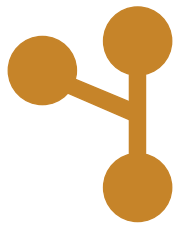


REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA



# robótica®

automação  
controlo  
instrumentação



#### ARTIGO CIENTÍFICO

- Indústria 4.0 e preceitos da evolução numa análise do cenário português
- Mobile Robotic Arm

#### INSTRUMENTAÇÃO

- Sensores de velocidade angular

#### ELETRÓNICA INDUSTRIAL

- Eletrónica (26.ª Parte)

#### PORTUGAL 3D

- Airbag e a importante combinação com outros dispositivos de segurança em veículos

#### ROBÓTICA 360°

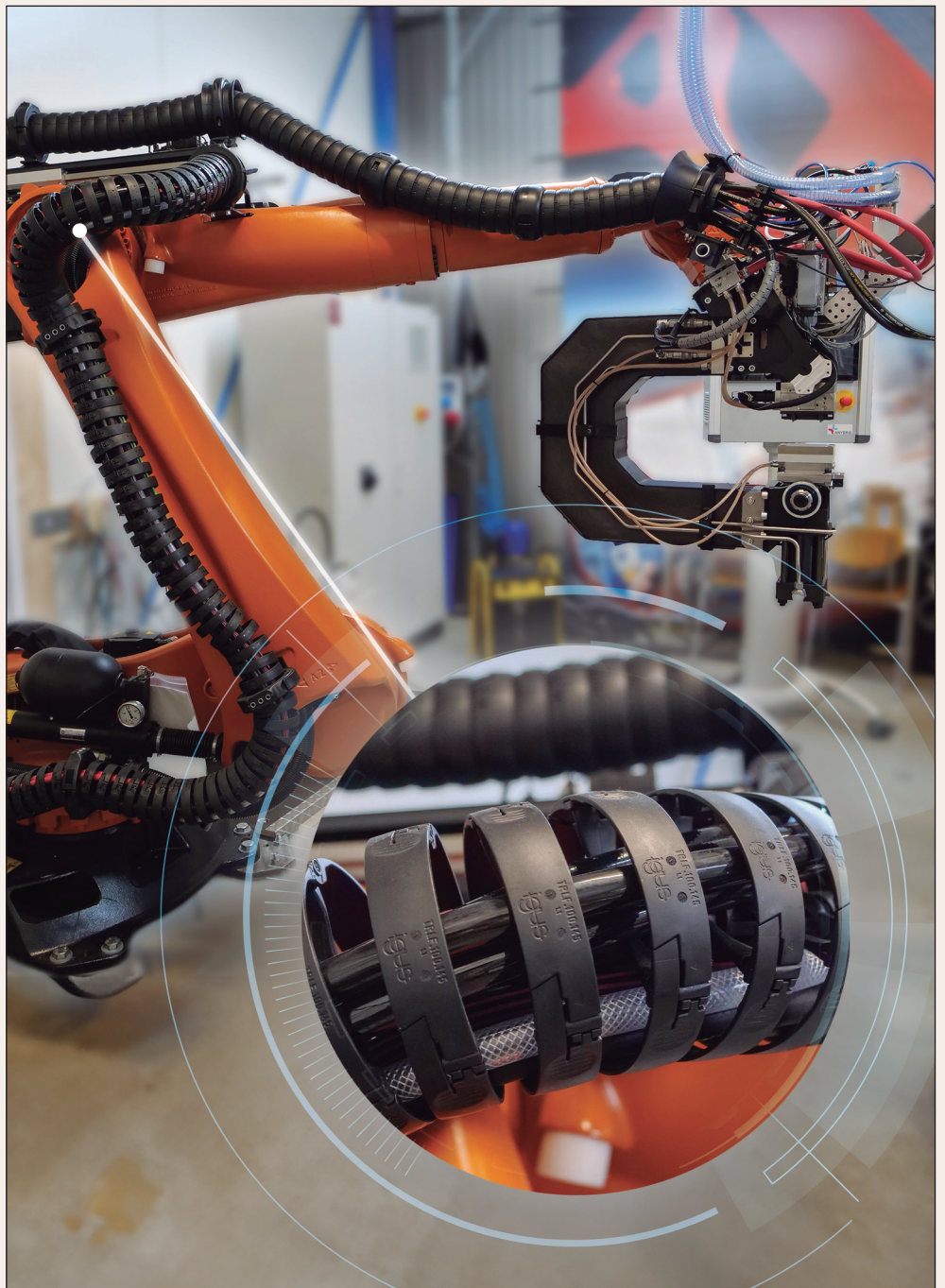
- Introdução à Robótica Industrial (4.ª Parte)

#### DOSSIER SOBRE HIPERAUTOMAÇÃO

- Como podem as organizações usar soluções de *software* de gestão de energia para se aproximar do *Net Zero*
- Hiperautomação: a tendência que vai marcar a próxima década
- *Automated Machine Learning* para aplicações industriais

#### REPORTAGEM

- EuroBLECH 2024 irá mergulhar ainda mais na produtividade



# Sensores de velocidade angular

## 1. MOVIMENTO DE UM CORPO SÓLIDO

Considere-se um corpo sólido, rígido, em movimento. O seu movimento deverá ser referenciado a um sistema de eixos fixos ligados a outro corpo sólido, designado por referencial. Pode provar-se que o movimento deste corpo pode ser analisado a partir de dois movimentos:

- movimento do seu centro de massas;
- rotação do sólido em torno do centro de massas.

O movimento do centro de massas do corpo é caracterizado pela sua velocidade linear e ao movimento em torno do centro de massas, abstraindo da sua posição e da sua velocidade linear, dá-se o nome de movimento angular do corpo.

## 2. VELOCIDADE ANGULAR E DE ROTAÇÃO

Seja, agora,  $P$  um ponto a descrever um movimento de rotação. Poderá ser um ponto de um corpo sólido a rodar em torno do seu centro de massas. Admita-se que se trata de um movimento de rotação puro; *i.e.* em que a distância do ponto à origem dos eixos é constante. Nestas condições o vector velocidade é perpendicular ao vector posição. Considerando o plano definido pela origem dos eixos e pela velocidade do ponto num determinado instante, a posição do ponto fica definida neste plano por um ângulo  $\theta$ , tomado em relação a uma referência. Note-se que o plano em que  $\theta$  está definido poderá estar a mudar de posição ao longo do tempo. Considere-se agora o caso em que o plano é fixo. Nestas condições, define-se velocidade angular do ponto  $P$  pela expressão

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

Note-se que a velocidade angular,  $\omega$ , assim definida é um escalar.

Por vezes há interesse em associar à velocidade angular um vector  $\boldsymbol{\omega}$  perpendicular ao plano definido pelo raio vector de posição,  $\boldsymbol{r}$ , e pela velocidade linear,  $\boldsymbol{v}$ , sendo a relação entre estes três vectores definida pelo produto externo

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r} \quad (2)$$

O módulo de  $\boldsymbol{\omega}$  é igual a  $\omega$ . A velocidade angular exprime-se em radianos por segundo (rad/s). No entanto, é mais vulgar exprimir esta velocidade em rotações por minuto (rpm), dando-lhe o nome de velocidade de rotação. Atendendo a que uma rotação corresponde a  $2\pi$  radianos (volta ou circunferência completa), a conversão entre estas velocidades é dada por

$$V_{(\text{rpm})} = \frac{60}{2\pi} \omega_{(\text{rad/s})} \quad (3)$$

## 3. SENSORES DE VELOCIDADE ANGULAR

Os sensores de velocidade angular são correntemente utilizados para a medição da velocidade de rotação de motores, bombas, ventiladores, rolos de máquinas, entre outros. Dá-se-lhes o nome de taquímetros. Apresentam-se a seguir alguns taquímetros correntemente utilizados.

### 3.1. Gerador taquimétrico

Trata-se de um pequeno gerador eléctrico acoplado ao dispositivo do qual se pretende medir a velocidade de rotação. Na Figura 1 mostra-se uma instalação típica.

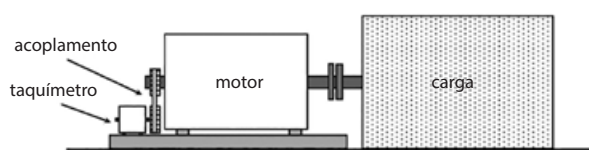


Figura 1. Taquímetro para medição de velocidades de rotação.

A instalação do taquímetro pode ser efectuada de vários modos, nomeadamente:

- acoplado axialmente com o motor;
- ligado por meio de uma correia denteada;
- ligado por meio de uma correia lisa.

A utilização de uma correia denteada faz-se para garantir que não há escorregamento no acoplamento e para não forçar axialmente o taquímetro. No caso de se utilizar uma correia lisa, que deve trabalhar com um certo valor de tensão mecânica, a ligação ao taquímetro deverá ser feita de uma forma indirecta, através de uma polia ligada axialmente ao taquímetro, sendo a tensão da correia suportada pela polia. Uma tensão axial elevada aplicada directamente ao taquímetro pode conduzir à sua rápida inutilização.

O gerador taquimétrico poderá originar uma tensão de saída contínua ou alternada:

CC – Uma tensão de saída contínua proporcional à velocidade de rotação.

CA – Uma tensão de saída alternada sinusoidal com a frequência proporcional à velocidade de rotação.

Considere-se, agora, o “resolver”, descrito no artigo “Aparelhos de medição de posição angular”, revista *Robótica*, n.º 130, pp. 14 a 15, 1.º trimestre de 2023. Este dispositivo, destinado primariamente a medir posições angulares, origina nas suas saídas seno e cosseno uma tensão sinusoidal. Se o veio do dispositivo for acoplado a uma máquina em movimento de rotação, a amplitude destes sinais sinusoidais varia com uma frequência correspondente à velocidade de rotação do veio. Conclui-se assim que o “resolver” pode também ser utilizado como taquímetro.

### 3.2. Taquímetro digital

Os taquímetros digitais são usualmente magnéticos ou ópticos. Os magnéticos são constituídos por uma roda dentada de

material ferromagnético, que é acoplada à máquina em movimento de rotação. Em frente à roda, junto à sua periferia, existe um detector de proximidade que detecta a passagem dos dentes e a transforma numa tensão de saída em forma de onda quadrada, correspondendo cada período a um par dente+cava. O número de dentes do taquímetro depende do modelo e é determinado em função da velocidade de rotação e da frequência desejada para o sinal de saída (ver a Figura 2).

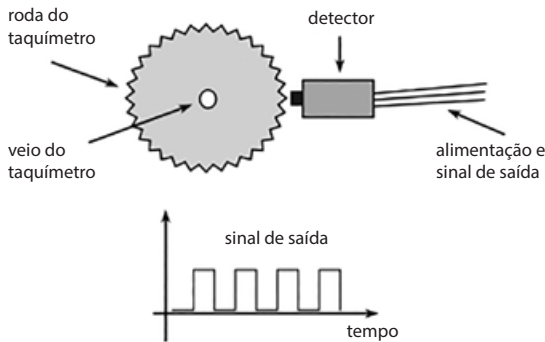


Figura 2. Taquímetro digital magnético.

Representando por  $N$  o número de dentes da roda do taquímetro, por  $\omega$  a sua velocidade angular em rad/s e por  $n$  o número de impulsos por segundo, contados pelo detector de proximidade, pode concluir-se que

$$\omega = \frac{2\pi}{N} n \quad (4)$$

Em aparelhagem de dimensões reduzidas, ou em que se pretende uma inércia baixa, a roda é constituída por um pequeno disco de material plástico perfurado. A passagem dos orifícios interrompe um feixe de luz e é lida por meio de uma célula fotoelétrica.

Observe-se, agora, o “encoder”, também descrito no artigo “Aparelhos de medição de posição angular”, revista *Robótica*, n.º 130, pp. 14 a 15, 1.º trimestre de 2023. Este dispositivo, destinado a medir posições angulares, tem na periferia da roda um conjunto de orifícios, correspondentes ao bit menos significativo (ver a Figura 3).

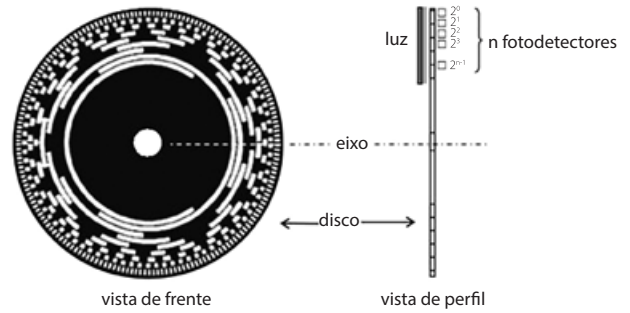


Figura 3. Esquema de um “encoder” absoluto.

O fotodetector que lhe está associado, origina na sua saída uma tensão em onda quadrada. A frequência deste sinal é proporcional à velocidade de rotação do disco. Conclui-se, assim, que o “encoder” pode também ser utilizado como taquímetro. Há, no entanto, “encoders” que apenas possuem estes orifícios destinados à medição de velocidade, não podendo, por este motivo, medir posições. São designados por “encoders” incrementais.

### 3.3. Velocidades muito baixas

Quando as velocidades de rotação são muito baixas, a roda do taquímetro deve ter um número muito elevado de dentes ou de orifícios. No entanto, do ponto de vista construtivo torna-se difícil obter rodas com um número de dentes superior a mil. Se, por exemplo, for desejada uma resolução melhor do que uma parte em mil, isto significa que o método atrás exposto não pode ser aplicado para velocidades de rotação menores do que uma rotação por segundo. Em situações deste género, é costume, em vez de medir o número de impulsos por segundo, medir o tempo  $T$  decorrido entre a passagem de dois dentes consecutivos. Neste caso convém ter um número de dentes  $N$  baixo, da ordem de um a oito. A velocidade angular  $\omega$  do órgão em movimento será dada pela expressão

$$\omega = \frac{2\pi}{NT} \quad (5)$$

EDIÇÃO DE AUTOR | AUTOPUBLICAÇÃO

“Paginamos e publicamos o seu livro, escrito por si.

SERVIÇOS EDITORIAIS INCORPORADOS:

- REVISÃO LITERÁRIA
- GRAFISMO DA CAPA
- PAGINAÇÃO GRÁFICA PROFISSIONAL
- OBTENÇÃO DO ISBN
- CUMPRIMENTO DO DEPÓSITO LEGAL
- IMPRESSÃO DOS EXEMPLARES



delineatura  
DESIGN DE COMUNICAÇÃO  
GRUPO PUBLINDÚSTRIA

Para mais informações  
visite [www.delineatura.pt](http://www.delineatura.pt)  
ou envie email para  
[design@delineatura.pt](mailto:design@delineatura.pt)