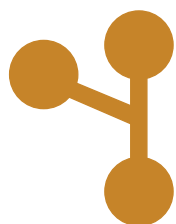


REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA



# robótica®

automação  
controlo  
instrumentação

**ARTIGO CIENTÍFICO**

- Robot móvel de desvio de obstáculos baseado em eletrónica discreta
- Aplicação de inspeção em ambiente industrial com robots colaborativos

**VOZES DE MERCADO**

- Tendências energéticas e tecnológicas do setor industrial em Portugal

**INSTRUMENTAÇÃO**

- Aparelhos de medição de posição angular

**DOSSIER SOBRE A IMPORTÂNCIA DO HIDROGÉNIO NA INDÚSTRIA**

- A fabricação de peças baseada na tentativa e erro
- Seixal implementa projeto pioneiro
- Políticas para a implantação de projectos de hidrogénio
- Hidrogénio, a alternativa eficiente
- Desafios tecnológicos para a indústria de hidrogénio verde

**ESPECIAL SOBRE A INDÚSTRIA DAS MÁQUINAS-FERRAMENTAS**

- O que é a Tecnologia LBC da AMADA?
- Interfaces de comando do futuro
- HANNOVER MESSE 2023 apresenta soluções industriais para a conectividade e neutralidade climática
- Novo serviço de avaliação de segurança e conformidade para conjuntos de máquinas
- Metalurgia: digital e voltada para o futuro



**EPL**  
MECATRÓNICA & ROBÓTICA

[epl-si.com](http://epl-si.com)












# Aparelhos de medição de posição angular

## 1. "RESOLVER"

Dá-se o nome de "resolver" ao dispositivo destinado a medir a posição angular de máquinas rotativas baseado numa ligação magnética entre uma bobina móvel e duas bobinas fixas, ortogonais. Também é usado para medir a velocidade de rotação de máquinas. Este transdutor, essencialmente analógico, foi desenvolvido há mais de 60 anos para aplicações militares, tendo sido aproveitado pelas indústrias que exigem robustez e fiabilidade, e foi entretanto sujeito a diversas melhorias.

O "resolver" tem o aspecto de um pequeno motor eléctrico, mas basicamente é um transformador: dispõe de um primário, no rotor, e de dois secundários, no estator. Os enrolamentos secundários estão colocados ortogonalmente. A tensão induzida pelo primário nos secundários tem uma amplitude sinusoidal que é função da posição do rotor, estando desfasadas de 90°, pelo que uma das saídas tem o nome de saída *seno* e a outra de saída *co-seno*.

Nos dispositivos antigos a corrente eléctrica fornecida ao primário tinha de passar através de um colectador constituído por dois anéis e escovas. A fim de eliminar este inconveniente, esta transferência de energia do exterior para o primário faz-se hoje através de um transformador rotativo. Na Figura 1 esquematiza-se uma representação dos enrolamentos de um "resolver" deste tipo.

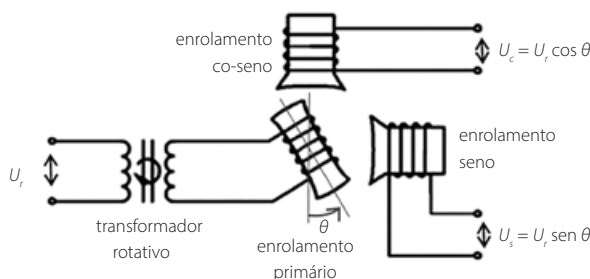


Figura 1. Esquema de princípio de um "resolver".

Repare-se que a tensão de alimentação, também chamada tensão de referência devido à aplicação que este dispositivo tem em controlo, é necessariamente uma tensão alternada sinusoidal no tempo. Na Figura 1 apenas estão indicadas as amplitudes destas tensões, e são as amplitudes que variam sinusoidalmente em função da posição angular.

O enrolamento primário está mecanicamente ligado ao veio do "resolver". Existe normalmente gravada uma marca a indicar quando é que o veio se encontra na posição  $\theta = 0^\circ$ . Quando tal acontece tem-se, atendendo às saídas indicadas na Figura 1,  $U_s = 0$  e  $U_c = U_i$ .

O "resolver" é um sensor de posição absoluto. A sua saída depende da posição do veio, independentemente de quaisquer valores anteriores. Mesmo que falte a energia eléctrica de alimentação ( $U_i$ ), o dispositivo recomeça a indicar correctamente após o regresso da energia.

Actualmente estes dispositivos contêm no seu invólucro um microprocessador que permite dispor de uma saída digital pronta para ligação em rede.

O "resolver" pode também ser utilizado para medir velocidades de rotação de máquinas. Nesta aplicação obtêm-se dois sinais sinusoidais em quadratura cuja frequência é proporcional à velocidade de rotação da máquina. A existência de dois sinais em quadratura permite determinar qual o sentido de rotação.

Muitas vezes o veio do "resolver" está ligado, por meio de uma roda dentada a uma correia também dentada que está acoplada ao objecto do qual se pretende determinar a posição linear. É uma outra aplicação vulgar deste dispositivo.

Referem-se, a seguir, alguns parâmetros típicos de um "resolver":

- tensão de referência  $U_i = 8,5$  V (valor eficaz), frequência  $f = 1000$  Hz;
- corrente de entrada 14,0 mA;
- tensões secundárias  $U_s = 8,5$  V e  $U_c = 8,5$  V (valores eficazes);
- resistência (em CC) do rotor: 18  $\Omega$ ;
- resistência (em CC) do estator 120  $\Omega$ ;
- incerteza na posição:  $\pm 1'$  (minuto de grau).

Além de transdutor de posição, o "resolver" tem outras aplicações importantes. No exemplo que se apresenta na Figura 2, o "resolver" B segue a posição do "resolver" A. Por esta razão dá-se-lhe o nome de seguidor ("follower"). A explicação é resumidamente a seguinte: o "resolver" é um dispositivo bidirecional que, fornecendo tensão aos enrolamentos do estator, faz aparecer uma tensão induzida no rotor. Assim, no rotor de B a tensão  $E(R_2, R_4)$  será dada por

$$E(R_2, R_4) = E(S_2, S_4) \cos \theta_B - E(S_1, S_3) \sin \theta_B \quad (1)$$

O sinal – deve-se à inversão de fase em  $(S_1, S_3)$  de B. As fases estão marcadas com um ponto. Tem-se então

$$E(R_2, R_4) = U \sin \theta_A \cos \theta_B - U \cos \theta_A \sin \theta_B = U \sin (\theta_A - \theta_B) \quad (2)$$

Rodando o veio de B poderá ter-se uma tensão nula, ou seja,  $\theta_B = \theta_A$ . Esta rotação contínua é feita por meio de um motor acoplado ao veio, e que é acionado por um amplificador que recebe o sinal de erro  $E(R_2, R_4)$ .

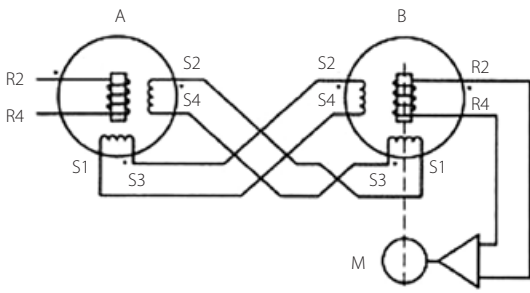


Figura 2. Seguidor de posição usando um "resolver".

## 2. "ENCODER"

Dá-se o nome de "encoder" a um dispositivo destinado a medir a posição angular de máquinas por meio de um disco cuja posição pode ser detectada por meio de um código binário. Há "encoders" para medir posição, designados como "encoders" absolutos, e "encoders" para medir velocidades angulares ou de rotação, chamados "encoders" incrementais; a constituição do respectivo disco é diferente num caso e noutro. Também há "encoders" lineares.

Na Figura 3 encontra-se a representação esquemática de um "encoder" absoluto. É constituído por um disco sobre o qual se encontram inseridas coroas circulares concêntricas. A coroa mais interior encontra-se dividida em duas partes, uma opaca e outra transparente.

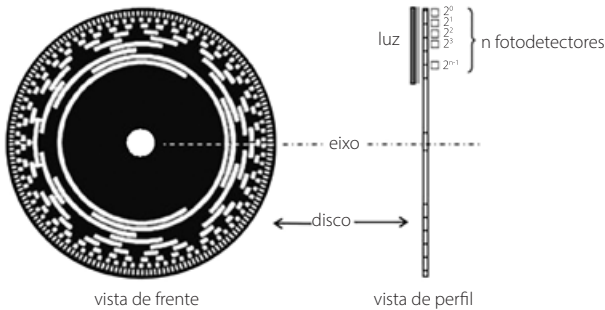


Figura 3. Esquema de um "encoder" absoluto.

A terceira coroa, contando do interior para o exterior, encontra-se dividida em seis partes, também opacas e transparentes. A enésima coroa, a mais exterior, encontra-se dividida em  $2^n$  partes transparentes e opacas. Em cada sector radial delimitado por uma das  $2^n$  divisões exteriores, a que corresponde um ângulo de  $360^\circ/2^n$ , pode ser observada sobre o disco uma sequência binária opaca/transparente, a qual, convenientemente codificada, indica a posição do disco. O bit menos significativo corresponderá à coroa circular mais exterior, onde é fisicamente mais fácil de obter um número de divisões maior do que no centro (na coroa exterior tem-se o maior perímetro disponível).

A detecção das zonas opacas e transparentes pode ser feita por meio de uma lâmpada que ilumina o disco e por fotodíodos, um por cada coroa, a que está associado um bit, do lado oposto. A resolução deste dispositivo é dada por

$$\theta_m = \frac{360^\circ}{2^n} \quad (3)$$

em que  $\theta_m$  é o ângulo mínimo, em grau, que se pode detectar e  $n$  o número de bits do código.

A fim de evitar mais do que uma transição simultânea, o que quando o disco se movesse poderia originar erros de posição grosseiros, em vez de um código binário natural utiliza-se um código binário contínuo. Num código contínuo duas sequências consecutivas diferem apenas num símbolo. A não utilização de um código contínuo pode originar ambiguidades de leitura na transição entre duas sequências. A título de exemplo considere-se uma codificação muito simples de três bits. Estes permitem discernir oito ( $2^3$ ) posições diferentes do disco, como se indica de seguida. Os símbolos ou bits, lidos pelos fotodetectores, estão identificados pelas letras A, B e C, sendo C o bit menos significativo:

Posição do disco	Codificação binária natural		
	A	B	C
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Quando a roda muda de uma posição para outra, é quase impossível que os símbolos A, B e C mudem em exacta simultaneidade. Por exemplo, se a transição se efectuar da posição três (011) para a posição quatro (100), se A for o primeiro símbolo a mudar, obtém-se momentaneamente a sequência 111, correspondente à posição sete. Esta ambiguidade, a que corresponde um erro grosseiro, desaparece se for utilizado um código contínuo, como por exemplo:

Posição do disco	Codificação binária contínua		
	A	B	C
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	1	1	0
5	1	1	1
6	1	0	1
7	1	0	0

O código que se apresenta é chamado código reflectido ou código de Gray<sup>1</sup>. Nele, de uma posição para outra consecutiva, apenas muda um símbolo, desaparecendo qualquer ambiguidade na detecção de posição. São correntes "encoders" com uma resolução de 0,1%. Estes têm dez faixas no disco, a que correspondem  $2^{10}=1024$  bits. ❗

<sup>1</sup> Frank Gray, físico e investigador norte-americano dos laboratórios Bell, 1887-1969.