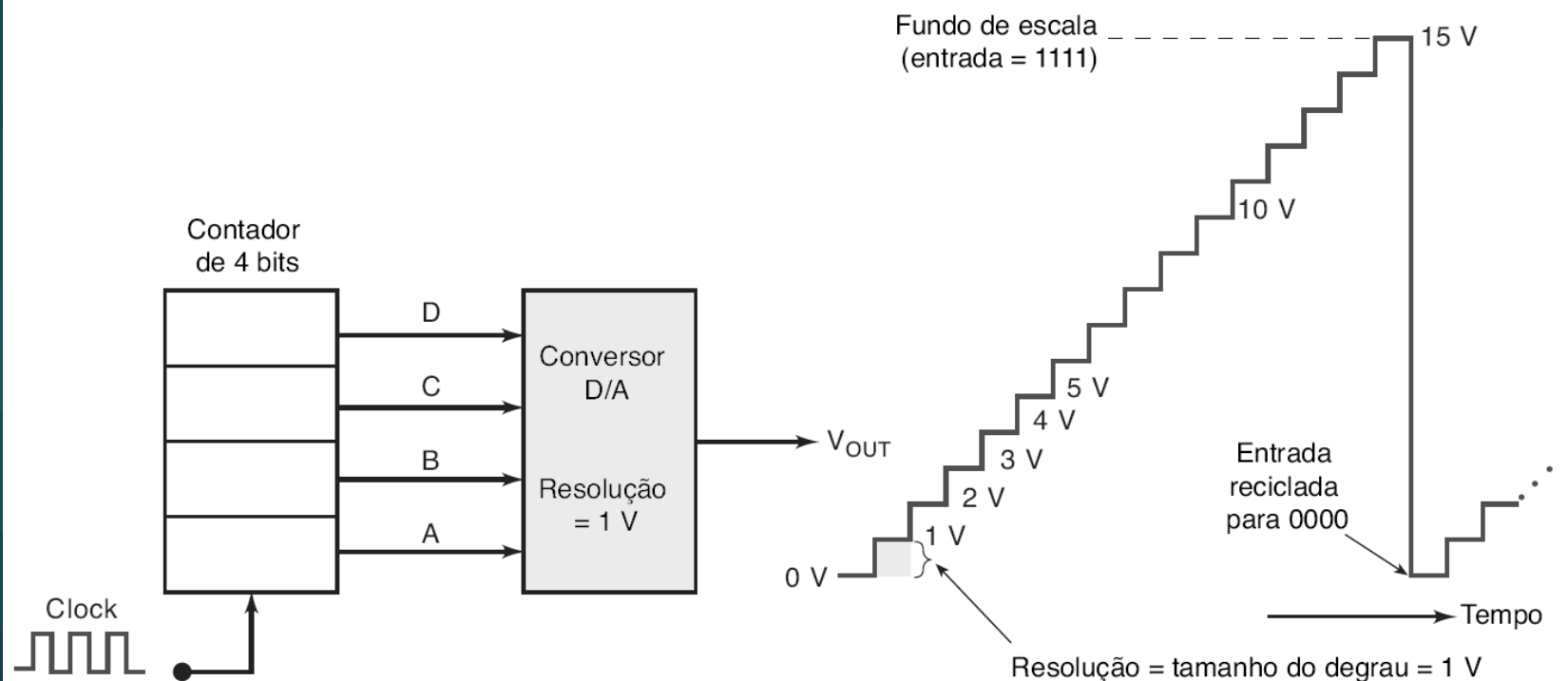
Conversor por modulação de largura de pulso

- ▶ Muitos microcontroladores possuem módulos em hardware para geração de sinal PWM.
- ▶ A saída digital do microcontrolador é ligada a um filtro passa-baixa que resulta em uma tensão análogica.



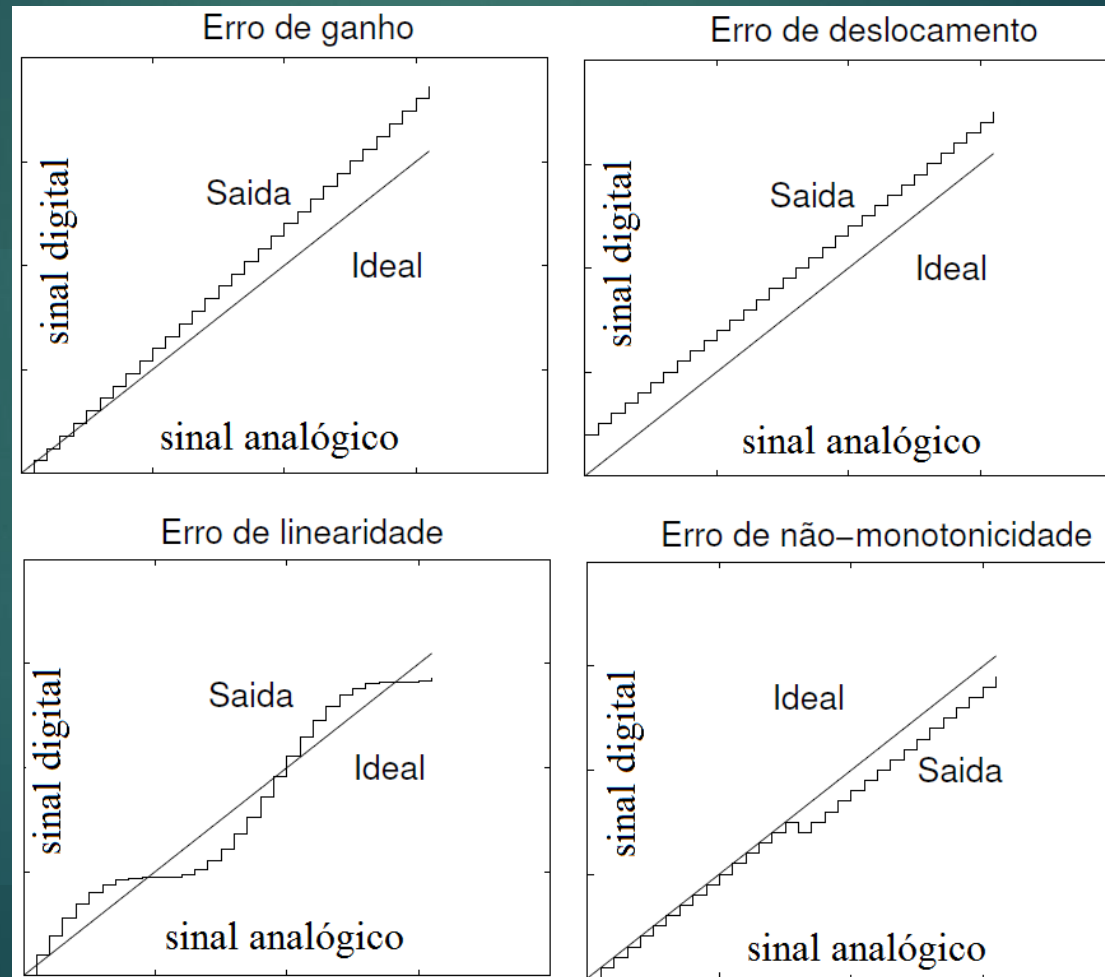
Conversão DA - Resolução

- ▶ Tamanho do degrau;
- ▶ Relacionado ao número de bits do conversor



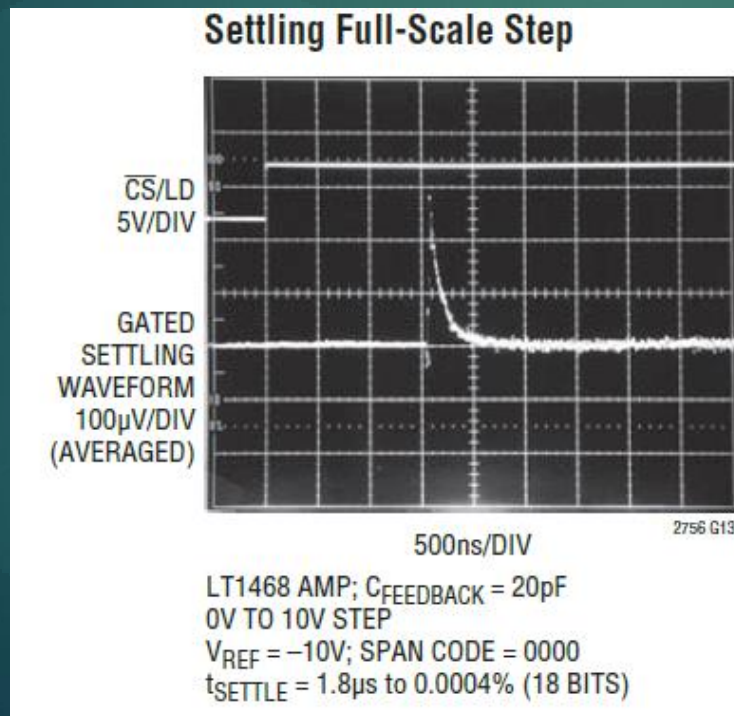
Conversores DA - Precisão

- ▶ A precisão é especificada através dos erros dos conversores.



Conversores DA – Tempo de estabilização

- ▶ O tempo de estabilização é o tempo necessário para a saída do DAC ir de zero ao fundo de escala, conforme a entrada binária muda de todos os bits em '0' até todos em '1'.



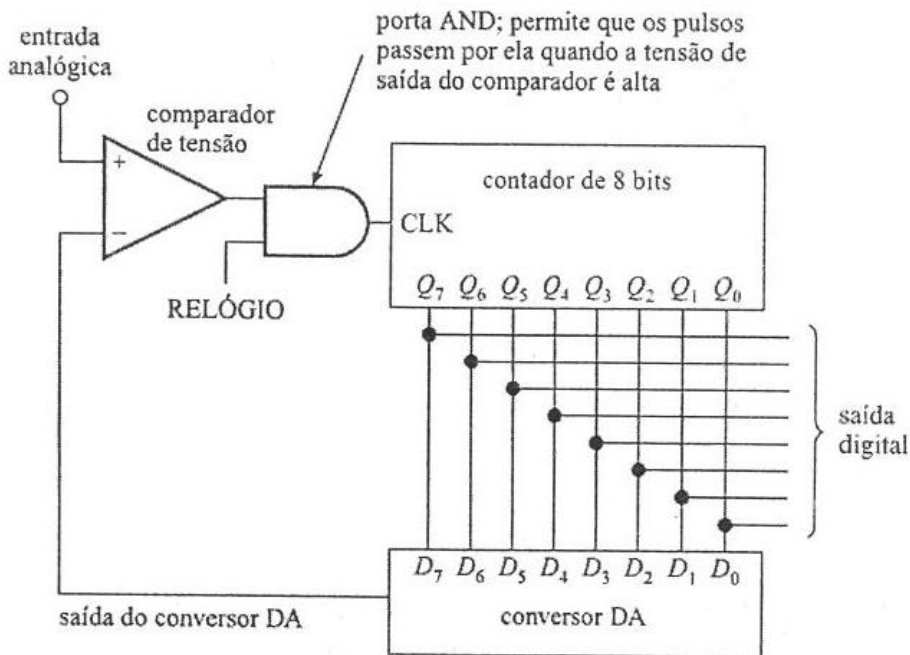
LTC2756
Linear Technology

Técnicas de conversão A/D

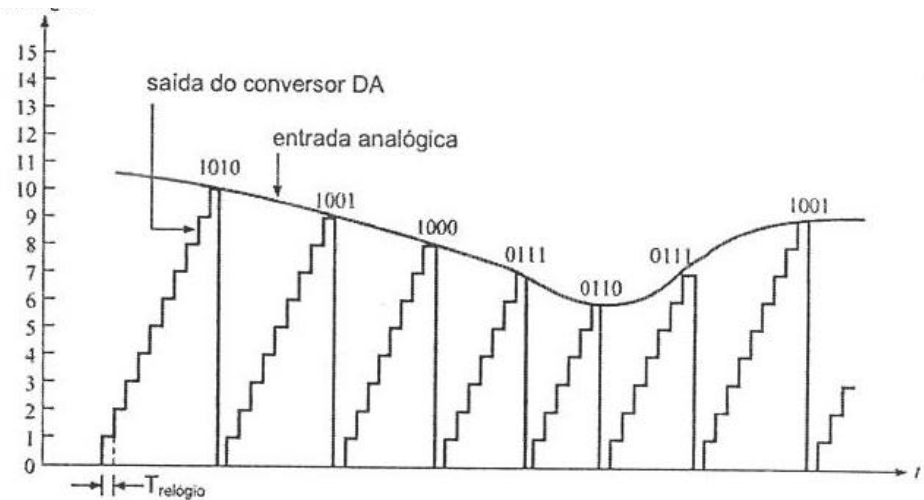
- ▶ Um conversor A/D recebe uma tensão analógica de entrada, e após certo tempo, produz um código digital de saída, que representa a entrada analógica.
- ▶ Conversor contador e de rastreo;
- ▶ Conversor instantâneo (Flash);
- ▶ Conversor de inclinação dupla (integrador);
- ▶ Conversor de aproximação sucessiva;
- ▶ Conversor tensão-frequência;
- ▶ Conversor Sigma-Delta.

Conversor contador e de rastreo

- Emprega: contador binário, um comparador de tensão, um conversor DA.

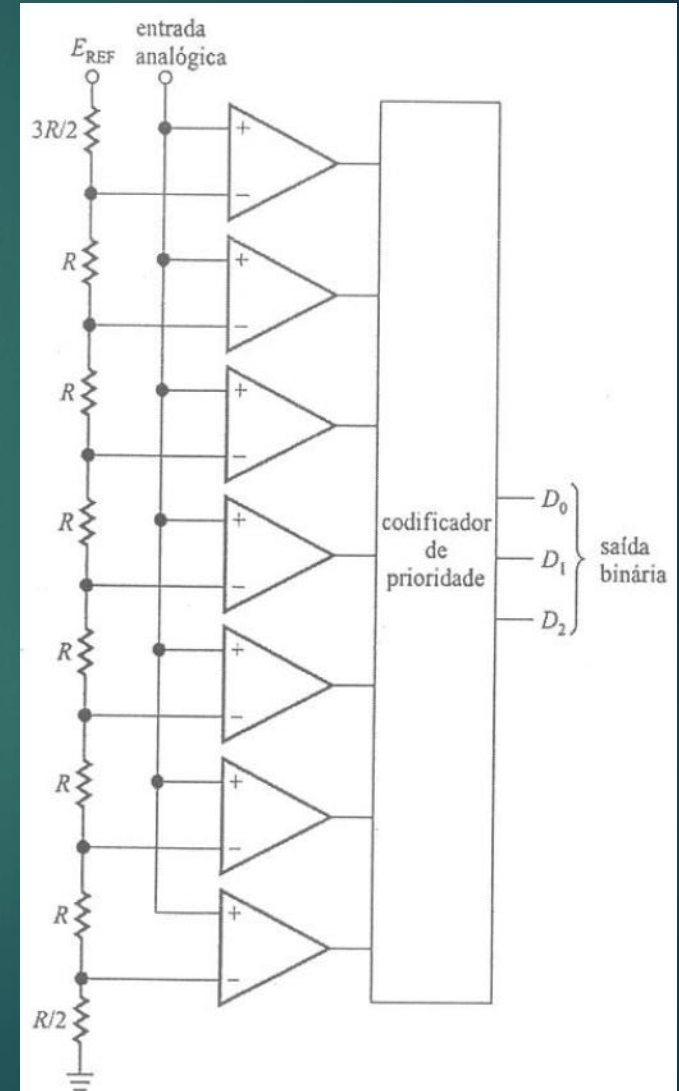


Vantagem: simplicidade.
Desvantagem: lento e pode oscilar (rastreo)



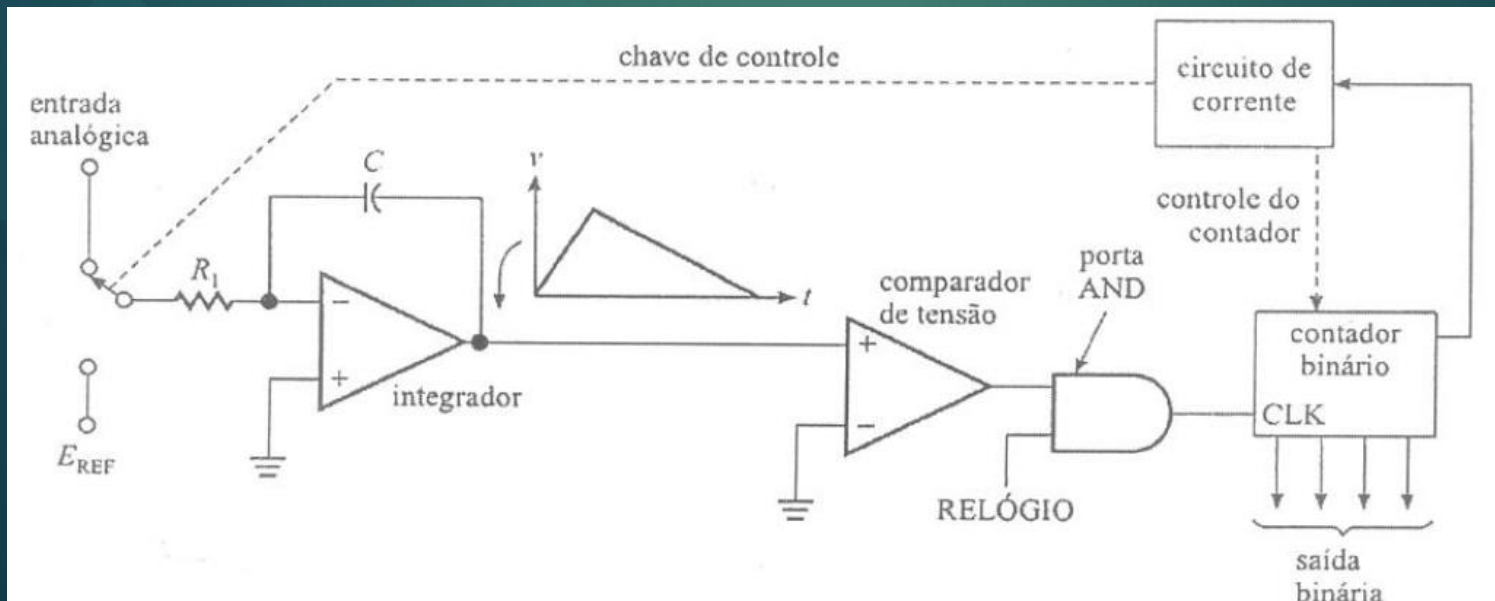
Conversor instantâneo (Flash)

- ▶ Realiza a conversão em um ciclo.
- ▶ Usa divisor resistivo, comparadores e um codificador de prioridade.
- ▶ Faixa de valores medidos é:
$$\left(\frac{2^{n+1} - 3}{2^{n+1}}\right) E_{REF} \text{ até } \left(\frac{1}{2^{n+1}}\right) E_{REF}$$
- ▶ Vantagem: Rapidez.
- ▶ Desvantagem: complexidade do circuito para muitos bits.



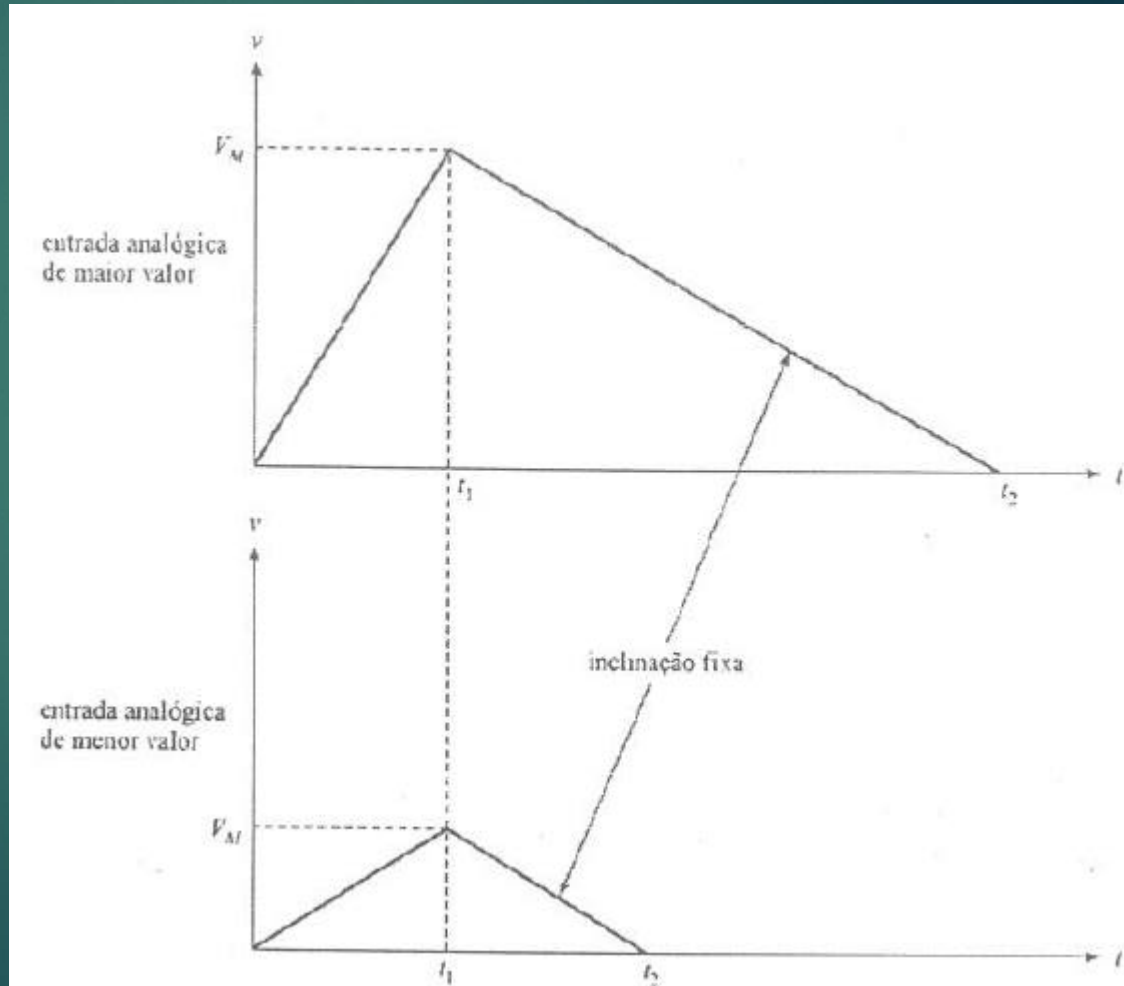
Conversor de dupla inclinação (integrador)

- ▶ Utiliza um amplificador operacional na configuração de integrador, um comparador, contador binário e lógica de controle.
- ▶ Primeiro há a integração do sinal de entrada e depois há a integração de uma tensão de referência.



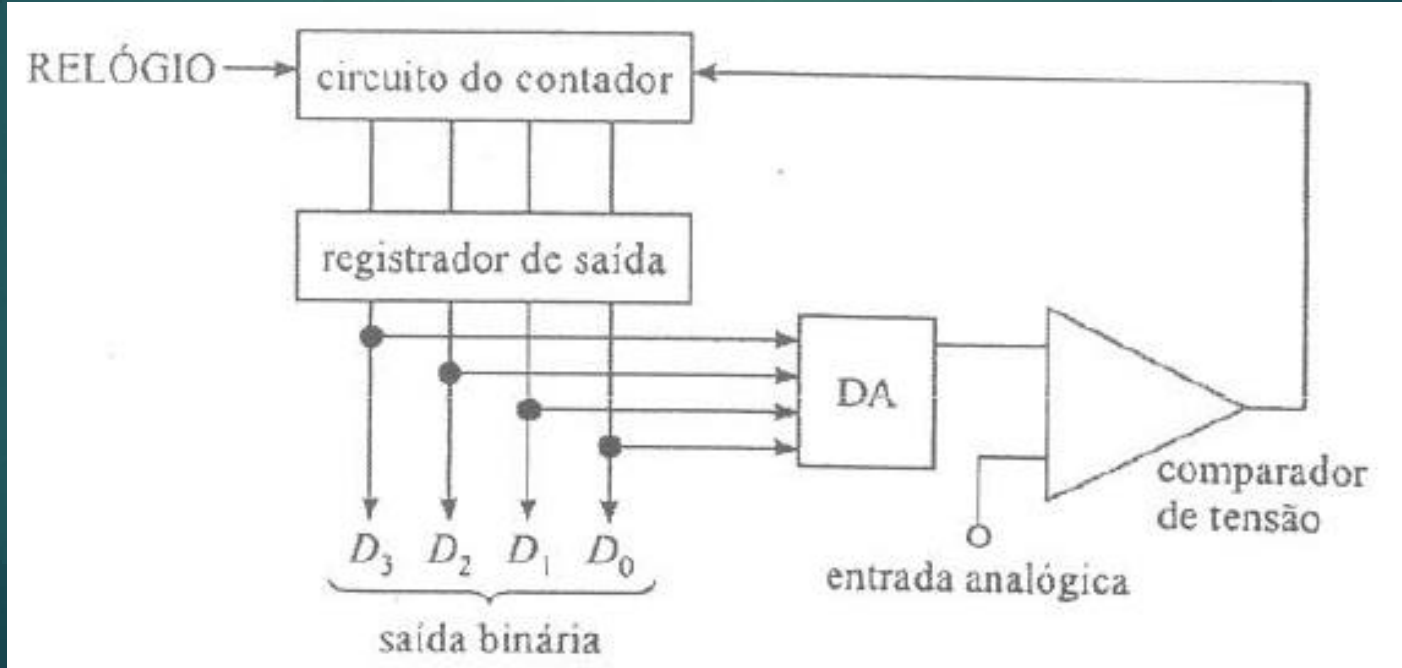
Conversor de dupla inclinação (integrador)

- ▶ Vantagens:
- ▶ Não há uso de conversores DA
- ▶ Não há relação da precisão com os componentes R1 e C.
- ▶ Faz-se a média do valor de entrada durante a integração.
- ▶ Desvantagem: Lento.



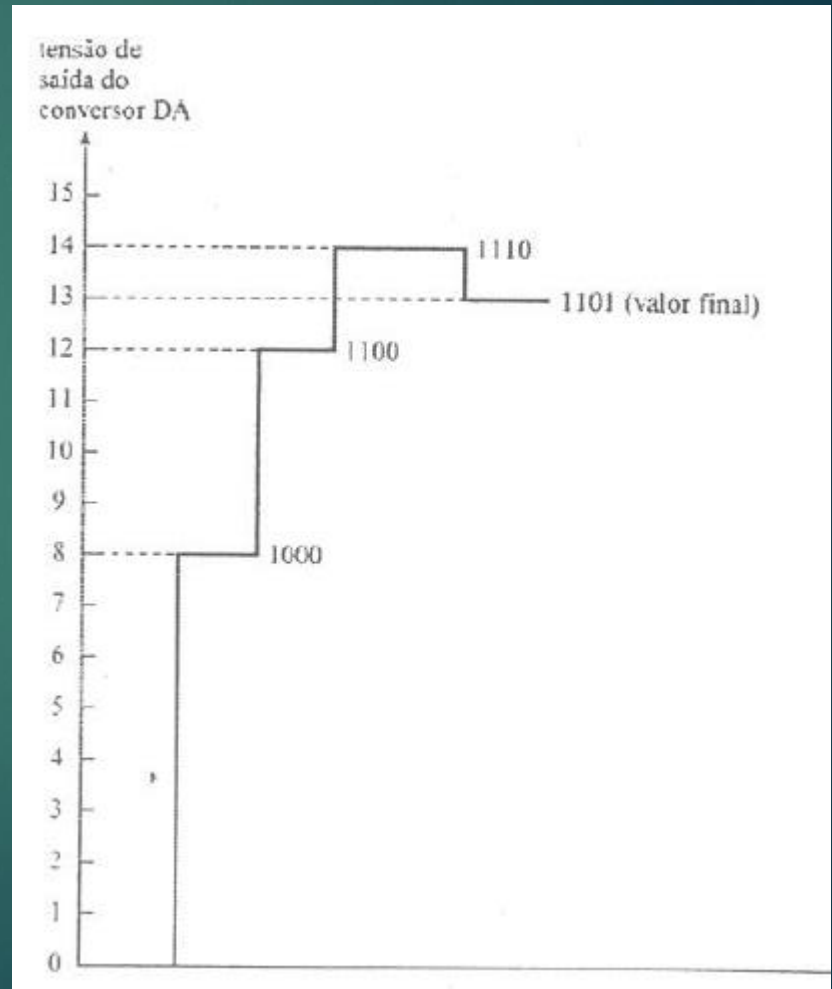
Conversor de aproximação sucessiva

- ▶ Mais popular atualmente em microcontroladores.
- ▶ Utiliza um comparador, um circuito contador / controle, registrador de saída e um conversor DA.



Conversor de aproximação sucessiva

- ▶ Exemplo: Entrada 13,5V
- ▶ Vantagem: para uma conversão de n bits, será necessário n ciclos de clock.
- ▶ Desvantagem: a precisão é afetada pelo conversor DA.



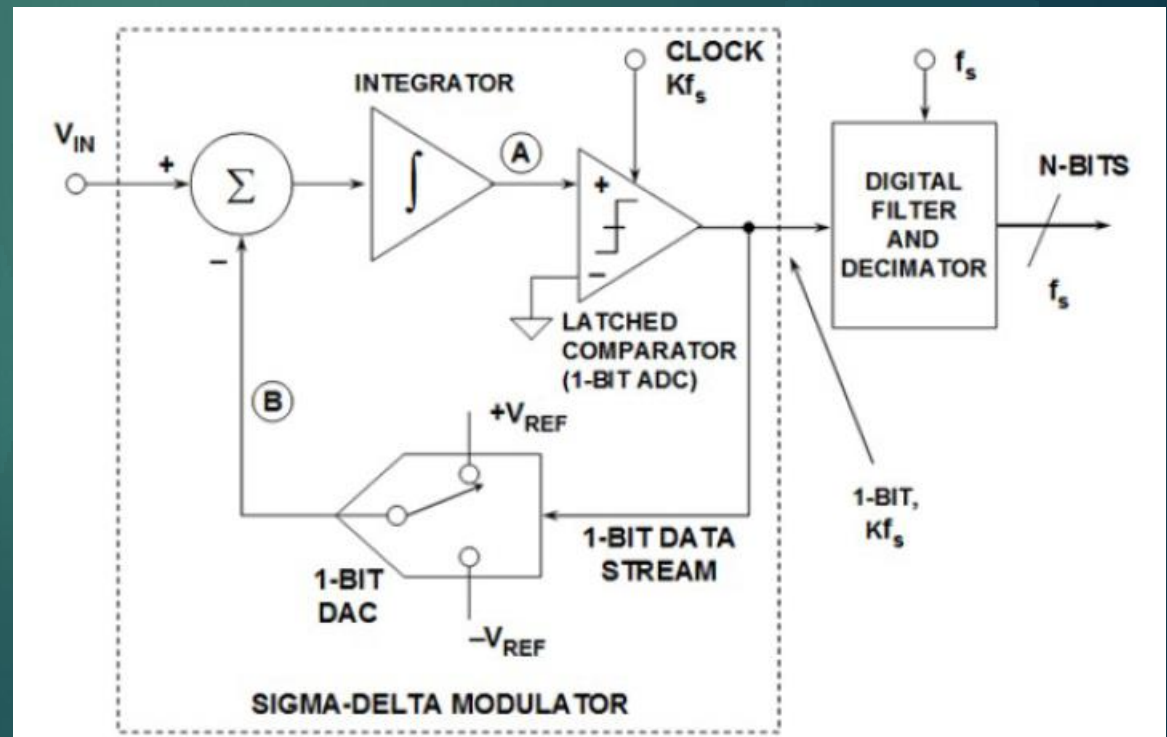
Conversor tensão-frequência

- ▶ É utilizado um oscilador controlado por tensão linear que produz um sinal com frequência de oscilação proporcional à tensão de entrada.
- ▶ O sinal em frequência é enviado ao um contador durante um tempo fixo, a contagem é proporcional a entrada.
- ▶ Não é possível projetar VCO's com precisões maiores que 0,1%.

Conversor Sigma-Delta

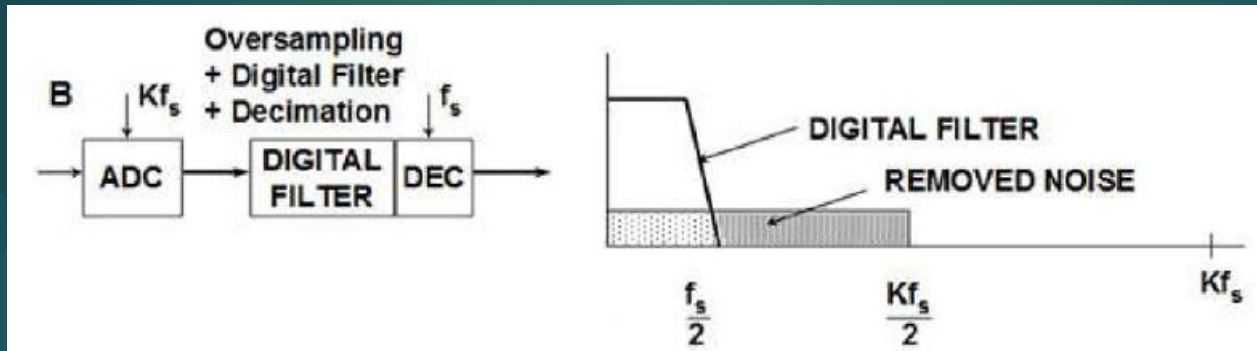
- ▶ Técnica que está sendo muito utilizada atualmente para aplicações que requerem precisão.
- ▶ A média da sequência de bits gerada pelo comparador é o valor digital correspondente ao valor de entrada.

Vantagem:
Muitos bits sem
ruído.
Desvantagem:
lento

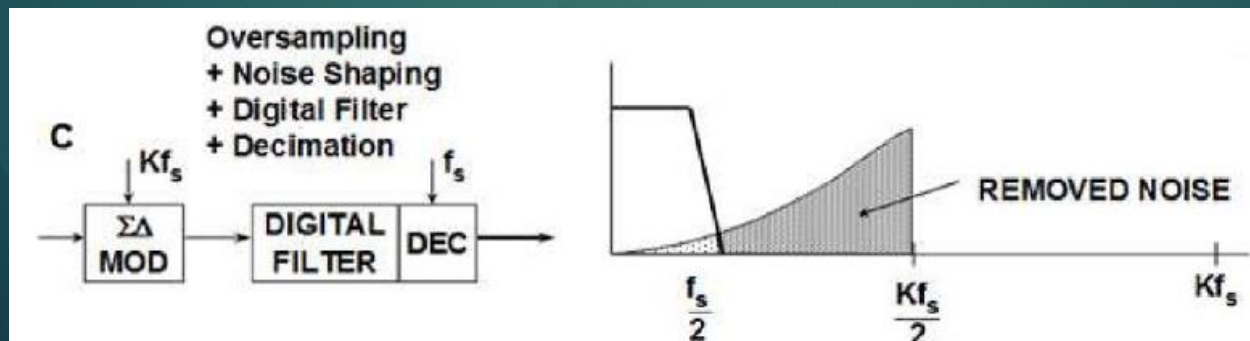


Conversor Sigma-Delta: Sobreamostragem

- Com a sobreamostragem o ruído será distribuído em uma faixa maior de frequência.



- O conversor conforma o espectro de ruído de quantização (noise shaping).



The background is a dark teal gradient. It features several semi-transparent teal circles of varying sizes. In the top right corner, there is a solid red vertical rectangle.

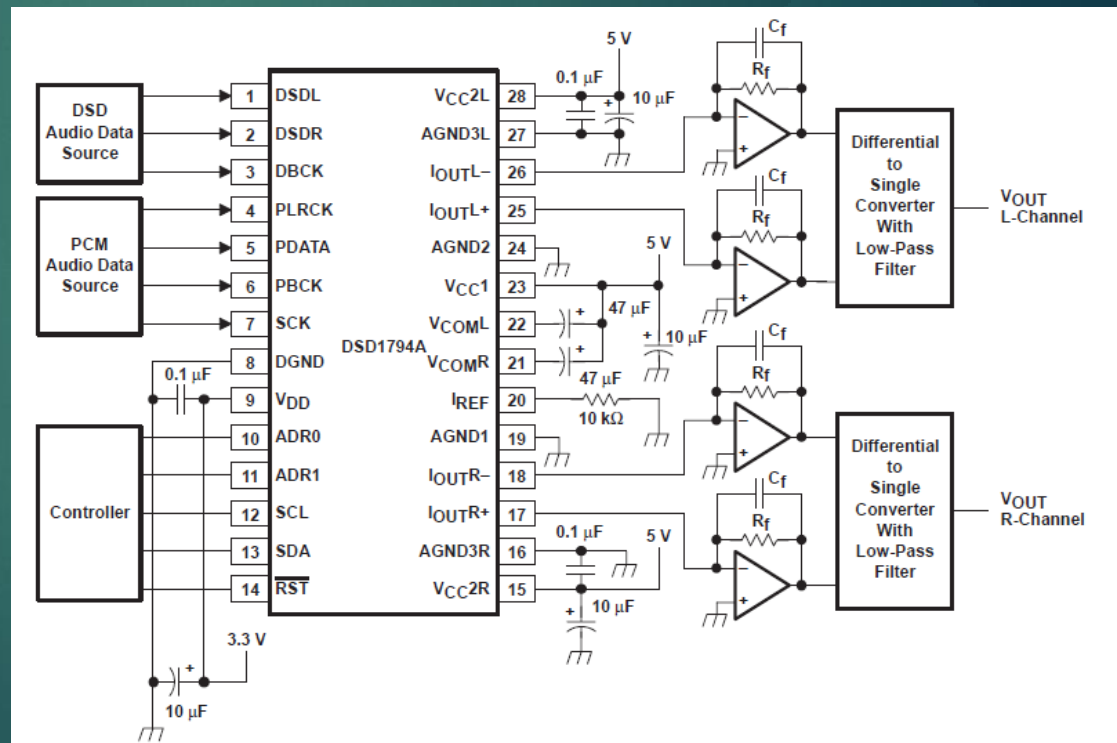
Alguns
exemplos...

Conversor A/D

- ▶ Velocidade x resolução
 - ▶ Velocidade – ADC Flash – GHz
 - ▶ Faixa de interesse DC – 200kHz
 - ▶ Sigma Delta – 24 bits com taxa de amostragem de 216kHz
 - ▶ PCM422 – Texas Instrument
 - ▶ \$9.45

Conversor D/A

- ▶ Velocidade x resolução
 - ▶ 200kHz – 5 μ s de settling time.
- ▶ DSD1794A – Texas Instrument
 - ▶ Sigma-delta
 - ▶ 24 bits
 - ▶ 192 kHz
 - ▶ Saída diferencial



Conversor A/D

- ▶ O que é necessário para esse conversor?
 - ▶ Velocidade ou precisão?
 - ▶ Velocidade: digitalização de vídeo.
 - ▶ Precisão alta: controle de pequenos sinais.
- ▶ Exemplo de ADC:
 - ▶ ADS1255 – Sigma-delta, 24 bits, até 30 kSamples/s e possui interface de comunicação SPI.
- ▶ Microcontroladores com AD interno de 10 ou 12 bits.

Conversor D/A

- ▶ O mais comuns são os que utilizam corrente chaveada.
- ▶ Há basicamente dois tipos de interface com microcontroladores:
 - ▶ Paralelos: demanda muitas linhas para aplicações com muitos bits.
 - ▶ Serial: exigem uma lógica maior para comunicação (SPI).
- ▶ Exemplo:
- ▶ TLV5616 – 12 bits, tensão de saída de $2 \times V_{ref}$, interface SPI.

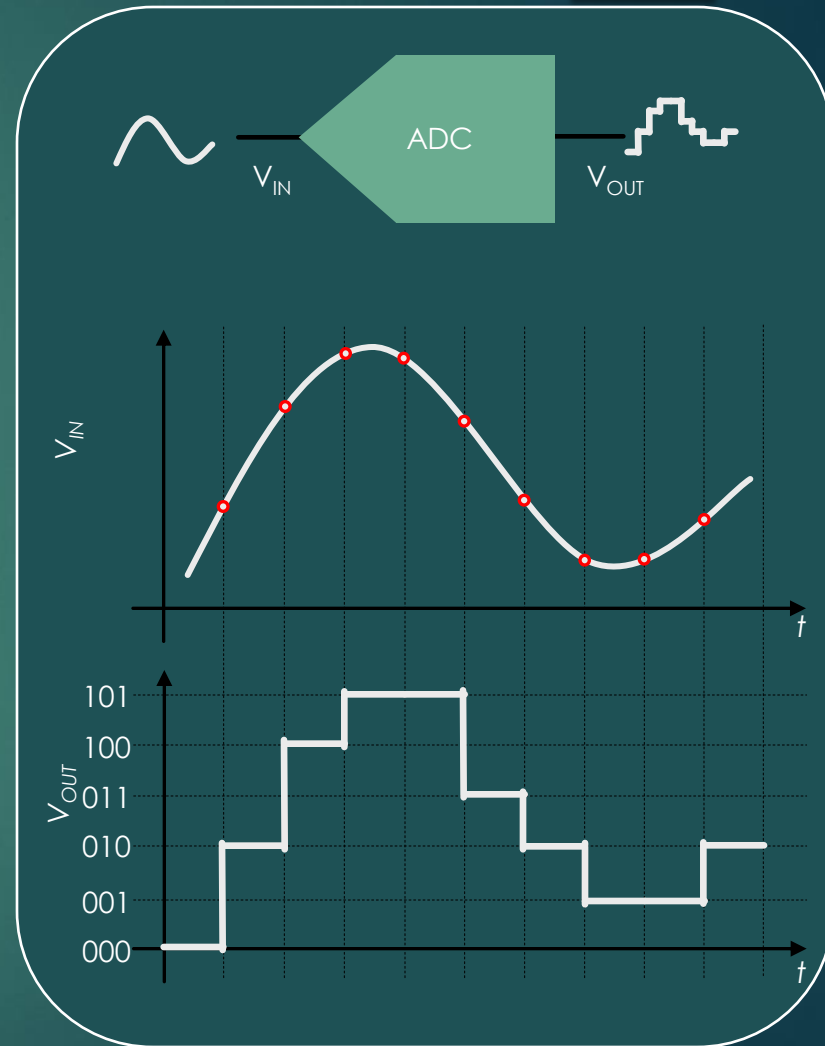
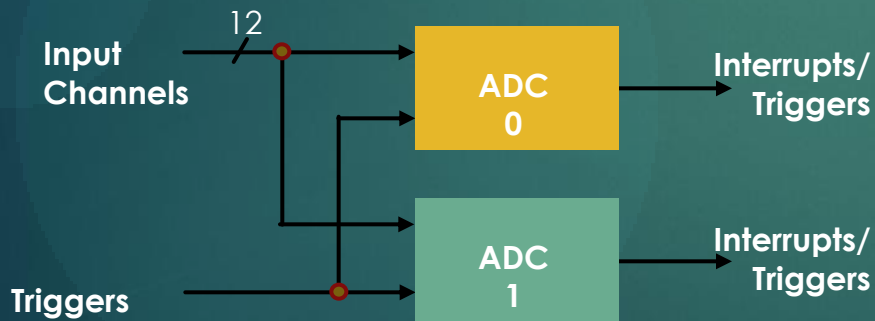
The background is a solid teal color. It features several abstract geometric shapes: a large, semi-transparent teal circle on the left side, a smaller teal circle in the top right, and a red rectangle in the top right corner. The text is positioned in the lower-left area of the slide.

E agora no Tiva...

TM4C123GH6PM

Analog-to-Digital Converter

- ▶ Tiva TM4C MCUs possui dois módulos ADC (ADC0 and ADC1) que podem ser utilizados para converter voltagens analógicas em valores digitais discretos.
- ▶ Cada módulos tem 12 bits de resolução
- ▶ Cada módulo pode operar independentemente e pode::
 - Executar sequências de aquisição diferentes.
 - Amostrar qualquer um dos 12 canais de entrada
 - Gerar interrupções e triggers



TM4C123GH6PM ADC Features

- ◆ 2x 12-bit 1MSPS ADCs
- ◆ 12 canais de entrada compartilhados
- ◆ Configuração de canal único ou diferencial
- ◆ Sensor de temperatura on chip
- ◆ Máxima taxa de amostragem de um milhão amostras/segundo (1MSPS).
- ◆ Referências fixas (VDDA/GNDA) devido a limitação de pinos.
- ◆ 4 sequencias programáveis por módulo ADC
- ◆ Pinos separados para energia
- ◆ Controle de trigger flexível
 - Controller/ software
 - Timers
 - Analog comparators
 - GPIO
- ◆ 2x até 64x médias por hardware
- ◆ 8 comparadores digitais por ADC
- ◆ 2 comparadores analógicos
- ◆ Optional phase shift in sample time, between ADC modules ... programmable from 22.5 ° to 337.5°



ADC Sample Sequencers

- ▶ São utilizados sequenciadores nos módulos do Tiva.
- ▶ Cada sequência de amostras pode coletar dados de múltiplas fontes de entrada sem necessidade de ser reconfigurados.
- ▶ Cada módulo tem 4 sequenciadores.
- ▶ Os sequenciadores são idênticos exceto pela quantidade de amostras e da profundidade da sua FIFO.
- ▶ Para a configuração dos sequenciadores é necessário indicar:
 - Fonte de entrada para cada amostra.
 - Modo: normal ou diferencial.
 - Geração de interrupção para cada amostra
 - Indicação que é a última amostra em cada sequência.

Sequencer	Number of Samples	Depth of FIFO
SS 3	1	1
SS 2	4	4
SS 1	4	4
SS 0	8	8