133

n.º 133 · 4.º trimestre de 2023 · Ano 33 · 9.50€ (Portugal) · Trimestral · www.robotica.pt · Diretor: Fernando Ribeiro

REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA

robótica®

automação
controlo
instrumentação

ISSN 0874-9019

ARTIGO CIENTÍFICO
· Strategies to Reduce Power Consumption in pico-Satellites
· Integration of industrial automation fieldbuses with different technologies

VOZES DE MERCADO
· Formações *eLearning* EPLAN são o caminho para o sucesso
· Gestão de Recursos Humanos e Portal do Colaborador

INSTRUMENTAÇÃO
· Transmissores pneumáticos

AUTOMAÇÃO E CONTROLO
· Redes de comunicação de dados (3.ª Parte)

ELETRÓNICA INDUSTRIAL
· Eletrónica (24.ª Parte)

PORTUGAL 3D
· Fatores que influenciam o rigor dimensional nos processos de fabrico por arranque de apara (1.ª Parte)

ROBÓTICA 360º
· Introdução à Robótica Industrial

DOSSIER SOBRE INDÚSTRIA SEGURA
· Legislação nacional de segurança e saúde no trabalho
· Segurança de equipamentos na indústria

PUB

u-control
10 anos de lançamento

Mais informações:

Weidmüller

ISA Portugal Section

Rui Vilela Dionísio
Departamento de Sistemas e Informática
Escola Superior de Tecnologia de Setúbal do Instituto Politécnico de Setúbal

Transmissores pneumáticos

1. TIPO DE SINAL

A maior parte dos sinais provenientes de elementos primários não está em condições de ser utilizada directamente por equipamentos pneumáticos devido às seguintes razões:

- não terem um intervalo de medição de pressão de saída normalizado;
- não fornecerem caudal de ar suficiente para serem transmitidos à distância;
- não serem sinais pneumáticos, mas antes, hidráulicos (pressão de óleo), pressões de gás, entre outros.

Para ultrapassar limitações desta natureza e, em particular, para se poder enviar um sinal à distância, utiliza-se o transmissor pneumático. Este dispositivo produz um sinal de saída em pressão de ar, com um intervalo de medição normalizado, que toma os seguintes valores consoante as regiões do globo:

- 0,2 bar a 1 bar (Europa);
- 3 psi a 15 psi (EUA);
- 0,2 kgf/cm^2 a 1 kgf/cm^2 (Ásia);
- 20 kPa a 100 kPa (Austrália, China).

Assim, para a normalização americana, que é a mais difundida, ao mínimo do intervalo de medição (entrada do transmissor) corresponderá um sinal de ar de saída com uma pressão de 3 psi e ao máximo do intervalo de medição, um sinal com o valor de 15 psi.

Os sinais pneumáticos são conduzidos por meio de tubos de PVC (tubo simples ou multitubo em policloreto de vinilo) ou por meio de tubos metálicos (latão, ferro, aço inoxidável), consoante o tipo de instalação, a agressividade do meio e a protecção desejada. Os diâmetros destes tubos são variáveis, entre 4 mm e 12 mm, de acordo com a distância a que se deseja levar o sinal, que, por vezes, é de algumas dezenas de metros. Aos tubos que transportam os sinais pneumáticos dá-se, também, o nome de linhas de impulso.

2. O SISTEMA TUBEIRA/PALHETA

Considere-se um pequeno tubo metálico, alimentado por uma fonte de ar comprimido à pressão p_a, como se mostra na Figura 1.

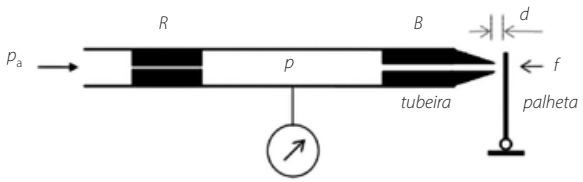

Figura 1. Sistema tubeira/palheta.

O ar que entra para o tubo é obrigado a passar através de uma restrição *R* e escapa-se para a atmosfera por um orifício *B*, existente no extremo do tubo. Em frente do bocal de escape existe uma palheta móvel, que pode ser afastada da ponta deste ou ser aproximada, até ficar completamente encostada. O movimento da palheta é controlado por meio de uma força ***f***, que poderá ser, por exemplo, proveniente de um transdutor de medida. Para concretizar, podem dar-se dimensões aproximadas: diâmetro interno do tubo de 2 mm a 6 mm, diâmetro da restrição *R* cerca de 0,2 mm e diâmetro do bocal *B* cerca de 0,4 mm.

Analise-se o funcionamento do dispositivo. Se, por meio da força ***f***, se encostar a palheta ao bocal, o ar não pode escapar-se para a atmosfera e a pressão *p* no interior do tubo aumenta, até atingir o valor da pressão de alimentação p_a, quando $d = 0$ mm. Se, pelo contrário, se afastar totalmente a palheta da ponta do bocal, a pressão *p* baixa, ficando um pouco acima do valor da pressão atmosférica p_0. O valor da pressão *p*, no interior do tubo, depende da distância *d* do bocal à palheta e tem, aproximadamente, o andamento indicado na Figura 2. Este sistema, que origina uma pressão de ar em função de uma distância, é designado por sistema tubeira/palheta.

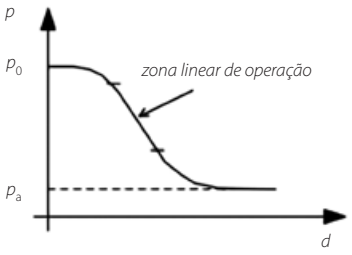

Figura 2. Variação da pressão de ar *p*, no interior do tubo, com a distância *d*.

Considere-se a secção do tubo que se encontra à pressão *p*, ligada a um diafragma, como se representa na Figura 3. Designando por ***f*** a força exercida pela palheta sobre o bocal de escape e necessária para o estabelecimento da pressão *p*, por *a* a área do orifício do escape, por *F* a força exercida pelo diafragma e por *A* a área do diafragma, tem-se

$$\begin{cases} f = pa \\ F = pA \end{cases} \qquad (1)$$

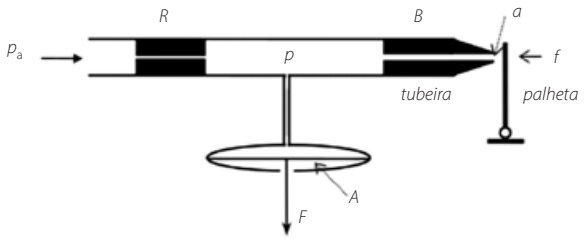

Figura 3. Acção amplificadora do sistema tubeira/palheta+diafragma.

logo

$$F = \frac{A}{a} f \qquad (2)$$

Concretizando: se $a = 0{,}125$ mm^2 e $A = 3{,}0$ cm^2, tem-se um factor de amplificação, da força ***f***, de 2400 vezes.

Artigo redigido segundo o Antigo Acordo Ortográfico.

3. O RELÉ PNEUMÁTICO

Considere-se o dispositivo pneumático representado na Figura 4. Este dispositivo constitui um amplificador pneumático ou relé pneumático. Consta de quatro câmaras, referenciadas com os números de 1 a 4. O ar de alimentação, com valor de pressão p_a, é conduzido à câmara 4; uma pequena parte deste ar escapa-se para a câmara 3 através de uma válvula V_1, cuja abertura é comandada pelo sinal de ar de entrada, p, injetado na câmara 1. Esta passagem é tanto maior quanto maior for a pressão do sinal de entrada. Nestas condições, a um aumento do sinal de entrada corresponderá um maior caudal de ar da câmara 4 para a câmara 3, ou seja, um aumento da pressão de saída, p_o. Para que o dispositivo funcione corretamente, quando o sinal de entrada desce, a câmara 3 está ligada à atmosfera por meio de uma válvula V_2, solidária com V_1, mas funcionando em sentido contrário.

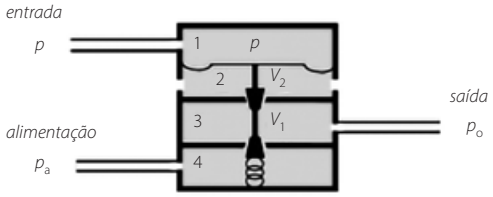

Figura 4. Esquema de um relé pneumático.

Neste dispositivo utiliza-se a força desenvolvida sobre o diafragma por acção da pressão p, que é a variável de entrada. A pressão do sinal de saída po variará entre 0 e p_a, exercendo-se, ou não, uma acção amplificadora consoante o valor da pressão de alimentação p_a e o valor máximo do intervalo de medição da entrada. No entanto, o dispositivo tem capacidade para fornecer um sinal de saída com um caudal de ar apreciável, o que poderá não acontecer com o sinal de entrada. Repare-se, ainda, na não garantia de perfeita proporcionalidade entre as pressões de saída p_o e de entrada p. A curva que exprime a relação entre a saída e a entrada dependerá do dimensionamento das válvulas. Será com a ajuda da realimentação negativa, num outro tipo de esquema, que se irá conseguir a proporcionalidade desejada.

Surge, então, o relé pneumático realimentado, representado na Figura 5 (a), que a seguir se descreve.

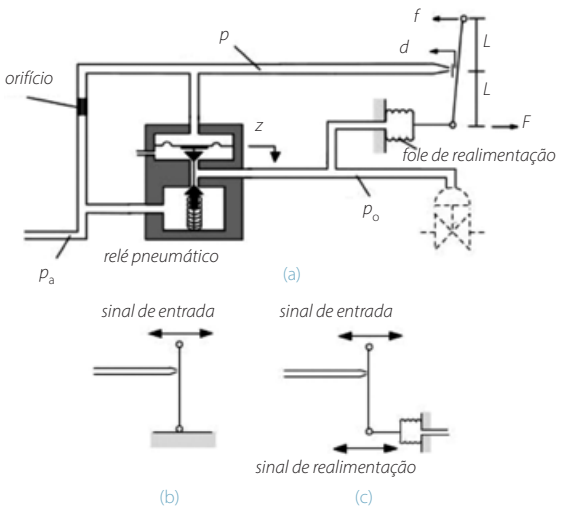

Figura 5. Esquema de princípio de funcionamento de um relé pneumático realimentado (a), movimento da palheta com fulcro (b) e movimento da palheta livre (c).

O sistema tubeira/palheta constitui o primeiro andar de amplificação onde a pressão p é comandada pela distância d imposta pela acção da força $\boldsymbol{f}$. O relé pneumático constitui o segundo andar de amplificação capaz de suportar grandes caudais de ar, onde a pressão p determina a posição do obturador z e, consequentemente, o valor da pressão de saída p_o, que também é a pressão do fole. Estes dois dispositivos, associados em cascata, são realimentados pneumaticamente através da acção do fole gerador da força $\boldsymbol{F}$. A realimentação produzida pela variação da pressão de saída p_o (manifestada na correspondente variação da força $\boldsymbol{F}$) altera o movimento inicial da palheta gerado pela força $\boldsymbol{f}$. Ou seja, em vez da palheta estar fixa num ponto inferior funcionando como fulcro, de acordo com a Figura 5 (b), utiliza-se esse mesmo ponto, tornado livre, para se aplicar a força $\boldsymbol{F}$ gerada pelo fole de realimentação, a qual pode, eventualmente, ser regulada pela introdução de uma ligação variável entre este e a palheta, *i.e.* pela introdução de uma mola opositora ao movimento do fole. Assim, a palheta passa *a* poder ser movida tanto pelo sinal de entrada, a força $\boldsymbol{f}$, como pelo sinal de realimentação, a força $\boldsymbol{F}$, definindo-se a distância d, veja-se a Figura 5 (c).

Detalhando o princípio de funcionamento do relé pneumático realimentado: ao aumentar-se o sinal de entrada $\boldsymbol{f}$, que é a força exercida pela palheta sobre o bocal de escape, diminui-se a distância d da palheta à tubeira, aumentando a pressão p de saída do sistema tubeira/palheta. Este aumento de pressão origina uma dilatação no diafragma do relé pneumático e a consequente descida do obturador, *i.e.* um aumento de z, causando, por sua vez, um aumento da pressão p_o na saída. Este aumento de p_o provoca a dilatação do fole, pelo aumento da força $\boldsymbol{F}$, e o consequente movimento da palheta para a direita, abrindo o bocal de escape e reduzindo a pressão p no interior da tubeira. No caso de a entrada diminuir por redução da força $\boldsymbol{f}$, a pressão de saída p da tubeira diminui, contraindo-se o diafragma pela acção opositora da mola e baixando a pressão de saída p_o do relé pneumático pelo aumento do escape de ar para a atmosfera. O fole contrai-se movimentando a palheta para a esquerda, restringindo mais o bocal de escape e aumentando a pressão p no interior da tubeira. Assim se conclui a acção de realimentação negativa.

O deslocamento da palheta é muito pequeno devido à realimentação, mas a mudança de pressão na saída, pode ser bastante grande. É importante notar que o sinal de realimentação deve mover a palheta menos do que o erro actuante. Se os dois movimentos forem iguais, não há variação na saída.

Do funcionamento descrito resulta que f e p_o são proporcionais, de acordo com

$$p_o = \frac{k_F}{A} \qquad (3)$$

> “Os sinais pneumáticos são conduzidos por meio de tubos de PVC (tubo simples ou multitubo em policloreto de vinilo) ou por meio de tubos metálicos (latão, ferro, aço inoxidável), consoante o tipo de instalação, a agressividade do meio e a protecção desejada.

> O deslocamento da palheta é muito pequeno devido à realimentação, mas a mudança de pressão na saída, pode ser bastante grande. É importante notar que o sinal de realimentação deve mover a palheta menos do que o erro actuante. Se os dois movimentos forem iguais, não há variação na saída.

em que k_F é a constante da mola equivalente devida à elasticidade das paredes do fole de realimentação, em N/m, e A é a área efectiva deste mesmo fole, em m^2.

Este amplificador pneumático realimentado, é do tipo "*force/distance type*" e é largamente utilizado como controlador proporcional na indústria. O dispositivo funciona como controlador, se o sinal de entrada for um sinal de erro actuante. A realimentação do dispositivo permite reduzir a sensibilidade do amplificador pneumático. Usam-se amplificadores pneumáticos realimentados como controladores proporcionais de banda larga. Amplificadores pneumáticos não realimentados, têm uma banda proporcional estreita e aproximam-se dos controladores "*on/off*", Figura 6.

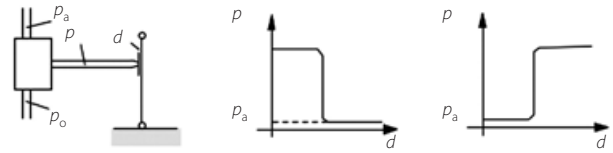

Figura 6. Esquema de um controlador pneumático "*on/off*".

Representam-se simbolicamente o relé pneumático e o relé pneumático realimentado (por associação ao bocal) através dos símbolos da Figura 7 (a) e (b), respectivamente.

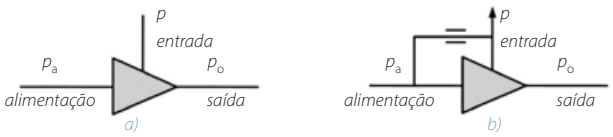

Figura 7. Símbolo de um relé pneumático (a) e de um relé pneumático realimentado (b).

4. A BALANÇA DE FORÇAS

Considere-se o esquema mecânico indicado na Figura 8.

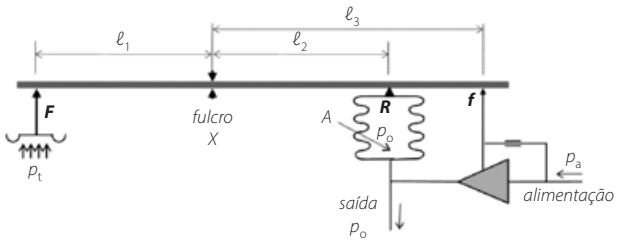

Figura 8. Esquema de uma balança de forças.

A barra horizontal representa uma alavanca, apoiada no fulcro **X** e sujeita à acção das forças ***F***, ***R*** e ***f***. A força ***F*** será proveniente de um transdutor (de pressão, temperatura, força, entre outras) e será proporcional à variável que se está a medir, no caso da figura a pressão p_t. A força ***R*** é originada pela pressão no interior do fole. Considera-se ser $|\boldsymbol{f}|<<|\boldsymbol{F}|$, pelo que, a condição de equilíbrio entre os momentos das três forças pode ser escrita como

$$F\ell_1 = R\ell_2 + f\ell_3 \Rightarrow F\ell_1 \approx R\ell_2 \qquad (4)$$

Como $R=p_oA$, em que A representa a área efetiva do fole que se apoia na barra e p_o representa a pressão de saída (que é a mesma no interior do fole), será

$$p_o = \frac{\ell_1}{\ell_2 A} F \qquad (5)$$

A equação (5) diz que a pressão de saída p_o da balança de forças é proporcional ao valor da variável medida F ou p_t. Na prática, há interesse em que a pressão de saída não seja nula quando a variável medida é zero. Para atingir este objetivo introduz-se uma pequena modificação no esquema anterior, contrariando a força ***R*** com a força ***T*** proveniente de uma mola (Figura 9). A condição de equilíbrio é agora

$$F\ell_1 = R\ell_2 + f\ell_3 - T\ell_2 \Rightarrow F\ell_1 \approx R\ell_2 - T\ell_2 \qquad (6)$$

Se o módulo da força ***T*** for ajustado de forma que $T=p_{omín}A$ (em que $p_{omín}$=20 kPa, ou 0,2 kgf/cm^2, ou 3 psi), tem-se

$$F\ell_1 = p_o A\ell_2 - p_{o\,min} A\ell_2 \Leftrightarrow p_o = kF + p_{o\,min} \qquad (7)$$

em que $k=\ell_1/(A\ell_2)$.

A constituição de um sensor pneumático fica assim resumida: o elemento primário desenvolve uma força proporcional à grandeza a medir e o transmissor converte essa mesma força num sinal pneumático de saída que lhe é proporcional, à parte uma constante de ajuste de zero, de acordo com a equação (7).

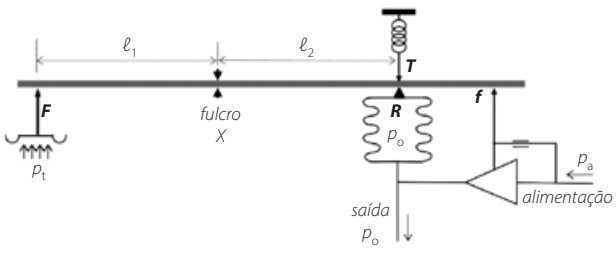

Figura 9. Esquema de uma balança de forças com ajuste de zero.