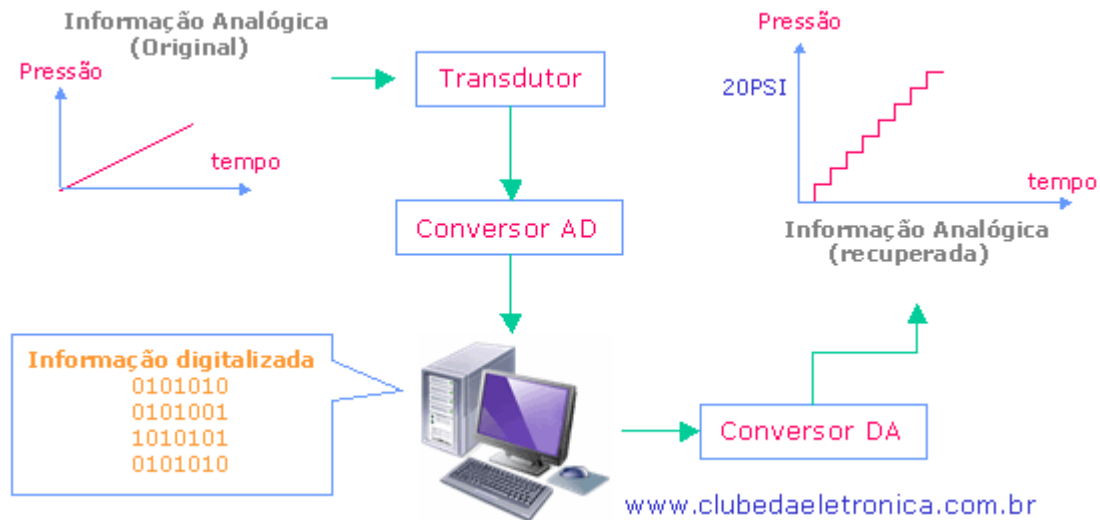


9.0 Conversores DA

Um DAC (Digital-to-Analog Converter) é um conversor digital analógico, comumente usado em situações onde há necessidade de converter um sinal um sinal que se apresenta na forma digital e apresenta-lo em sua forma original, ou seja, analógico.

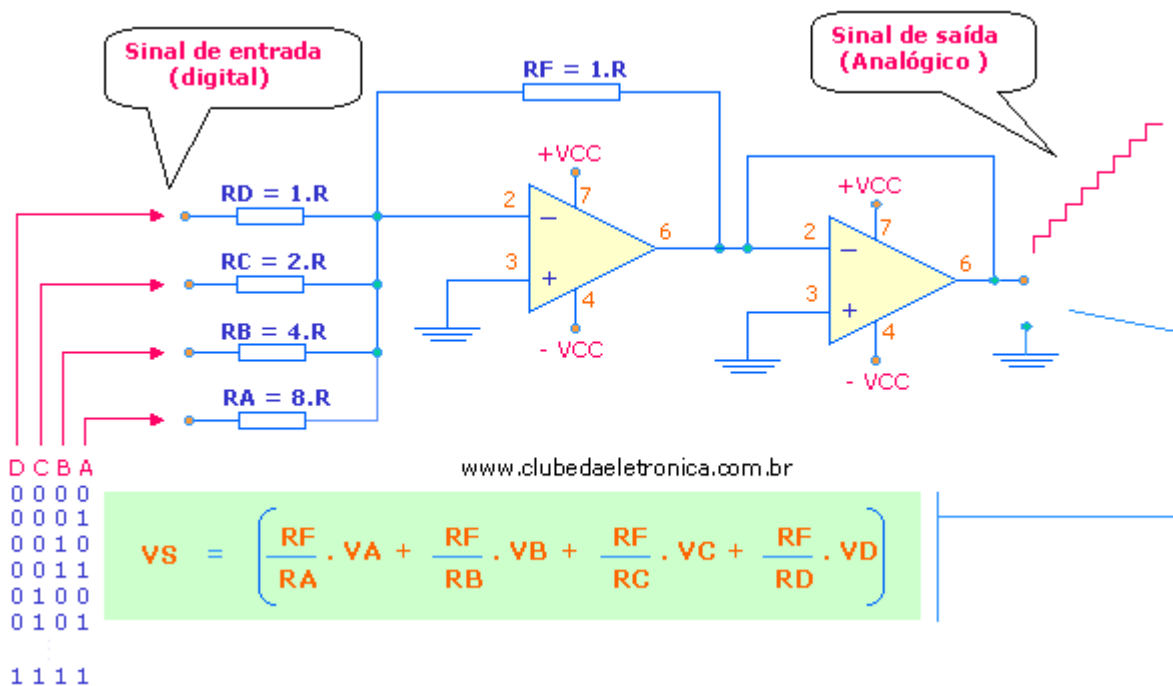


Um conversor digital analógico simples com saída em tensão

Podemos construir um conversor DA de 4 bits, com auxílio de amplificadores operacionais, obviamente há necessidade de 4 entradas, uma vez que desejamos um conversor de 4 bits.

A configuração abaixo, já é bastante difundida na eletrônica analógica, trata-se de um circuito somador inversor, a diferença esta nos resistores de entrada, que seguem o código 8421, esta seqüência deve ser seguida para obtermos uma saída menos irregular. Neste caso, o objetivo não é obter ganho então o resistor RF terá o valor de 1.R, onde R ficará a escolha do projetista.

A segunda parte do circuito é um buffer, que neste caso, tem a função de inverter a saída do somador que é decrescente para um sinal crescente.



Considerações sobre as entradas

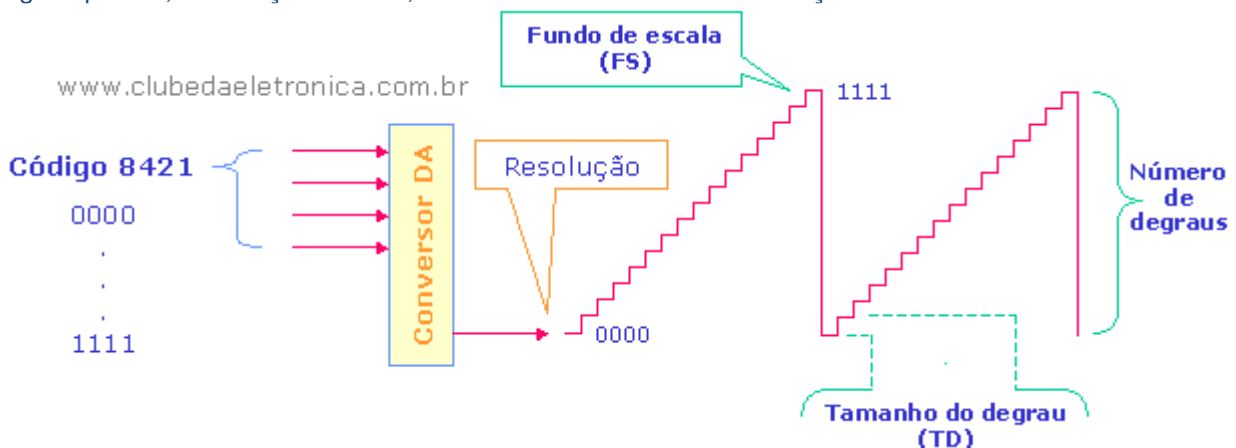
As entradas A, B, C e D são as entradas digitais que desejamos converter, sendo A o LSB (Bit Menos Significativo) e D o MSB (Bit mais significativo). Assim, essas entradas só podem ter valores 0 ou 1 em termos lógicos. O valor físico depende do projeto do circuito. Aqui, para fins de exemplo, consideramos uma entrada TTL, ou seja, 0 = 0V e 1 = 5V.

A tabela abaixo apresenta a relação entre a entrada digital e a saída analógica.

D [8]	C [4]	B [2]	A [1]	VS (V)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	LSB 0.625
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	MSB 9.375

Considerações sobre as saídas

Alguns pontos, em relação à saída, devem ser levados em consideração. Vamos à eles:



- ❑ **Número de degraus (ND)** É a quantidade máxima de degraus que um conversor pode chegar para uma determinada entrada digital. No exemplo, a quantidade de degraus é 15.

$$n^{\circ} \text{ degraus} = 2^{n^{\circ} \text{ Bits}} - 1$$

- ❑ **Tamanho do degrau (TD)** É a menor saída em menor saída que o conversor fornece, no exemplo, este valor é de 0,625V.
- ❑ **Fundo de escala (FS)**

É o máximo valor analógico que o conversor DA pode fornecer, ocorre quando todos os sinais de entrada estiverem em nível lógico alto. No exemplo, o fundo de escala é 9,375V.

$$\text{Fundo de escala} = \text{Tamanho do degrau} \cdot \text{Número de degraus}$$

- Resolução (R%) É a menor alteração percentual que pode ocorrer na saída analógica como resultado de uma mudança digital. A resolução de um conversor pode ser calculada por:

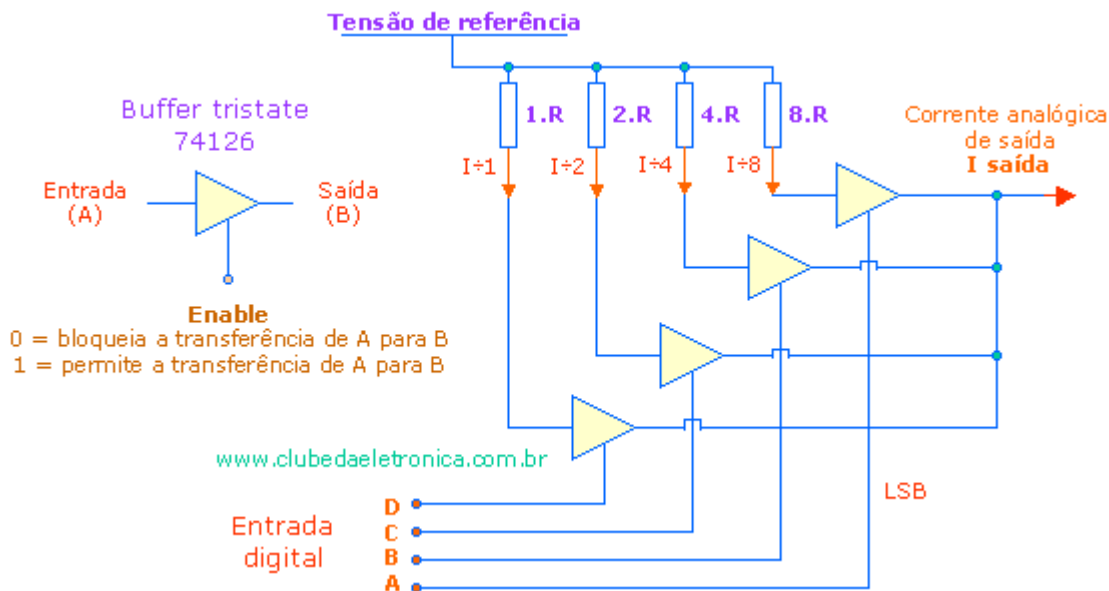
$$\text{Resolução (\%)} = \frac{1}{2^{n^{\circ} \text{ Bits}} - 1} \cdot 100$$

Praticando...

- Um conversor de 10 bits que produz 5mV para sua entrada digital menos significativa. Pergunta-se:
 - Quantos degraus este conversor apresentará em sua saída?
 - Qual o fundo de escala?
 - Qual a resolução deste conversor DA?

Conversor DA simples com saída em corrente

Transmitir um sinal em nível de tensão ao longo de uma linha, não é muito interessante, isso porque, ocorre queda de tensão, devido a impedância da linha. Assim, é muito comum transmitir um sinal de corrente ao invés de tensão. O circuito abaixo é um conversor D/A com saída em corrente.



Seu funcionamento é bastante simples, Note a tensão de referência conectada a uma rede resistiva que também segue o código 8421. Os buffers têm a função de controlar a corrente que será somada à saída, ou seja, só permite a passagem se a entrada digital estiver em nível lógico alto.

Exemplo:

Usando a tensão de referência como 12V e o resistor R de 1000Ω, teremos as seguintes correntes:

Buffer D	Buffer C	Buffer B	Buffer A
$I = V_{\text{referência}} \div R$	$I = V_{\text{referência}} \div R$	$I = V_{\text{referência}} \div R$	$I = V_{\text{referência}} \div R$
$I = 12V \div 1000\Omega$	$I = 12V \div 2000\Omega$	$I = 12V \div 4000\Omega$	$I = 12V \div 8000\Omega$
$I = 12mA$	$I = 6mA$	$I = 3mA$	$I = 1,5mA$

Se o código binário 1010 for digitado, os buffers D e B serão habilitados, permitindo a transferência da corrente, como as saídas estão interligadas as correntes se somarão (LKC) e tem-se:

$$I_{saída} = I_D + I_B$$

$$I_{saída} = 12mA + 3mA$$

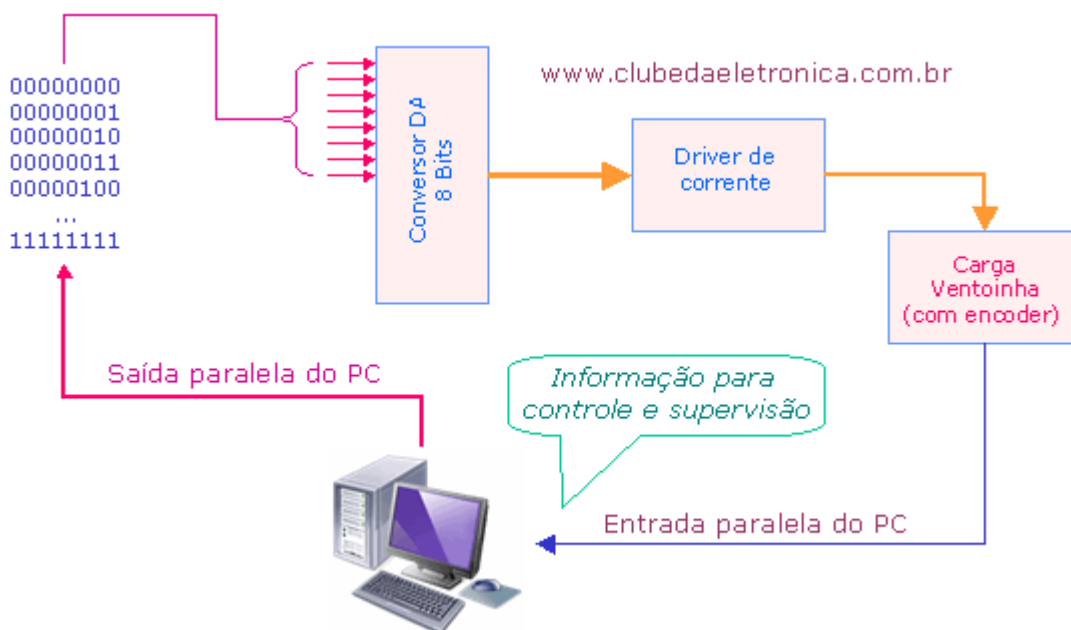
$$I_{saída} = 15mA$$

Se todas as entradas estiverem altas, teremos o fundo de escala de $12mA + 6mA + 3mA + 1,5mA = 22,5mA$. Assim, o sinal de saída será de 1,5mA a 22,5mA.

Aplicação interessante

O circuito abaixo controla a velocidade de uma ventoinha através de um computador, onde o usuário entra com a informação, por exemplo, um número decimal. Com um software adequado e o devido endereçamento, envia-se esse número na forma binária a saída paralela do PC, que esta conectada em um conversor de 8bits, obviamente que o conversor não consegue fornecer corrente à carga, daí a necessidade de amplificá-la.

A ventoinha atinge plena velocidade, 1000rpm, quando todas as entradas do conversor estiverem em nível lógico alto, o que provoca na carga uma corrente de 500mA.



Usando uma ventoinha com encoder podemos enviar o sinal à entrada do PC e assim monitorar seu funcionamento.

Praticando...

Em relação ao circuito representado acima, pergunta-se:

- A) Se o usuário entrar com o número decimal 168, qual será a velocidade do motor?
- B) Qual o código esta sendo convertido para esta velocidade?
- C) Qual corrente é drenada pelo motor nesta velocidade?

Circuito integrado conversor Digital Analógico AD 7524

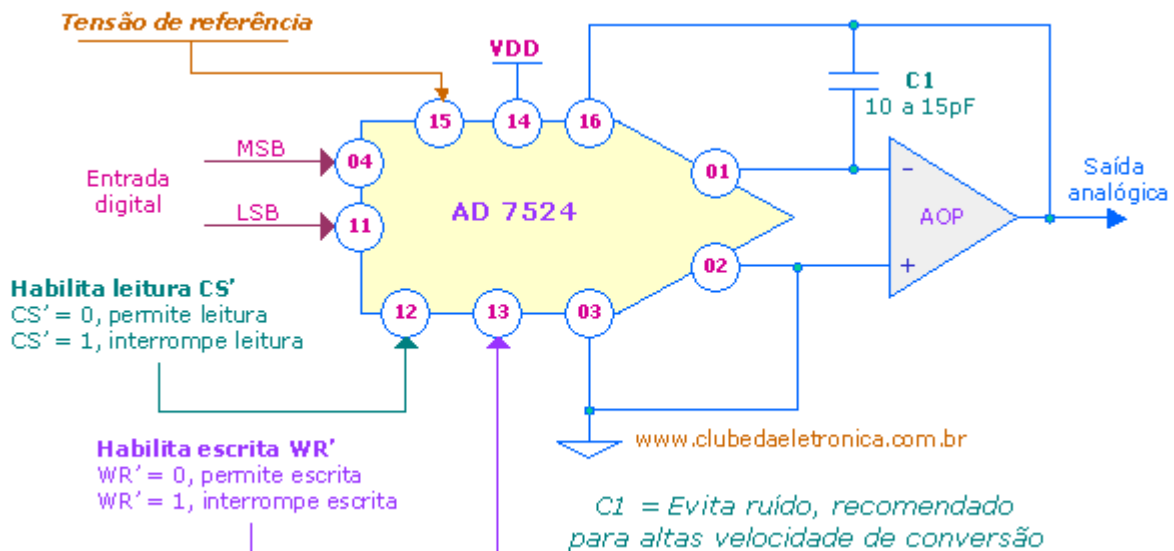
Hoje, há no mercado inúmeros circuitos integrados construídos com o objetivo de converter um sinal digital em um sinal analógico.

O Circuito Integrado AD7524 é um conversor DA, de 8 bits, construído com a tecnologia CMOS, é de baixo custo e foi projetado para interface direta para a maioria dos microprocessadores.



Arranjo típico para o conversor AD7524

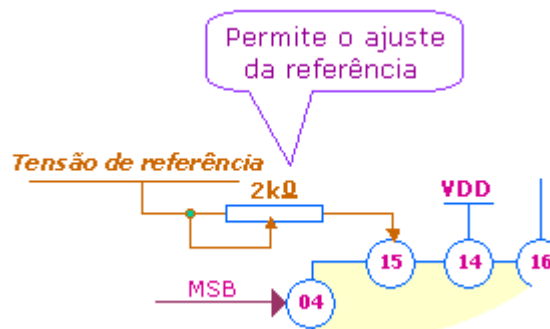
O esquema típico para o AD 7524 é mostrado abaixo, note que um amplificador operacional foi conectado à saída, isto, porque a sua saída é em corrente e o amplificador converte a corrente em tensão.



O terminal 15 do AD7524 é a tensão de referência que, pode ser ajustada de acordo com as necessidades do projetista, podendo variar de - 25V a +25V, ou simplesmente fixa-la em um valor que será próximo ao fundo de escala.

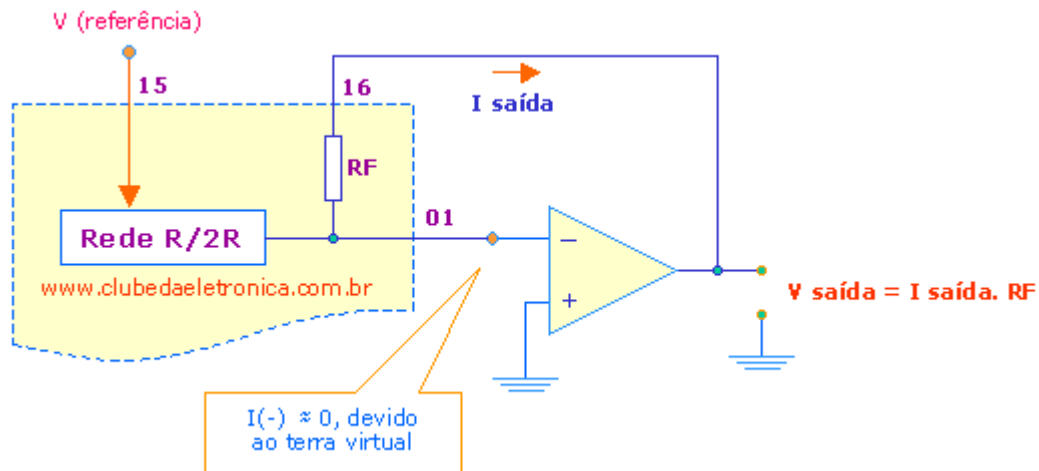
O tamanho do degrau pode ser calculado pela seguinte equação:

$$TD = \frac{V \text{ (referência)}}{2^{n^{\circ} \text{ Bits}} - 1}$$



Assim, se a referência escolhida for 5V teremos, $5V \div 255 = 19,61mV$, que equivale ao tamanho do degrau, se a referência for 10V então temos, $10V \div 255 = 39,22mV$, ou seja, um degrau maior, conseqüentemente piora a resolução.

A alimentação VDD (pino 14) pode ser de 5,0 a 15V, lembrando que o amplificador operacional também pode ser alimentado com tensões entre 5,0 e 15V, o que facilita a montagem.



O amplificador operacional conectado à saída do AD7524 está configurado como, uma Fonte de Tensão Controlada por Corrente (FTCC), onde o resistor de realimentação (RF) é interno, necessitando somente do operacional.

Referências bibliográficas:

- ❑ Ivan V. Idoeta / Francisco G. Capuano. Elementos de Eletrônica Digital. São Paulo: Erica, 1986.
- ❑ Tocci, Ronald J.; Widmer, Neal S.; Moss, Gregory L. Pearson. Sistemas Digitais - Princípios e Aplicações. Person, 2008.
- ❑ Antonio Carlos de Lourenço / Eduardo Cesar Alves. Circuitos digitais. São Paulo: Erica, 1986.

“Se queres prever o futuro, estuda o passado.”
Confúcio