

SENSORES E ACTUADORES

Grandezas mecânicas

J.R.Azinheira

Nov 2008

*Bibliografia: Sensores e Actuadores, J.R. Azinheira, 2002, IST-DEM
(disponível na página da UC em 'Material de Apoio' -> 'Bibliografia Complementar')*

ÍNDICE

- Cadeia de Medida
- Sensores do movimento
 - posição linear e angular, proximidade, velocidade e aceleração
- Grandezas mecânicas
 - forças, binários, pressão, nível
- Escoamentos e caudais
- Temperatura
- Cadeia de actuação e actuadores

ÍNDICE

- Cadeia de Medida
- Sensores do movimento
 - posição linear e angular, proximidade, velocidade e aceleração
- Grandezas mecânicas
 - forças, binários, pressão, nível
- Escoamentos e caudais
- Temperatura
- Cadeia de actuação e actuadores

3. Grandezas mecânicas

- Forças
- Binários
- Pressão
- Nível de líquido

3. grandezas mecânicas

- Forças
- Binários
- Pressão
- Nível de líquido

Medição da força (dinamómetro)

- Princípio físico

equilíbrio com uma força conhecida

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx$$

$$F = k x$$

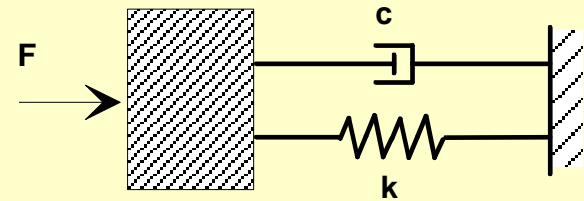


fig. a equação mecânica

- com uma mola linear, espiral ou de torção;
- pela deformação elástica de um corpo de prova;
- por pressão, contra uma parede intermediária;
- por um actuador servo-controlado;
- somente com a força de inércia.

dinamómetros de mola

Por equilíbrio com a força de uma mola e medição da deformação

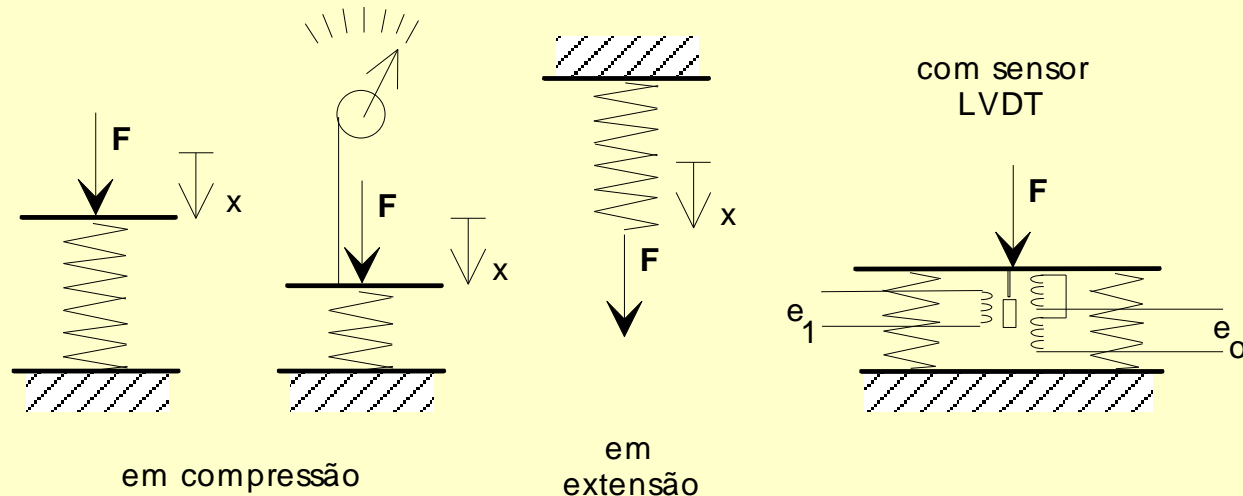


fig. dinamómetros com molas lineares

deformação elástica : células de carga

Em alternativa à mola

- corpo de prova cuja deformação elástica
- com extensómetros

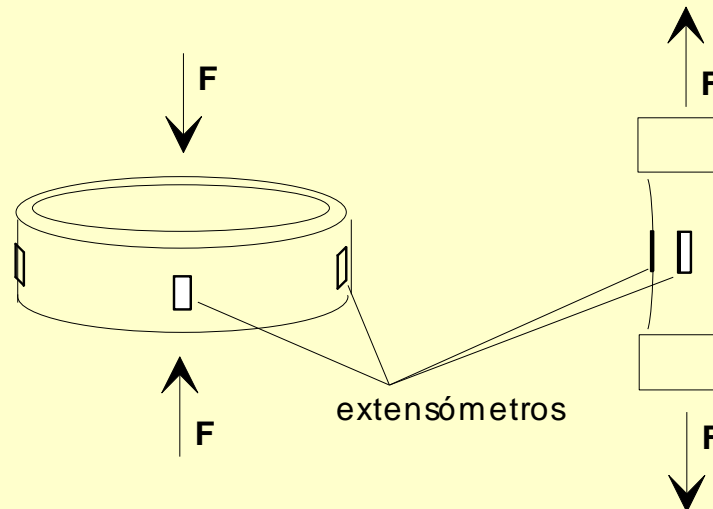


fig. corpos de prova em compressão/tracção

deformação elástica : células de carga

- Outras formas ou sensores

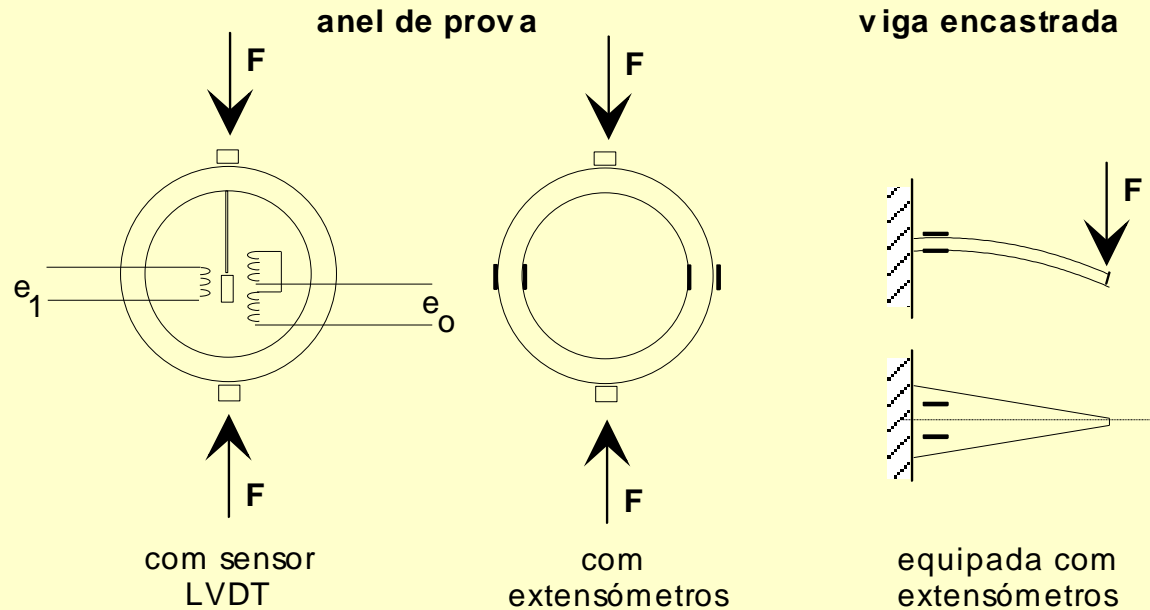


fig. dois exemplos de corpos de prova em flexão

deformação elástica : células de carga

Corpos de prova mais complexos, com mais extensómetros, permitem medir várias componentes de força (ou momentos)

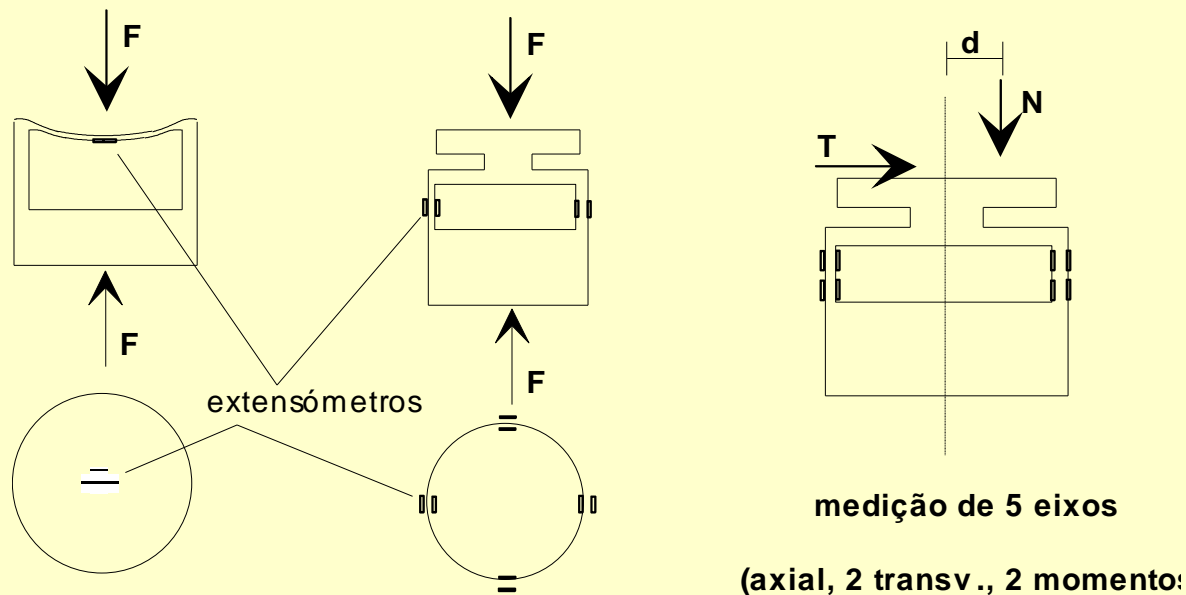


fig. exemplos de células de carga cilíndricas

células de carga

Comentários:

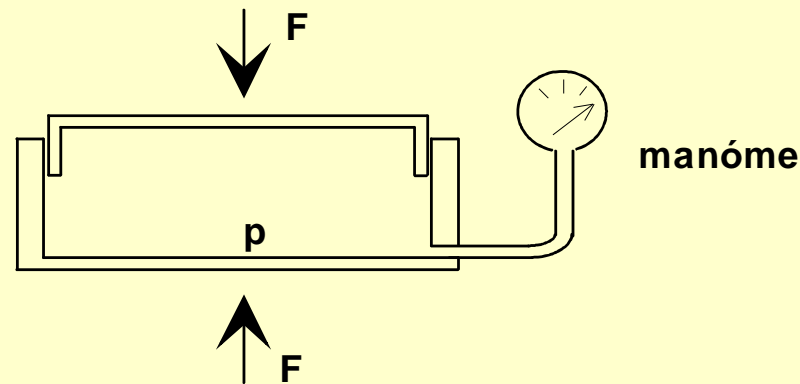
- solução mais prática
- opcionalmente várias componentes (vários eixos)
- gamas muito diversas

alguns valores:

células de carga				
gama	0.25	1	500	kN
dimensões (comp x diam.)	50x15	8x200	60x200	mm
linearidade	0.05	0.25	0.2	%
histerese		0.1	0.15	%
repetibilidade		0.1	0.05	%
sobrecarga	50	50	50	%
alimentação	10	10	15	V dc
sensibilidade	2	2	4	mV/V f.e.
sens. à temperatura		0.04		%/°C

conversão para pressão

A medição da força é convertida em medição de uma pressão, para forças muito grandes



$$F = PA$$

fig. conversão para pressão

equilíbrio por servo-actuador

Sensores de precisão elevada, com equilíbrio com a força gerada por um solenóide, com um anel de realimentação

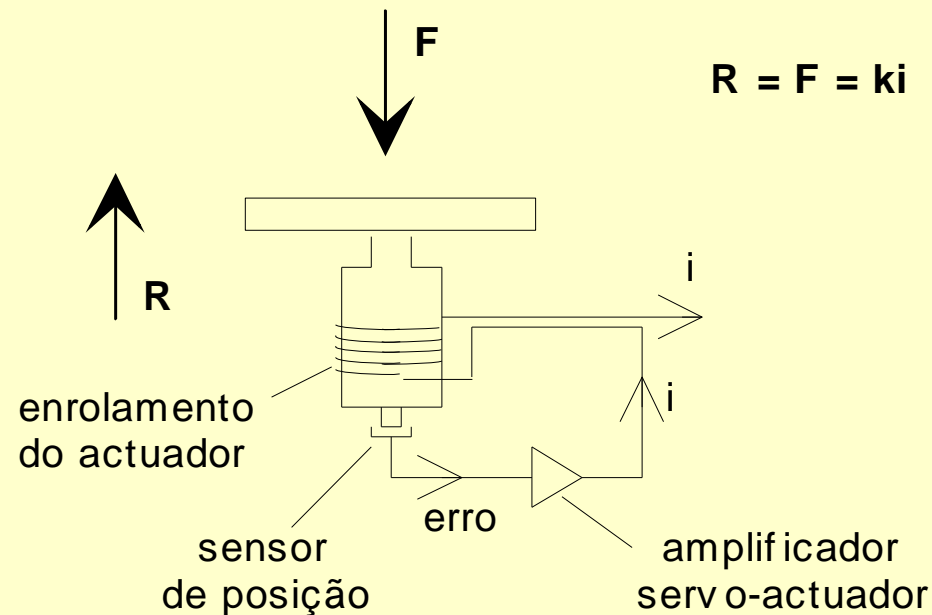


fig. equilíbrio por servo-actuad

outros métodos

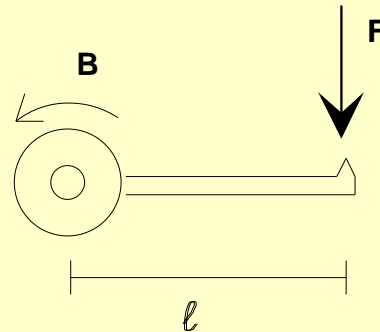
- A medição da aceleração permite avaliar a força actuando sobre um corpo "livre".
- A medição da frequência de vibração de um fio em tensão permite precisões da ordem de 0.03% na determinação da tensão imposta ao fio.

3. grandezas mecânicas

- Forças
- Binários
- Pressão
- Nível de líquido

Medição de binários

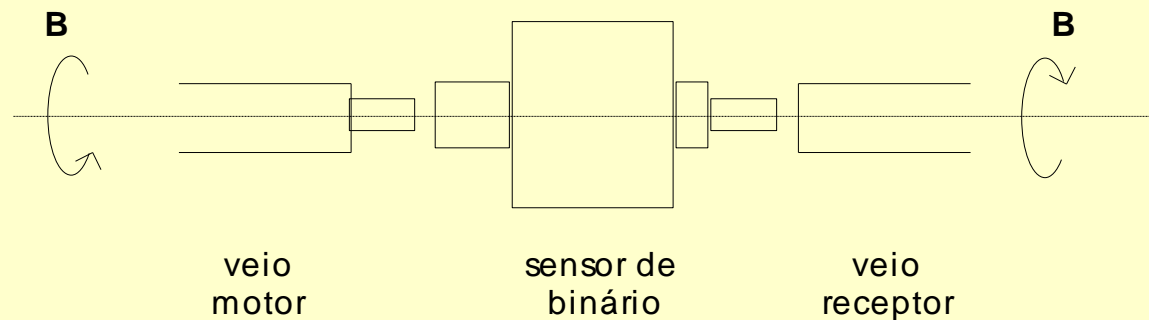
Em condições estáticas é possível medir um binário através por equilíbrio com uma força



$$B = F l$$

fig. equilíbrio estático por uma força

Em rotação, o sensor é inserido entre o motor e receptor



Medição de binários medição da torção

Princípio físico:

- veio equipado com extensómetros nos eixos de deformação mínima/máxima
- montagem em ponte completa

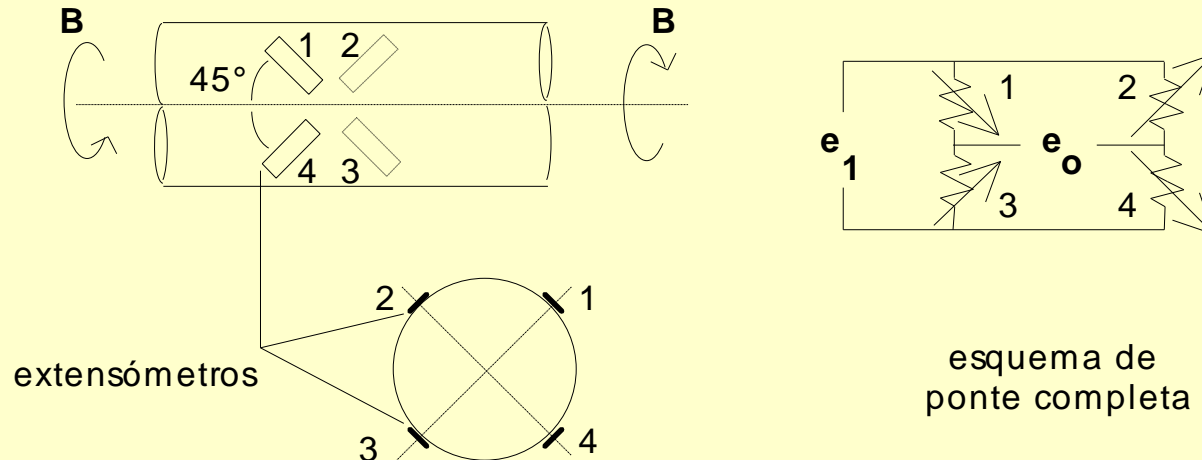


fig. medição de binário/torsão por extensometria

Medição de binários

medição da torção

- Comentários:
 - ligação veio/externo
 - via contactos e escovas (slip-rings/brushes) –caso a na tabela;
 - via sistemas indutivos ou capacitivos –caso b.
 - medição simultânea da velocidade e logo potência

medição de binário por torção

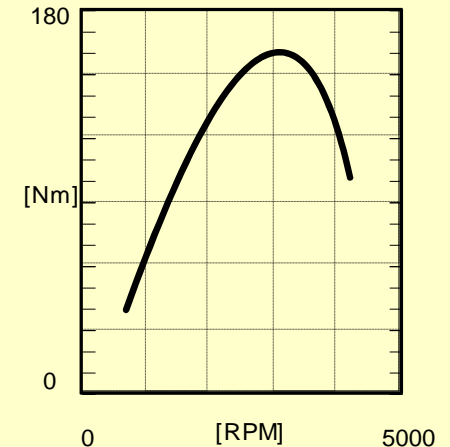
gama de binários	<2	<1.35	<0.011	kNm
gama de velocidades	<10000	<1000	<5000	rpm
gama de potências	<2000	<130	<6	kW
linearidade		0.25	0.25	% pe
alimentação		10	10	V dc/ac
sensibilidade		2		mV/V pe
transmissão do sinal	caso b	caso a	caso a	
codificador p/vel. ang.	sim	não	sim	
resolução	N/A		360	/volta
saída	N/A		TTL	(10 mA)

Problema Exemplificativo

sensor de binário

Para a medição do esforço fornecido por um motor de automóvel cuja curva de binário é fornecida na figura da direita, é eleito um sensor de binário cujas características são apresentadas na tabela do lado.

gama	300	Nm
saída nominal	5	Vdc
alimentação	11-26	Vdc
linearidade	0.2	%FS
histerese	0.1	%FS
sens. Zero à Temp.	0.015	%FS/°C
preço	2400	USD



A velocidade de rotação é medida por um sensor digital com 360 impulsos por volta e lido a uma frequência de 5Hz.

A aquisição do binário utiliza um conversor A/D de 12bits, com entrada em tensão ± 5 Vdc e ruído de 3 LSB.

- Determine a precisão absoluta do sensor se fosse lido por um instrumento ideal.
- Determine a gama de saída esperada. Determine a precisão da aquisição do binário.
- Estabeleça a expressão da leitura da velocidade e deduza a sua precisão.
- Conclua quanto à relação entre potência mecânica e os valores adquiridos. Qual é a precisão ?

Problema Exemplificativo

sensor de binário

a) Determine a precisão absoluta do sensor se fosse lido por um instrumento ideal.

a) Não havendo informação de temperatura, só podemos considerar dois tipos de erro:

- linearidade: $\Delta^{S,\text{lin}}\mathbf{b} = 0.2\% * 300[\text{Nm}] = 0.6[\text{Nm}]$
- histerese: $\Delta^{S,\text{hist}}\mathbf{b} = 0.1\% * 300[\text{Nm}] = 0.3[\text{Nm}]$

Resulta assim a precisão do sensor: $\Delta^S\mathbf{b} = \Delta^{S,\text{lin}}\mathbf{b} + \Delta^{S,\text{hist}}\mathbf{b} = 0.9[\text{Nm}]$

Problema Exemplificativo

sensor de binário

b) Determine a gama de saída esperada. Determine a precisão da aquisição do binário.

b) A partir do gráfico da direita, estimamos um binário variando entre 40 Nm e 160 Nm. Da informação da tabela, e assumindo a linearidade do sensor, deduz-se uma saída proporcional ao binário $V = kb$,

onde a sensibilidade vale:
$$k = \frac{5[V_{dc}]}{300[Nm]} = 0.0167[V / Nm] = 16.7[mV / Nm]$$

A saída do sensor vai assim variar entre 0.667V e 2.67V.

Juntando o CAD, obtém-se: $n = \text{int}(AV + B) = \text{int}(Akb + B)$

A gama de variação é facilmente calculada, variando entre $n_{\min} = 2321$ et $n_{\max} = 3140$.

A resolução da medida do binário será
$$\delta b = \frac{1}{Ak} = 0.146[Nm]$$

$$\Delta b = \Delta^S b + \Delta^{CAD} b = 0.9 + 3 * 0.146 = 1.34[Nm]$$

A precisão é então:

Problema Exemplificativo

sensor de binário

c) Estabeleça a expressão da leitura da velocidade e deduza a sua precisão.

c) A velocidade é obtida na saída do codificador incremental com resolução $\delta\theta = 1^\circ$ entre duas leituras separadas por um período $T = 1/f = 0.2[s]$:

$$\begin{cases} n_1 = \frac{\theta_1 - \theta_o}{\delta\theta} \\ n_2 = \frac{\theta_2 - \theta_o}{\delta\theta} \end{cases} \Rightarrow \omega \approx \frac{\theta_2 - \theta_1}{T} = (n_2 - n_1) \frac{\delta\theta}{T}$$

O único erro é a resolução da leitura: $\Delta\omega = \frac{\delta\theta}{T} = f\delta\theta = 5[^\circ/s] = 87[\text{mrad}/s]$

Problema Exemplificativo

sensor de binário

d) Conclua quanto à relação entre potência mecânica e os valores adquiridos. Qual é a precisão ?

d) A potência mecânica é o produto do binário pela velocidade $P = b\omega$

A leitura dos dois parâmetros fornece dois valores b_m para o binário e ω_m para a velocidade. A definição da

precisão fornece limites para os erros: $\left\{ \begin{array}{l} |b - b_m| < \Delta b \\ |\omega - \omega_m| < \Delta \omega \end{array} \right.$ ou seja $\left\{ \begin{array}{l} b_m = b + \beta \Delta b \quad \text{com } |\beta| < 1 \\ \omega_m = \omega + \alpha \Delta \omega \quad \text{com } |\alpha| < 1 \end{array} \right.$

Logo $P_m = b_m \omega_m = (b + \beta \Delta b)(\omega + \alpha \Delta \omega) \approx b\omega + b\alpha \Delta \omega + \omega \beta \Delta b$

A precisão na medida da potência corresponde a majorar o erro: aqui podemos assumir um valor conservador com os

dois máximos $\Delta P = b_{\max} \Delta \omega + \omega_{\max} \Delta b = 160 * 0.087 + \frac{4200 * 2 * \pi}{60} * 1.34 = 603[\text{W}]$

a comparar com a potência máxima: $P_{\max} = 160 * \frac{3300 * 2 * \pi}{60} = 55300[\text{W}]$ resulta num erro relativo ao máximo:

$$\frac{\Delta P}{P_{\max}} = \frac{603}{55300} = 1.1\%$$