



**kroton**  
paixão por educar

**GRADUAÇÃO PRESENCIAL**  
**2º semestre- 2015**

**Sistemas Integrados Digitais**  
**Tecnologia em Aut. Industrial- 3º e**  
**4º. semestres**

**Profº. Ms.Cristiano Malheiro**

[cmalheiro@aedu.com](mailto:cmalheiro@aedu.com)

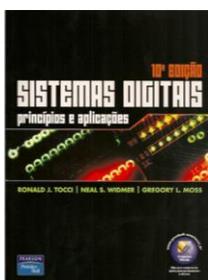
<http://cristianotm.wix.com/notasdeaula>

1



## Aula 4

### Bibliografia Básica Padrão



1. TOCCI, Ronald J.; NASCIMENTO, José L.; WIDMER, Neal S. **Sistemas Digitais- Princípios e Aplicações**. 10ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

Na nossa biblioteca: 2 exemplares - **621.381 T562s**



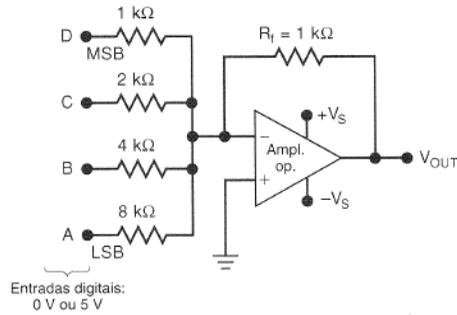
2. LOURENÇO, Antônio C. de; Eduardo, C. A. **Circuitos Digitais**. São Paulo: Érica, 2012.

Na nossa biblioteca: 11 exemplares – **621.3815 C524**  
9.ed.



## Aula 4

### Circuito Conversor D/A Somador Inversor



#### EXEMPLO 10-8

$$V_{OUT} = -(V_D + \frac{1}{2}V_C + \frac{1}{4}V_B + \frac{1}{8}V_A)$$

- (a) Determine o peso de cada bit de entrada da Fig. 10-6(a).  
 (b) Substitua  $R_f$  por  $250 \Omega$  e determine a saída de fundo de escala.

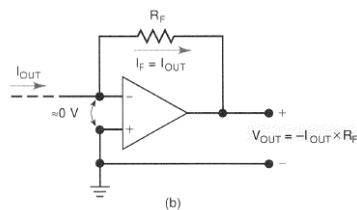
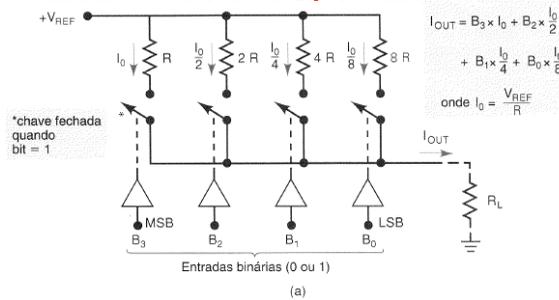
3

kroton  
paixão por educar



## Aula 4

### Circuito Conversor D/A com saída em corrente



4

kroton  
paixão por educar



## Aula 4

### Circuito Conversor D/A R/2R

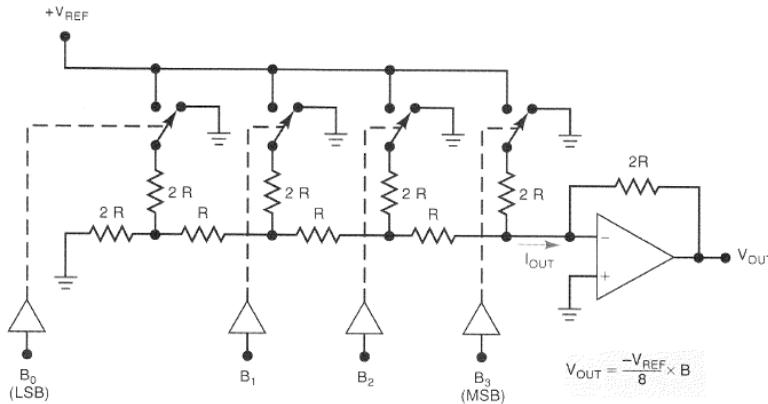


Fig. 10-9 Conversor D/A básico do tipo R/2R.

5

kroton  
paixão por educar



## Aula 4

### Circuito Conversor D/A R/2R

#### EXEMPLO 10-10

Considere que  $V_{REF} = 5\text{ V}$  para o conversor D/A na Fig. 10-9. Quais são a resolução e a saída de fundo de escala deste conversor?

#### Solução

A resolução é igual ao peso do LSB, o qual podemos determinar fazendo  $B = 0001 = 1$  na equação (10-6):

$$\begin{aligned} \text{resolução} &= \frac{-5\text{ V} \times 1}{8} \\ &= -0,625\text{ V} \end{aligned}$$

6

kroton  
paixão por educar



## Aula 4

### Circuito Conversor D/A R/2R

A saída de fundo de escala ocorre para  $B = 1111 = 15_{10}$ .  
Novamente usando a equação (10-6),

$$\begin{aligned}\text{fundo de escala} &= \frac{-5 \text{ V} \times 15}{8} \\ &= -9,375 \text{ V}\end{aligned}$$

7



## Aula 4

### Conversores D/A em CI

#### 10-5 UM CIRCUITO INTEGRADO DE CONVERSOR D/A

O AD7524, um CI CMOS disponível de diversos fabricantes de CIs, é um conversor D/A de oito bits que utiliza uma rede  $R/2R$ . Seu símbolo é apresentado na Fig. 10-10(a). Este conversor D/A tem uma entrada de oito bits que pode ser armazenada internamente sob o controle das entradas de Seleção do Chip (*Chip Select* —  $\overline{CS}$ ) e de ESCRITA (*WRITE* —  $\overline{WR}$ ). Quando estas duas entradas de controle estão em BAIXO, as entradas digitais de dados,  $D_7$ – $D_0$ , produzem uma corrente de saída analógica *OUT 1* (o pino *OUT 2* normalmente é aterrado). Quando uma das entradas de controle vai para ALTO, o dado digital de entrada é armazenado, e a saída analógica permanece no nível correspondente ao dado digital armazenado. Neste estado de armazenamento, alterações subsequentes na entrada digital não têm nenhum efeito sobre *OUT 1*.

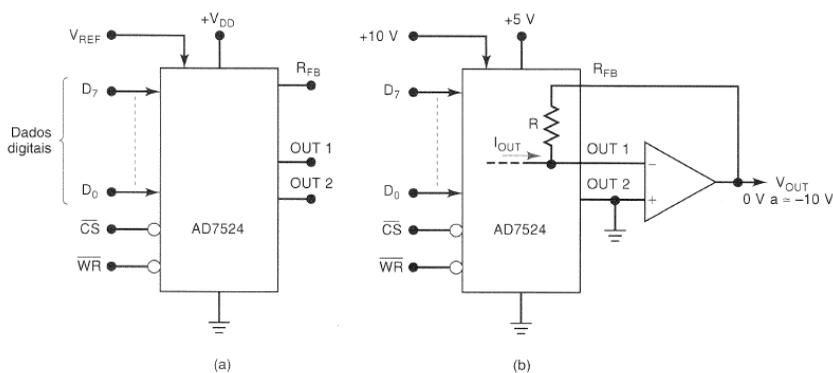
8





## Aula 4

### Conversores D/A em CI



**Fig. 10-10** (a) Conversor D/A de oito bits AD7524 com entradas de armazenamento; (b) AD7524 conectado para produzir uma tensão analógica na saída variando de 0 a aproximadamente  $-10\text{ V}$ .

9

**kroton**  
paixão por educar



## Aula 4

### 10-6 APLICAÇÕES DE CONVERSORES D/A

Conversores D/A são usados sempre que a saída de um circuito digital deve fornecer uma tensão ou corrente analógica para acionar um dispositivo analógico. Algumas das aplicações mais comuns estão descritas nos parágrafos seguintes.

#### Controle

A saída digital de um computador pode ser convertida em um sinal de controle analógico para ajustar a velocidade de um motor ou a temperatura de um forno, ou controlar quase qualquer variável física.

#### Teste Automático

Computadores podem ser programados para gerar os sinais analógicos (através de um conversor D/A) necessários aos testes de circuitos analógicos. A resposta analógica da saída do circuito sob teste normalmente será convertida para um valor digital por um conversor A/D e levada para o computador para ser armazenada, apresentada e algumas vezes analisada.

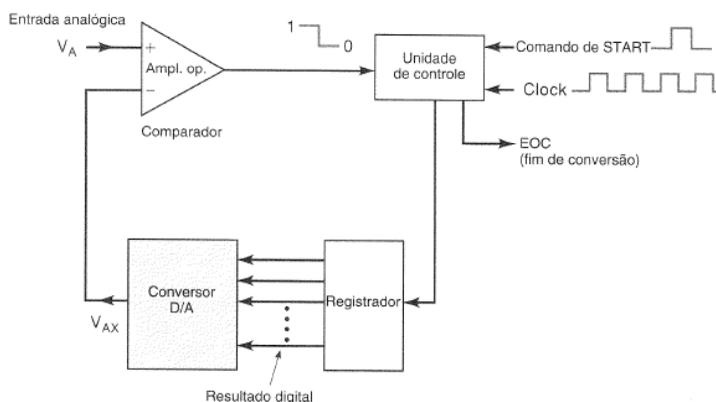
10

**kroton**  
paixão por educar



## Aula 4

### Conversor A/D



11



## Aula 4

### Conversor A/D

1. O pulso START inicia a operação.
2. Numa taxa determinada pelo clock, a unidade de controle modifica continuamente o número binário que está armazenado no registrador.
3. O número binário no registrador é convertido para uma tensão analógica,  $V_{AX}$ , pelo conversor D/A.
4. O comparador compara  $V_{AX}$  com a entrada analógica  $V_A$ . Enquanto  $V_{AX} < V_A$ , a saída do comparador fica em ALTO. Quando  $V_{AX}$  excede  $V_A$  pelo menos por uma quantidade igual a  $V_T$  (tensão de limiar), a saída do comparador vai para BAIXO e pára o processo de modificar o número do registrador. Neste ponto,  $V_{AX}$  é uma boa aproximação para  $V_A$ . O número digital no registrador, que é o digital equi-

12



## Aula 4

### Conversor A/D

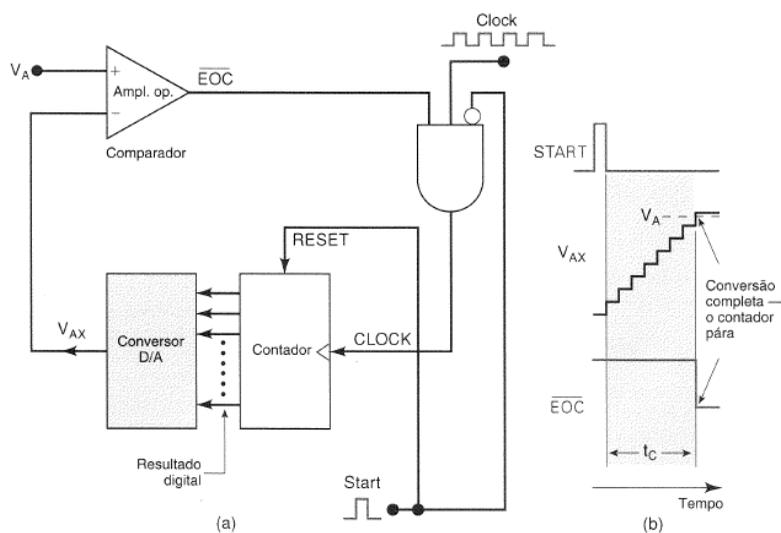
- valente de  $V_{AX}$ , também é o equivalente digital aproximado de  $V_A$ , dentro da resolução e da precisão do sistema.
5. A lógica de controle ativa o sinal de fim de conversão,  $\overline{EOC}$ , quando a conversão está completa.

As diversas variações deste esquema de conversão A/D diferem principalmente na maneira pela qual a seção de controle modifica continuamente os números no registrador. Fora isso, a idéia básica é a mesma, com o registrador mantendo a saída digital desejada quando o processo de conversão está completo.

13

  
 kroton  
 paixão por educar


## Aula 4


  
 otton  
 paixão por educar



## Aula 4

### Exercícios:

4. Para o conversor ADC, suponha os seguintes valores: 10 bits,  $f_{clk}=1\text{KHz}$ ,  $V_{FS}=10,23\text{V}$  e  $V_T=0,1\text{mV}$ . Determine:
  - a) O equivalente obtido para  $V_A=3,788\text{V}$ ;
  - b) O tempo de conversão;
  - c) A resolução desse conversor.
5. Para o mesmo ADC, determine a faixa de tensão de entrada analógica que produziria o mesmo resultado digital de  $0101111101_2=381_{10}$ .
6. Um ADC de rampa digital de oito bits com uma resolução de  $40\text{mV}$  usa uma frequência de clock de  $25\text{MHz}$  e um comparador  $V_T$  com  $1\text{mV}$ . Determinar os seguintes valores:
  - a) A saída digital para  $V_A=6,0\text{V}$ ;
  - b) A saída digital para  $6,035\text{V}$ ;
  - c) Os tempos máximo e médio de conversão deste ADC.
7. Para o conversor DAC com rede R-2R, calcule a resolução e a saída de fundo de escala desse conversor. Utilize a relação  $V_{out}=(5/8)*B$ .

15



## Aula 4

### Exemplos:

---

#### EXEMPLO 10-13A

Considere os seguintes valores para o conversor A/D da Fig. 10-13: frequência do clock =  $1\text{MHz}$ ;  $V_T = 0,1\text{mV}$ ; o conversor D/A tem saída de F.S. =  $10,23\text{V}$  e uma entrada de 10 bits. Determine os seguintes valores.

- (a) O equivalente digital obtido para  $V_A = 3,728\text{V}$
- (b) O tempo de conversão
- (c) A resolução deste conversor

#### Solução

- (a) O conversor D/A tem uma entrada de 10 bits e uma saída de fundo de escala de  $10,23\text{V}$ . Assim, o número total

16





## Aula 4

### Exemplos:

de degraus possíveis é  $2^{10} - 1 = 1023$ , e portanto o tamanho do degrau é

$$\frac{10,23 \text{ V}}{1023} = 10 \text{ mV}$$

Isto significa que  $V_{A/D}$  aumenta em degraus de 10 mV conforme o contador avança a partir de 0. Como  $V_A = 3,728 \text{ V}$  e  $V_T = 0,1 \text{ mV}$ ,  $V_{A/D}$  deve alcançar 3,7281 V ou mais para o comparador chavear para BAIXO. Isto demandará

$$\frac{3,7281 \text{ V}}{10 \text{ mV}} = 372,81 = 373 \text{ degraus}$$

Então, ao final da conversão, o contador manterá o equivalente binário de 373, que é 0101110101. Este é o equivalente digital desejado de  $V_A = 3,728 \text{ V}$ , conforme foi produzido por este conversor A/D.

- (b) Trezentos e setenta e três degraus foram necessários para completar a conversão. Logo, 373 pulsos de clock ocorreram numa taxa de um por microssegundo. Isto resulta num tempo total de conversão de 373  $\mu\text{s}$ .
- (c) A resolução deste conversor é igual ao tamanho do degrau do conversor D/A, que é 10 mV. Em porcentagem é  $1/1023 \times 100\% \approx 0,1\%$ .

17



## Bibliografia desta aula:

1. TOCCI, Ronald J.; NASCIMENTO, José L.; WIDMER, Neal S. **Sistemas Digitais- Princípios e Aplicações**. 10ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

18

