

Apontamentos de

Instrumentação para Medição

Por:

André Ferreira

César Soares

Luís Linhares

Fevereiro 2014

Índice

Programa.....	3
Outros:	4
Pontes de medição.....	4
Extensómetros	5
Medição de temperatura.....	8
RTD.....	8
Termopares.....	9
Medição de Deslocamento	10
LVDT.....	10
Deteção de proximidade.....	11
Medição de velocidade Angular.....	12
Resolução de exames.....	14
+-Fevereiro 2013.....	14
+-Janeiro 2013.....	19
+-Fevereiro 2012.....	25
+-Janeiro 2012.....	29
+-Janeiro 2011.....	35
+-Janeiro 2010.....	40
+-Fevereiro 2010.....	45
+-Janeiro de 2009.....	49
+-Fevereiro de 2009.....	54
+-Janeiro 2008.....	58
+-Fevereiro 2008.....	64
Outros	70
Bibliografia	73

Programa

- 1 - Conceitos Básicos de Metrologia. Erros e Incertezas associados às medições.
- 2 - Cadeias e Sistemas de Medição
 - 2.1 - Introdução;
 - 2.2 - Condicionamento e transmissão de sinal
 - 2.2.1. - Amplificadores operacionais: amplificadores inversores, não inversores e diferenciais;
 - 2.2.2 - Amplificadores de Instrumentação;
 - 2.2.3. - Pontes de Medição;
 - 2.2.4. - Filtros para sinal;
 - 2.2.5. - Modulação e desmodulação de sinal;
 - 2.2.6. - Transmissão de sinal.
 - 2.3 - Observação, Medição, Registo e Controlo de Grandezas Físicas e Manipulação e Apresentação de Resultados;
 - 2.4 - Medição de grandezas físicas: sensores/transdutores.
 - 2.4.1 Medição de Força e Deformação
 - 2.4.1.1 Célula de carga do tipo coluna
 - 2.4.1.2 Célula de carga do tipo barra
 - 2.4.1.3 Célula de carga do tipo anel
 - 2.4.1.4 Célula de carga do tipo núcleo de secção resistiva a trabalhar ao corte
 - 2.4.2 Medição de Temperatura
 - 2.4.2.1 RTD
 - 2.4.2.2 Termopar
 - 2.4.3 Medição de Deslocamentos
 - 2.4.3.1 Transdutores Analógicos
 - 2.4.3.1.1 Potenciométrico
 - 2.4.3.1.2 LVDT
 - 2.4.3.1.3 Indutivos por correntes de Foucault
 - 2.4.3.2 Transdutores Digitais
 - 2.4.3.2.1 Codificadores absolutos
 - 2.4.3.2.1.1 Lineares
 - 2.4.3.2.1.2 Rotativos
 - 2.4.3.2.2 Codificadores relativos / incrementais
 - 2.4.3.2.2.1 Lineares
 - 2.4.3.2.2.2 Rotativos
 - 2.4.4 Deteção de proximidade
 - 2.4.4.1 Indutivos por correntes de Foucault
 - 2.4.4.2 Do tipo Reed
 - 2.4.4.3 De efeito Hall
 - 2.4.4.4 Capacitivos
 - 2.4.4.5 Óticos
 - 2.4.5 Medição de Velocidade Angular
 - 2.4.5.1 Taquímetros eletromagnéticos
 - 2.4.5.2 Taquímetros digitais
 - 2.4.5.2.1 De detetor Ótico do tipo Barreira
 - 2.4.5.2.2 De Detetor Ótico do tipo Refletor
- 3 - A Indústria e as tecnologias de medição: engenharia online

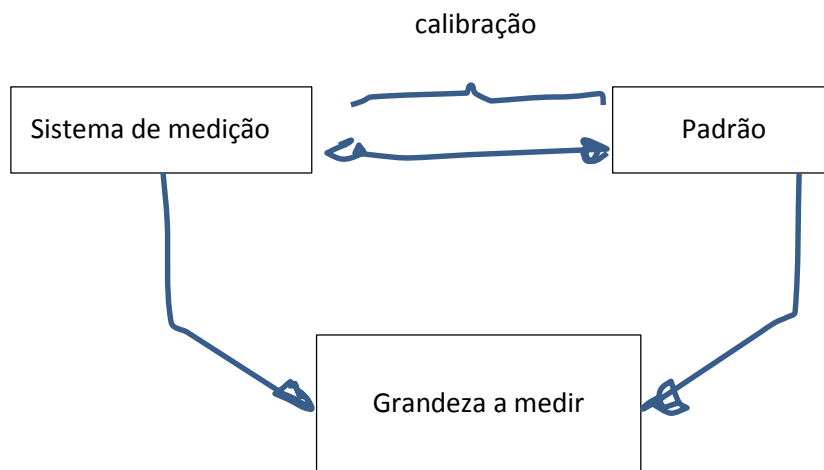
Outros:

Qual a(s) diferença(s) entre um padrão de trabalho e um padrão de referência?

R: Um padrão de trabalho é o transdutor utilizado para calibrar ou verificar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência enquanto que o de referência é em geral o padrão (transdutor) da mais alta qualidade disponível num local.

Em que consiste a calibração?

R: Conjunto de operações que estabelecem a relação entre valores de grandezas indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência e os correspondentes valores realizados por padrões.



Dito por outras palavras: É o conjunto de operações que permitem comparar os valores de grandeza de um sistema de medição com os correspondentes realizados nas mesmas condições por um padrão.

O que é a histerese?

R: Corresponde à maior diferença percentual observada na saída do dispositivo para o mesmo valor da grandeza de entrada, após ser realizado um ciclo completo de evolução crescente e decrescente da grandeza de entrada na gama de funcionamento correspondente, a dividir pelo gama completa da saída. Este valor faz parte do conjunto de características fornecidas pelo fabricante e definidas durante o respetivo procedimento de calibração.

Pontes de medição

Descreva o funcionamento de uma ponte de medição

R: Uma ponte de medição pode ser usada de dois modos: na medição do valor de um dos seus elementos, ou na medição da variação de um ou mais dos seus elementos:

Na medição de um elemento, a montagem da ponte utiliza o método do desequilíbrio nulo. A introdução de um elemento cujo valor se quer determinar acarretará o aparecimento de um desequilíbrio não nulo. O restabelecimento da condição de equilíbrio deverá ser realizado através de um elemento variável da ponte, cujo valor se conhece em cada momento. Este é o método de medição estático.

Na medição da variação de um dos seus elementos, o desvio de uma ou mais das suas impedâncias em relação ao valor inicial traduz-se numa variação da tensão de desequilíbrio. Esta tensão representa uma medição da variação da mensuranda. Este é o método de medição dinâmico:

Que tipos de pontes conhece? Com quais trabalhou?

R: Resistivas, indutivas e capacitivas (Pontes de Wien). Trabalhamos com pontes resistivas ou pontes de Wheatstone.

Quando é que uma ponte de medição se encontra equilibrada?

R: A ponte de medição encontra-se equilibrada quando a diferença de potencial nos terminais aos quais ligamos o voltímetro for 0.

Quais as vantagens da utilização de uma ponte de medição para a determinação da variação de uma impedância?

R: Uma melhor deteção do sistema para muito pequenas variações dos seus elementos sensores. A capacidade de traduzir o estado de referência do elemento sensor através de uma tensão de saída nula. A possibilidade de permitir a compensação de grandezas de influência.

Como determina a sensibilidade média de uma ponte de medição?

R:

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta V}$$

Como determina a não linearidade de uma ponte de medição?

$$L = \pm \frac{\text{Max}(Y_{med} - Y_{calc})}{\text{gama}} \cdot 100\%$$

A característica normalizada de uma ponte de medição varia com os valores dos componentes que a constituem?

R: Não. Uma vez determinada a característica de uma ponte de medição esta vai-se manter sempre igual, quaisquer que sejam as resistências que a constituem.

Extensómetros

Qual o princípio de funcionamento de um extensómetro?

R: Um extensómetro é uma resistência configurada de maneira que ao sofrer deformação num determinado sentido, a sua resistência elétrica varie bastante.

Como integrar vários extensómetros numa ponte de medição?

R: Os extensómetros podem ser integrados numa ponte de medição de várias maneiras dependendo daquilo que se quer medir, e se é necessário compensar o efeito da Temperatura.

a) para medir tensões longitudinais

Desenho

b) para medir tensões transversais

Desenho

c) para compensar o efeito da temperatura

Desenho

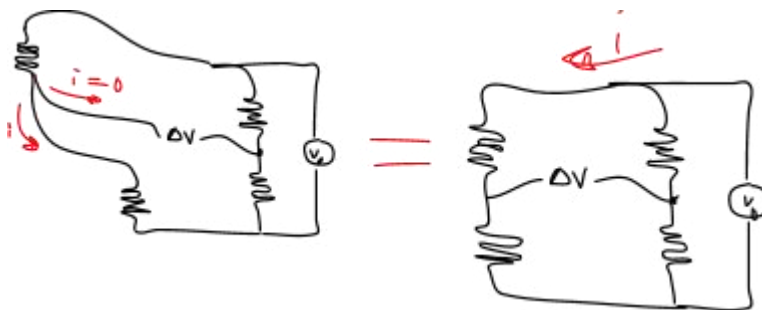
R Luís: Os extensómetros podem ser integrados de várias maneiras numa ou mais pontes de medição. Para começar devemos ter em atenção a seguinte expressão que nos vai possibilitar saber onde e como instalar cada extensómetro:

$$\Delta V = \frac{V_0}{4} \left(-\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Após análise da equação podemos então concluir que numa ponte de medição podemos instalar até 4 extensómetros e estes podem ser integrados em braços opostos ou adjacentes, conforme os efeitos que queiramos compensar.

Como minimizar o efeito dos cabos de medição quando se usa um extensómetro?

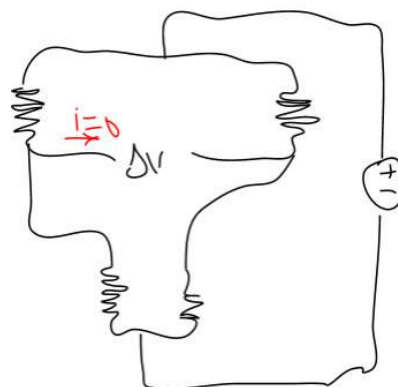
R: Para minimizar o efeito dos cabos de ligação com **um** extensómetro deve-se utilizar um extensómetro com 3 condutores e ligá-lo em ¼ de ponte .



Se os dois cabos do extensómetro por onde passa corrente de igual comprimento, como estão em braços adjacentes, a sua resistência é anulada.

Deve numa configuração de meia ponte ou de ponte completa, utilizar uma montagem com três condutores?

R: Não, a montagem de 3 condutores só faz sentido utilizar em um quarto de ponte, visto compensar o efeito dos cabos. Se for em meia ponte ou ponte completa isso já não acontece. Meia ponte como em baixo n faz sentido porque ao por em braços adjacentes o efeito da resistência dos cabos já é compensada. Em braços opostos nem dá para implementar isto, porque o voltímetro não pode ter dois cabos a vir dos dois extensómetros.



E minimizar o efeito de temperatura? O que acontece ao extensómetro quando existem variações de temperatura?

R: É possível minimizar o efeito de temperatura usando um extensómetro auto-compensado. Por outro lado, pode-se usar dois extensómetros colados no mesmo sentido mas em faces opostas da barra. Ou então utilizando um extensómetro ativo e outro fantasma (não sujeito a deformação).

Qual a necessidade do uso de um potenciómetro na P.M.?

Porque na prática não se consegue garantir desequilíbrio nulo na P.M. quando $\epsilon = 0$ (resistências dos cabos + resistências da PM não são bem =s, etc)

O que é uma célula de carga?

R: É um dispositivo utilizado para a medição de forças, estes dispositivos integram um elemento elástico ao qual está associado um sensor/ transdutor. Por exemplo, a barra metálica que usávamos para medir deformações é a nossa célula de carga [Sebenta cap 7, página 3 e 8].

Para medir o estado de deformação à superfície de uma peça solicitada, em que não são conhecidas as direções principais de tensão, que tipo de extensómetro escolheria?

R: Optaria por uma roseta com 2 ou mais extensómetros.

Como poderá diminuir o efeito da variação de temperatura na medição da deformação provocada por uma tensão mecânica numa peça de aço?

R:

Como verifica que um extensómetro está corretamente montado?

R: Deve-se verificar, por recurso a material apropriado, se existe isolamento entre o extensómetro e a barra → resistência na ordem dos $M\Omega$ bem como certificar-se que o valor nominal da resistência do extensómetro está dentro da tolerância de fabrico.

R Luís: Para sabermos se o extensómetro está bem ligado, temos que ter em atenção a posição de ligação dos 3 condutores que fazem parte dele, ou seja, o condutor sozinho liga ao braço superior da ponte de medição e os outros dois aos braços imediatamente a seguir ao extensómetro.

Por que razão pode ser utilizada a equação $\Delta V = V_0 \left(\frac{\Delta R_e}{4R_e} \right)$ nas aplicações habituais em engenharia mecânica?

R: Porque a deformação dos materiais em regime elástico é muito baixa (<1%) e daí também o será a variação percentual da resistência do extensómetro (<1%), i.e., $R_e \ll Re$. Por esse motivo o desequilíbrio da ponte de medição pode ser dado por essa expressão.

Quantos elementos sensores e condicionamentos de sinal (pontes de medição) necessita usar se quiser medir o coeficiente de Poisson de um material?

R: São necessários 2 extensómetros e duas pontes de medição. Os extensómetros são colocados perpendicularmente um ao outro, e em P.M. diferentes.

Assim, ter-se-á 2 desequilíbrios da ponte, um correspondente à deformação longitudinal, V_L , e outro à deformação transversal, V_T . Com para cada um dos desequilíbrios tira-se a deformação respetiva a partir da expressão $=4VV_0GF$. Depois relaciona-se as deformações com o coeficiente de Poisson por $T=-L$

Quando utiliza uma barra como corpo de prova de uma célula de carga, por que motivo deve medir o valor

da espessura da barra com um micrómetro?

R: Porque (completar)

Em que tipo de células de carga é o seu elemento elástico solicitado por esforços de flexão?

R: Célula de carga do tipo barra.

Medição de temperatura

RTD

Qual o princípio de funcionamento de um RTD?

R: O RTD baseia-se no facto de quando a temperatura a que um metal se encontra varia, também varia a sua resistência elétrica. A resistência pode ser medida com um ohmímetro, e mediante a apropriada relação, determinar a temperatura do metal.

Na medição de temperatura o RTD não é, normalmente, integrado numa ponte de medição. Porquê?

R: Porque para a resolução que se pretende em casos normais (0.1°C ?) as variações % resistência do RTD são grandes o suficiente para poderem ser lidas num ohmímetro.

Para o caso feito na aula dos 24°C o RTD dava 110, para 29°C dava 111.5 $^{\circ}\text{C}$. Ou seja, apenas numa das medições aumentou 1.5. Isto significa que R/R é elevado. Então no ohmímetro pode muito bem aparecer 110.5, 111.5, etc, porque tem algarismos suficientes para observarmos a variação.

Agora para o caso dos extensómetros: eles têm tipicamente 120. No entanto, a variação total de resistência foi (para a aula) de 0.1. Ora se tentássemos medir a resistência do extensómetro, não íamos ver variação nenhuma. Ia aparecer sempre 120,0 120,0, e só no último é que víamos 120,1. Como as variações são muito pequenas relativamente à resistência do extensómetro é necessário integrar numa P.M. para se medir apenas a variação em si.

Assim, só é necessário integrar numa P.M. quando as variações da resistência que queremos medir sejam muito pequenas relativamente à resistência total. No caso do RTD, tínhamos 100 de resistência total, e variava na ordem das unidades de , portanto não foi preciso integrar numa P.M. Só seria preciso se se quisesse medir variações de temperatura muito pequenas.

Porque se utiliza o método dos 4 condutores quando se pretende ler o valor da resistência de um Pt100?

R: Porque o valor da resistência dos cabos é significativo comparativamente às variações de resistência com a temperatura e portanto deve ser anulado.

Qual o offset típico de um transmissor de temperatura de dois condutores?

R: 4mA.

Que influências podem aparecer na medição de temperatura com um RTD e como as evitar?

R: Influências tem que ver com o “ruído” que podemos encontrar numa fábrica, que faz com que o sinal possa chegar com “defeitos”, o que nos irá induzir em erro e por sua vez nos retornará uma temperatura diferente da que realmente queremos medir.

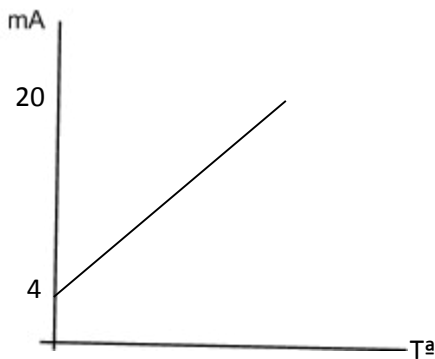
O que é um Transmissor de corrente?

R: Um transmissor de corrente é um aparelho que transmite o sinal do RTD, em forma de corrente. É usado geralmente quando essa transmissão é para longas distâncias visto que o sinal por ser em corrente é menos sensível a ruído e além disso o transmissor é insensível à resistência dos cabos.

Como liga um RTD a um transmissor de corrente?

R: Aos dois buracos vermelhos ligar dois cabos ou pretos ou vermelhos. Ao branco ligar um dos dois cabos restantes.

Qual é a característica de um transmissor de corrente?



Qual a necessidade da existência de normas?

R: As normas existem para definir o comportamento padrão de um RTD, com o qual qualquer RTD pode ser comparado. São assim também definidas as tolerâncias e as classes de RTD's de acordo com elas.

Termopares

Qual o princípio de funcionamento de um termopar?

R: O funcionamento do termopar baseia-se no efeito de Seebeck que diz que se tivermos dois materiais condutores, unidos em 2 junções cada uma a temperatura diferente, se produz uma diferença de potencial entre elas. Essa diferença de potencial pode ser medida e daí ler a diferença de temperatura entre as duas junções.

Um termopar é um transdutor de temperatura relativo ou absoluto?

R: O valor da grandeza é obtido através da medição de outras grandezas que estão relacionadas (por uma determinada função) com a grandeza a medir, por isso é um transdutor de temperatura relativo.

Que diferentes soluções conhece para efetuar a compensação de junta fria?

R: Para compensar a junta fria podemos:

- utilizar outro termopar cuja junta fria esteja a 0°C e a junta quente à Tª da junta fria do 1º termopar;
- utilizar um RTD para medir a temperatura da junção fria do termopar. Para essa Tª ir buscar à tabela com as f.e.m para 0°C e para o tipo de termopar em uso, e obter a f.e.m correspondente dessa temperatura para o termopar que estamos a usar;
- utilizar um circuito que faça automaticamente a compensação da junta fria.

Porque motivo a utilização de termopares em ambientes industriais pode requerer alguns cuidados no condicionamento de sinal?

R: Muitas vezes a unidade de aquisição de dados não pode estar nas imediações do transdutor de temperatura. Assim, e como o sinal gerado por estes é de muito baixo nível, deve assegurar-se que os cabos de "transporte de sinal", não introduzem diferenças significativas na fem gerada.

R Luís: Os cuidados tem que ver com o "ruído" que podemos encontrar numa fábrica, que faz com que o sinal

possa chegar com “defeitos”, o que nos irá induzir em erro e por sua vez nos retornará uma temperatura diferente da que realmente queremos medir.

Que parâmetros deve considerar na escolha de um termopar para uma dada aplicação?

R: Gammas de temperatura nas quais queremos trabalhar, o custo, a necessidade de mais ou menos linearidade, a distância à unidade de aquisição de dados.

Explique sucintamente o efeito de Seebeck?

R: O efeito de Seebeck é muito resumidamente a sensibilidade de um termopar, que nos traduz a fem numa temperatura, quando a junta fria está 0°C.

Como pode obter rapidamente a sensibilidade de um Termopar?

R: Consultando as tabelas normalizadas do termopar e vendo a variação da primeira temperatura, por ex. de 0° para 1°C

Que tipo de termopar tem uma característica aproximadamente linear para temperaturas entre 0 °C e 1000 °C?

R: Termopar tipo K

Quais as leis termoelétricas?

R: As leis termoelétricas são 3.....

Medição de Deslocamento

LVDT

O valor do sinal de saída de um LVDT, correspondente a uma dada posição do núcleo, mantém-se após uma interrupção momentânea da alimentação? O LVDT é um transdutor de medição absoluto ou relativo? Justifique.

R: O LVDT mantém o valor do sinal de saída após uma falha de alimentação. Trata-se de um transdutor de medição absoluto, porque ao invés de medir o deslocamento do alvo relativamente a uma posição inicial, apresenta o deslocamento desse mesmo alvo em relação à posição de equilíbrio do seu núcleo, que é sempre a mesma.

Quais os elementos constituintes de um sistema de medição de deslocamento que inclui o codificador linear incremental? Por outras palavras, qual a cadeia de medição em que se insere o codificador linear incremental?

R: Alvo, codificador linear incremental, condicionador de sinal / sistema de aquisição de dados.

Quais são os elementos constituintes de um sistema de medição de deslocamento que inclui um transdutor do tipo LVDT?

R: Alvo, LVDT, Condicionador de Sinal / sistema de aquisição de dados.

Que componentes deve usar para proceder à caracterização de um transdutor de deslocamento?

Se o sistema tiver maior que a resolução que a do padrão de trabalho usado na caracterização do transdutor estamos a incorrer em erros?

R: Bem, é suposto o padrão ter maior resolução que o transdutor a caracterizar, senão na verdade o padrão seria esse transdutor.

Quando é que o LVDT apresenta um sinal de tensão de saída 0V?

R: Quando o núcleo está no seu centro geométrico. Na saída do LVDT deverá ser lida uma tensão de 0V.

Qual a diferença entre gama nominal e gama de medição?

R: Gama de medição é o conjunto dos valores contidos cujo erro é contido dentro de determinados limites, já a gama nominal são todos os valores que o instrumento permite medir.

Entre as características de um transdutor de deslocamento fornecidas pelo seu fabricante é referido: não linearidade $\leq 0,25\%$; alimentação $2V@5kHz$. Como as interpreta?

R:

Descreva o princípio de funcionamento de um transdutor por correntes de Foucault.

R: O transdutor é constituído por uma bobina inserida num circuito de medição da sua bobina, alimentado a corrente AC de alta frequência. Na proximidade de um corpo metálico a bobina induz correntes de Foucault à superfície desse corpo. Essas correntes vão gerar um campo magnético que vai interagir com o da bobina, resultando na diminuição da sua indutância. A deteção dessa variação traduz a distância do corpo à bobina.

Deteção de proximidade

Explique a importância da histerese na utilização de um detetor.

R: A histerese é importante visto evitarmos um estado de desequilíbrio constante. Se não existisse histerese nos detetores iríamos ter constantemente um sinal de liga e desliga. Por exemplo, num portão de garagem, se não existisse histerese no sensor, e nós estivéssemos a passar a mão frente ao feixe, o portão estaria constantemente a ir para cima e para baixo, podendo danificar todo o sistema eletrónico.

Num detetor ótico utilizando fibras óticas, qual o papel desempenhado por estas?

R: Como as fibras são elementos de condução de luz, permitem que o emissor e o recetor sejam colocados em locais mais convenientes (afastados) relativamente ao alvo em questão.

Descreva o princípio de funcionamento de um detetor do tipo Reed.

R: Este detetor é constituído por duas lâminas de um material ferromagnético, selado numa ampola com atmosfera neutra. A presença de um campo magnético exterior (vindo de um íman permanente ou eletroímã por ex.) magnetiza as lâminas que são atraídas uma pela outra, fechando o contacto.

Descreva o princípio de funcionamento de um detetor por correntes de Foucault.

R: O princípio de funcionamento é o mesmo que o transdutor do mesmo nome, a única diferença, é que se estabelece um valor para a saída de um sinal nulo / não nulo.

Descreva o princípio de funcionamento de um detetor capacitivo.

R: Estes detetores são constituídos por um condensador com a forma de um cilindro, inserido num circuito para medir a sua capacidade. A aproximação de um objeto a este condensador origina capacidades entre as armaduras do condensador e o objeto que, estando em paralelo com o condensador, provocam um aumento aparente da sua capacidade. Esse aumento traduz presença de um objeto.

Descreva o princípio de funcionamento de um detetor ótico.

R: Os detetores são constituídos por um emissor de luz (lâmpada, LED) e um elemento recetor (célula fotoelétrica, fototransistor). Quando a luz é recebida pelo elemento recetor, a saída toma um valor não nulo.

Quais os tipos de métodos de utilização dos detetores?

R: Do tipo barreira luminosa com os emissor e recetor em lados opostos da barreira. Do tipo barreira luminosa com o recetor e o emissor do mesmo lado, e o refletor do lado oposto da barreira. Deteção obtida pela luz refletida pelo

próprio corpo, por um conjunto emissor-recetor. Geralmente são utilizados infravermelhos e não luz visível para não ocorrer interferência com a luz ambiente.

Medição de velocidade Angular

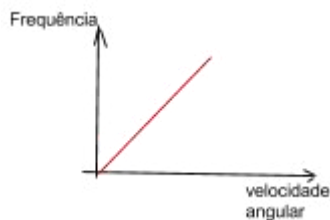
Quais os tipos de transdutores de velocidade angular?

R:

a) Taquímetros eletromagnéticos: Os taquímetros eletromagnéticos, baseados na lei de Faraday, funcionam como pequenos geradores elétricos, normalmente de corrente contínua. São acionados mecanicamente pelo corpo do qual se pretende conhecer a velocidade.



b) Taquímetros Digitais: Associam um detetor de proximidade (ótico ou indutivo) com um alvo solidário com o corpo móvel. A frequência gerada tem de ser lida por um frequencímetro;



Para que são usados?

R: Medição de velocidade linear ou angular, relativamente a um referencial considerado fixo. A maioria mede velocidade angular.

Tipos de Taquímetros?

R: Taquímetro DC de Íman Permanente: é um pequeno gerador constituído por um estator de íman permanente e um rotor onde está o induzido (conjunto de bobinas), o rotor está solidário com o veio que se quer conhecer a velocidade;

Por outras palavras: São constituídos por uma parte que roda (bobina + uns componentes) e uma fixa (íman permanente). A parte que roda, roda porque está solidária com o objeto de que se quer saber a velocidade. Quando esse objeto roda, gera-se uma fem nas bobinas proporcional à velocidade e ao sentido de rotação.

Taquímetro Digital Baseado num Detetor Ótico do Tipo Barreira: é constituído por uma fonte emissora de luz, um recetor do feixe luminoso gerado e um disco acoplado ao corpo em rotação. O aumento do número de ranhuras no disco promove uma melhor resolução; para se saber o sentido de rotação podem se utilizar duas fontes de luz e dois recetores, ou utilizar um disco com duas pistas concêntricas às quais estão associados dois detetores e dois emissores;

Taquímetro Digital Baseado num Detetor Ótico do Tipo Refletor: As ranhuras são substituídas por zonas refletoras; O emissor e recetor estão do mesmo lado da barreira; Neste caso pode-se usar por exemplo o codificador digital incremental.

Podemos saber o sentido de rotação do alvo com taquímetros?

R: Sim, com os taquímetros de íman permanente a polaridade (o sinal) da f.e.m. gerada depende do sentido de rotação.

Nos taquímetros digitais é possível obter o sentido de rotação usando 2 fontes emissoras de luz e 2 recetores colocados lado a lado, o que permite obter dois sinais desfasados, conhecendo-se assim o sentido de rotação. Pode também usar-se 2 pistas concêntricas desfasadas de 90°, estando associados a cada pista um conjunto emissor/recetor de luz.

De que parâmetros depende a resolução de um sistema que inclua um taquímetro digital?

R: Número de ranhuras ou elementos refletores/opacos, e resolução do frequencímetro.

Como melhorar a resolução de um sistema que inclua um taquímetro digital?

R: Aumentar o número de ranhuras ou elementos refletores e/ou usar um frequencímetro melhor.

Como obter o valor da velocidade angular de um taquímetro digital?

R: Se o taquímetro apenas apresentar um disco apenas com uma ranhura a frequência lida no frequencímetro (Hz) será equivalente à velocidade em rps do disco, caso o disco apresente mais ranhuras a frequência equivale à frequência dos impulsos gerados e deve ser dividida pelo número de ranhuras para se obter a velocidade do disco em rps.

De que parâmetros depende a resolução de um taquímetro eletromagnético DC?

R: Da sensibilidade característica do sistema em que está integrado e da resolução do aparelho de leitura (saída).

Que problemas pode apresentar um taquímetro eletromagnético DC?

R: Com a utilização verifica-se desgaste entre as escovas e o coletor e um enfraquecimento do campo magnético gerado pelo íman permanente o que se traduz na necessidade de manutenção regular.

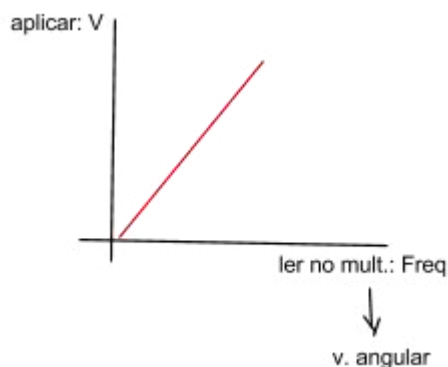
Qual a resolução na medição da frequência?

R: Ver qual é o menor valor que é possível ler no frequencímetro.

Qual a resolução na medição de velocidade de um sistema MotorDC → Detetor ótico → Frequencímetro?

R: Tentativa de resolução:

O que nós vamos fazer na aula é aplicar tensão ao motor → ver no multímetro a frequência → calcular v. angular



lar correspondente.

Resolução de exames

+Fevereiro 2013

1. Na figura 1 representa-se esquematicamente um transdutor de deslocamento do tipo LVDT.

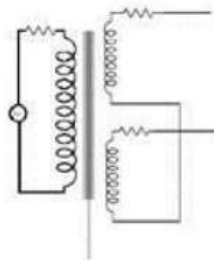


Figura 1

a) Enumere sucintamente e com clareza os elementos que o constituem. (0,5 valores)

Considere agora um transmissor de deslocamento do tipo LVDT, como representado na figura 2, com as seguintes características:

- alimentação: 5 Vpp@ 1kHz
- gama de medição: $\pm 2,5$ mm
- saída: 4÷20 mA

a) Três enrolamentos (primário e dois secundários dispostos simetricamente relativamente ao primário), um núcleo ferromagnético e uma fonte de tensão alternada.

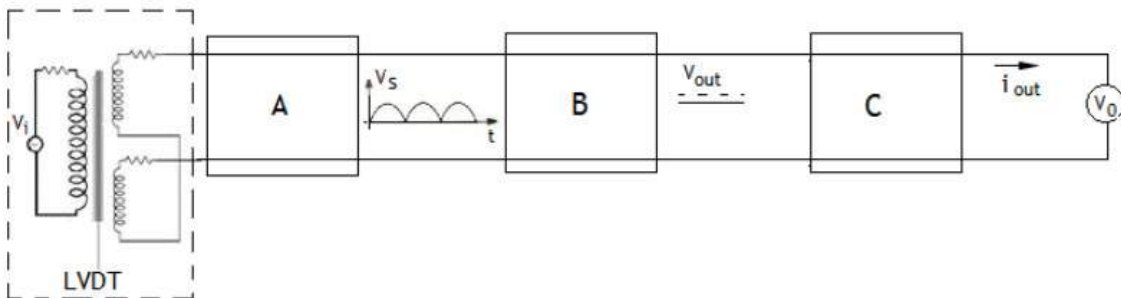


Figura 2

b) Enumere os diferentes blocos de condicionamento de sinal deste transmissor, A, B e C, definindo a função de cada um (de um modo claro e legível). (1,5 valores)

b)

	Nome	Função
A	Retificador de onda completa (os retificadores incluem desmoduladores)	Transformar o sinal de corrente alternada em corrente contínua, isto é, impedir qe haja inversão do sentido do fluxo da corrente
B	Filtro passa-baixo	...
C	Transmissor de corrente	Converter o sinal de tensão para corrente

- c) Os sinais de saída do bloco A, representados graficamente na figura 3, correspondem a 3 posições distintas do núcleo. Identifique, justificando, essas posições. **(1,5 valores)**

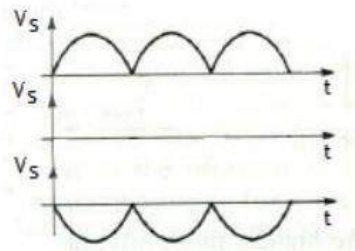


Figura 3

- c) O sinal de cima corresponde ao núcleo encontrar-se descentrado, o de baixo corresponde ao núcleo encontrar-se descentrado para o lado oposto que o de cima, e o do meio corresponde ao núcleo encontrar-se no centro do LVDT ($S_1 - S_2 = 0$).

2. Escolha um tópico de carácter prático tratado no curso de Eletrónica e Instrumentação. Identifique-o claramente na sua resposta. Escreva, de um modo claro e legível, as ideias mais relevantes sobre o assunto sem exceder 6 linhas. **(1,5 valores)**

...

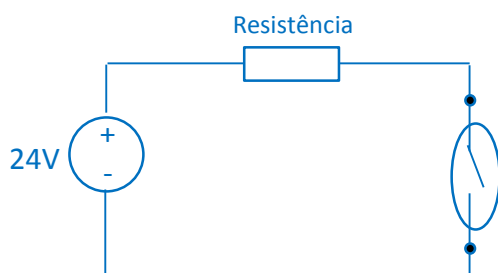
3. Os relés de palheta ou “reed” são utilizados como detetores de proximidade implementando, por exemplo, a função de fim-de-curso em muitos atuadores pneumáticos e outros semelhantes.

a) Descreva o princípio de funcionamento deste tipo de detetores. **(1,0 valores)**

b) Tendo em conta o princípio de funcionamento que descreveu na alínea anterior indique o ou os tipos de materiais que podem ser detetados por este detetor de proximidade. Justifique a sua resposta. **(1,0 valores)**

c) Apresente um circuito elétrico que, integrando um relé “reed”, produza uma saída em tensão, com um valor de 24 V aquando da deteção de um objeto alvo e um valor de nível baixo quando nenhum objeto é detetado. **(1,0 valores)**

- a) Com a aproximação de um material com campo magnético (ímã permanente ou eletroímã), este campo magnetiza as lâminas que se encontram no invólucro, que se atraem uma pela outra e fecham o circuito, dando origem a um sinal de saída não nulo.
- b) Só podem ser detetados materiais que produzam de alguma forma um campo magnético. Esse campo magnético pode ser permanente ou provir da energização de uma bobina, por exemplo.
- c)



4. A medição de pressões é extremamente importante para a monitorização e controlo de diferentes tipos de processos. Como saberá, existem vários tipos de transdutores de pressão, adequados à medição de pressões constantes ou dinâmicas.

a) Se necessitar de medir a pressão do óleo na câmara principal do atuador de uma prensa hidráulica durante uma operação de embutidura profunda, que tipo de transdutor de pressão escolheria? Justifique a sua resposta. **(1,0 valores)**

b) Explique sucintamente o princípio de funcionamento do transdutor de pressão que escolheu na alínea anterior. **(1,0 valores)**

a) **Transdutor de pressão com corpo de prova metálico, visto qe as pressões de embutidura vão ser aproximadamente estáticas.**

b) **Funciona pelo meio da medição da variação da resistência dos extensómetros com o qual é instrumentado.**

5. Considere um sistema para medição de temperatura conforme representado na figura 4. O sensor tem as seguintes características: $R(t) = R_0 (1 + \alpha t)$; $R_0 = 100 \Omega$; $\alpha = 0,00385 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

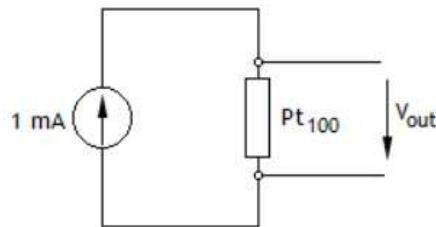


Figura 4

Para a leitura do sinal de saída tem disponível um multímetro de 3 ½ dígitos com escalas de 200mV, 2V, 20V, 200V.

a) Apresente a característica deste sistema de medição, entre 0 °C e 40 °C, indicando todos os pontos relevantes. **(1,0 valores)**

b) Admitindo que utiliza a mesma escala do multímetro para toda a gama referida, qual a resolução na medição de temperatura com este sistema? **(1,5 valores)**

Considere agora que pretende integrar o sensor numa ponte de *Wheatstone*, alimentada por uma fonte de tensão.

c) Apresente o esquema de integração do sensor na ponte de medição, considerando que as restantes resistências são iguais e o equilíbrio foi estabelecido para a temperatura de 0 °C. A corrente de excitação do sensor não deve ser superior a 1 mA. Indique claramente o valor de todos os componentes que utilizar, apresentando todos os cálculos que teve que efetuar. **(1,0 valores)**

d) Qual o valor de saída deste novo sistema, lido no multímetro, quando o sensor está submetido a uma temperatura de 20 °C? **(1,5 valores)**

a)

$$V = RI$$

$$R(40) = 100 + (1 + \alpha \cdot 40) = 115.4\Omega \rightarrow 115.4mV$$

b)

$$Resolução = \frac{Resolução\ ap.\ medição}{S}$$

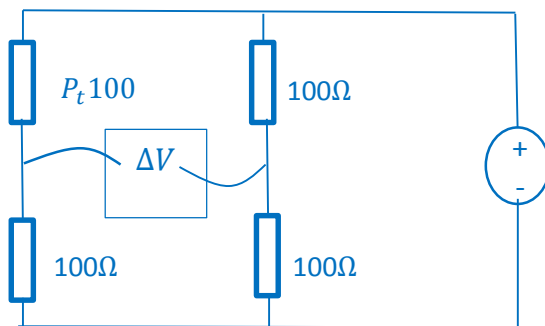
$$S = \frac{d}{dT} (R_0(1 + \alpha T)) = R_0 \alpha \frac{\Omega}{^\circ C} \rightarrow R_0 \alpha \frac{mV}{^\circ C}$$

A gama de medição será 15.4mV (100-115.4). Se estivesse integrado numa P.M. era possível obter melhor resolução pq só tínhamos de detetar esses 15mV, mas como não está tem qe se detetar os 115. A escala a usar deverá ser a de 200mV

1 9 9 . 9 mV -> resolução do aparelho) 0.1mV

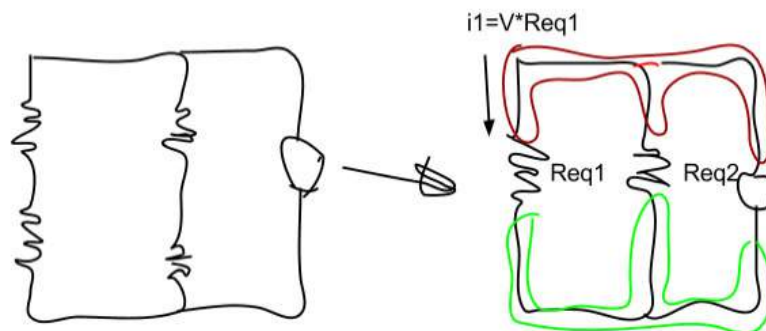
$$Res = \frac{0.1mV}{0.385} = 0.26^\circ C$$

c)



Se o equilíbrio foi feito para 0°C, então $\Delta V = 0$. Como a $^\circ C$ o Pt100 apresenta de resistência 100Ω. Assim, ou todas as outras resistências têm 100Ω ou se coloca lá um potenciométrico, e as restantes resistências com valor superior (120Ω por ex., qe é um valor mais comum). Para a corrente qe passa no sensor não ser superior a 1mA, temos qe ver qe a corrente máxima passa quando a resistência é mínima (para a mesma fonte de tensão). Então a fonte de tensão deve ter

$$V = RI \rightarrow V = 200\Omega \cdot 10^{-3}A = 0.2V$$



d) Quando o sensor está submetido a uma T^a de 20°C apresenta resistencia de

$$R(20) = 100(1 + \alpha \cdot 20) = 107.7\Omega \rightarrow \Delta R = 7.7\Omega$$

Para $\frac{1}{4}$ de ponte tem-se

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta R}{4R} \rightarrow \frac{\Delta V}{0.2V} = \frac{7.7\Omega}{4 \cdot 100\Omega} \rightarrow \Delta V = 3.85mV$$

6. Determinou-se a característica de um LVDT, tendo-se obtido os resultados da figura 5.

Desl. (mm)	Tensão (V)
-6	-6.757
-5	-5.540
-4	-4.483
-3	-3.372
-2	-2.235
-1	-1.132
0	0.000
1	1.133
2	2.233
3	3.375
4	4.481
5	5.541
6	6.754

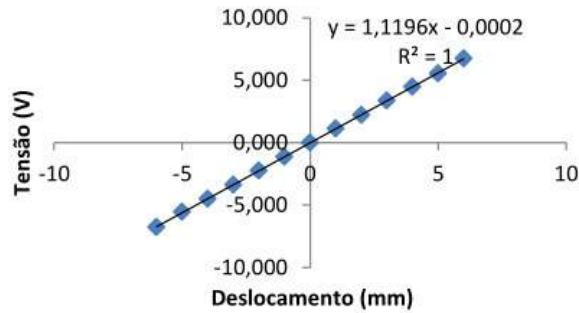


Figura 5

a) Determine a não linearidade do LVDT. (1,5 valores)

b) Suponha que dispõe de um voltímetro de 4 1/2 dígitos com as escalas 200mV, 2V, 20V, 200V. Qual a melhor resolução na medição de deslocamento que é possível obter com este sistema (LVDT + voltímetro) na gama ±6mm? (1,0 valores)

Considere agora que pretende adquirir o sinal de posição produzido por este LVDT utilizando uma carta de aquisição A/D que pode ser programada para gamas de entrada unipolares: 0/1.25 V; 0/2.5 V; 0/5 V; 0/10 V; e bipolares: ±1.25 V; ±2.5 V; ±5 V; ±10 V.

c) Qual deverá ser o número de bits do conversor A/D, caso se pretenda ler deslocamento com uma resolução melhor que 2µm (gama ±6mm)? (1,5 valores)

d) Se o LVDT for usado para medir um deslocamento de um corpo com movimento harmónico, com frequências abaixo de 100 Hz, que cuidado deve ter na escolha da frequência de amostragem da carta de conversão A/D? (1,0 valores)

a) Ver qual o ponto mais afastado da reta da curva característica e dividir esse afastamento pela gama de medição

b) Fácil

c) Gama a escolher +-10V
2µm de deslocamento corresponde a

$$S = 1.12 \frac{V}{mm} \rightarrow \text{para } 2\mu\text{m} \rightarrow 2.24\text{mV}$$

Como queremos resolução igual ou **melhor**, então a resolução deve ser 2µm ou mais baixo, isto é, 2.24mV ou menos.

$$\pm 10V \text{ de gama} \rightarrow \frac{2 \cdot 10}{2^n} \leq 2.24 \cdot 10^{-3}V \rightarrow n \geq 13.12 \rightarrow n \geq 14$$

O "2" no numerador vem do facto de ser uma gama de entrada bipolar.

d) Devemos ter o cuidado de garantir que a $f_a \geq 10f_s$, portanto a frequência de amostragem deverá ser de 1kHz ou mais.

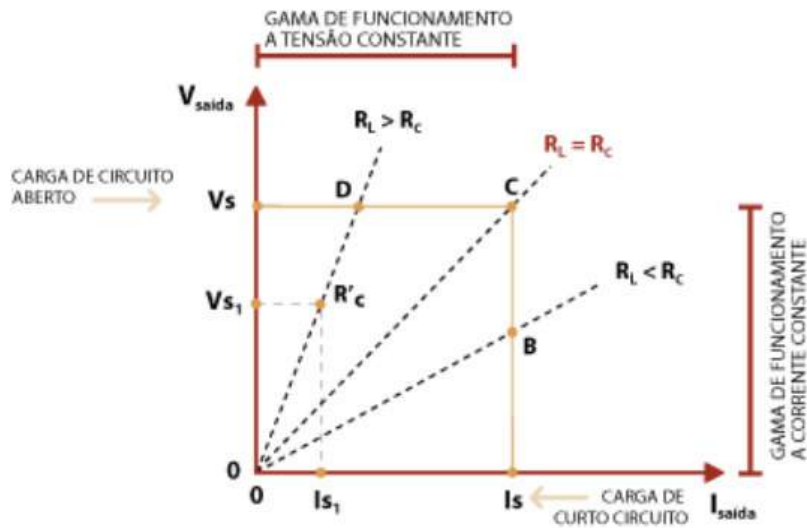
+Janeiro 2013

1. De entre os equipamentos genéricos de laboratório, as fontes de alimentação reguláveis e estabilizadas de corrente/tensão são um equipamento importante.

a) Explique, clara e sucintamente, o que é uma fonte regulada e estabilizada de tensão/corrente. (1,0 valores)

b) Explique, clara e sucintamente, recorrendo ao respetivo diagrama genérico de funcionamento, como funciona este equipamento para qualquer carga que lhe seja aplicada. (1,0 valores)

- a) Uma fonte regulada e estabilizada de tensão/corrente é um aparelho que permite fornecer uma corrente ou tensão constante regulável conforme o desejado até ao limite permitido pelo aparelho.
- b) Ajusta-se manualmente no equipamento a tensão de saída pretendida (por exemplo). Se aumentarmos a carga aplicada, o equipamento irá aumentar a corrente fornecida, para compensar.



Onde R_L é resistência (Load) da carga, R_c é a resistência de comutação. Se ajustarmos a fonte de forma a permitir os valores de tensão e corrente máximos (V_s e I_s) e introduzirmos uma carga cada vez maior

2. a) Quais são as diferenças fundamentais entre um termopar e um RTD? Tenha em conta os princípios de funcionamento, características mais significativas e respetivas vantagens e desvantagens. (1,5 valores)

b) Na medição de temperatura é frequente falar-se nos erros devidos ao efeito de autoaquecimento. Estes surgem em ambos os tipos de sensores/transdutores de temperatura aqui considerados? Justifique. (1,0 valores)

c) Como devem ser controlados estes efeitos de autoaquecimento? (0,5 valores)

- a) Tópicos a falar:
 - Funcionamento: um por var. de resistência, outro por geração de fem.;

	LVDT	Termopar
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • ↑ (linearidade, exatidão) 	<ul style="list-style-type: none"> • Não precisa alimentação

		<ul style="list-style-type: none"> • Simples e ↓€ • Alta gama de medição
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta auto-aquecimento • ↑ € • Precisa de ser alimentado 	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ linearidade • Medição relativa de T^{as} e precisa de Tref bem conhecida

Tabela de comparação para medições de temperatura

Critério	Termopar	RTD	Termistor
Faixa de Temperatura	-267°C a 2316°C	-240°C a 649°C	-100°C a 500°C
Precisão	Bom	Ótimo	Bom
Linearidade	Muito bom	Ótimo	Bom
Sensibilidade	Bom	Muito bom	Ótimo
Custo	Ótimo	Bom	Muito bom

- b) O auto-aquecimento consiste na dissipação de calor por efeito Joule $\dot{Q} = I^2 R$ (W) ou $Q = I^2 R t$ (J) quando o RTD é atravessado por uma corrente (para se poder medir o valor da resistência ($R = \frac{V}{I}$)). Como o termopar produz um sinal em tensão não é necessário fazer por ele passar uma corrente para medir esse sinal, e por isso não ocorre auto aquecimento
- c) Usar o mínimo de corrente necessária para medir o valor da resistência do RTD, pintar o RTD de preto para aumentar a emissividade (tendo qe se usar escudos de radiação porque o coef. de absorção também aumenta) e aumentar o coeficiente de convecção junto ao RTD.

3. Os detetores de proximidade são elementos extremamente importantes na automação de processos de fabrico, de montagem, de inspeção e outros. Um dos tipos de detetores de proximidade disponíveis é o detetor capacitivo.

- a) Descreva o princípio de funcionamento deste tipo de detetores. **(1,0 valores)**
- b) Represente graficamente a característica de um detetor de proximidade. **(0,5 valores)**
- c) Tendo em conta o princípio de funcionamento que descreveu na alínea a) indique o ou os tipos de materiais que podem ser detetados por este detetor de proximidade. Justifique a sua resposta. **(1,0 valores)**
- a) Um condensador de duas placas condutoras vê a sua capacidade aumentada quando estas se aproximam e vice-versa. No caso do detetor capacitivos com a aproximação/afastamento de um alvo a
- b) Fácil
- c) Qualquer material pode ser detetado porqe...

4. Uma célula de carga do tipo coluna é normalmente instrumentada com quatro extensômetros de resistência. Destes, dois são colocados de modo a medirem as deformações axiais da coluna, que apresenta uma forma cilíndrica, sendo os outros dois colocados de modo a medirem as deformações circunferenciais desta.

a) Explique as motivações da utilização de quatro extensômetros, dois sujeitos a deformações axiais e dois a deformações circunferenciais. **(1,0 valores)**

b) Apresente um esquema da integração dos quatro extensômetros numa ponte de Wheatstone. **(0,5 valores)**

c) Assumindo que o material da coluna apresenta um coeficiente de Poisson com um valor de 0,3 indique, justificando, a relação entre a sensibilidade obtida com o esquema que apresentou na alínea anterior e a que obteria com a utilização de apenas um extensômetro que estivesse sujeito à deformação axial da coluna. **(1,0 valores)**

a) Aumentar sensibilidade, compensar efeitos da resistência dos cabos e influencia da temperatura nas resistências.

b) Ver p. do caderno

c)

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Como $\epsilon_T = -\nu \epsilon_L \rightarrow \frac{\Delta R_T}{R_T} = -\nu \frac{\Delta R_L}{R_L}$

$$\Delta V = k \left(2 \frac{\Delta R_1}{R_1} + 2\nu \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \rightarrow \Delta V = 2k \frac{\Delta R_1}{R_1} (1 + \nu)$$

Para um só extensômetro seria

$$\Delta V = k \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

Portanto a sensibilidade vem aumentada por um fator de $2(1 + \nu)$

Com o coeficiente de poisson a 0.3 o fator era 2.6

5. Considere um sistema para medição de deslocamento baseado num transdutor potenciométrico conforme representado na figura 1.

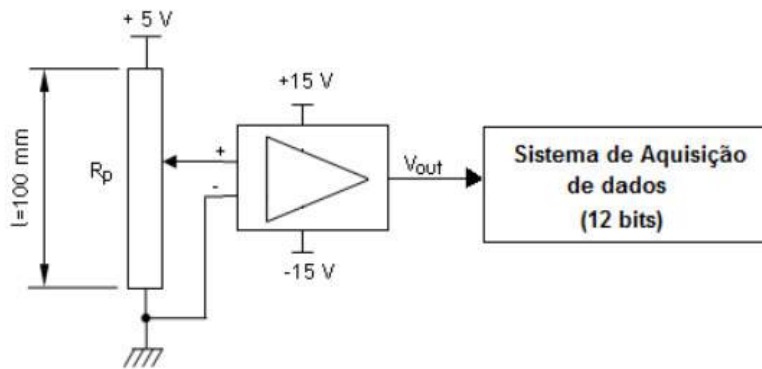


Figura 1

O amplificador tem um ganho G e satura a ± 13 V. O sistema de aquisição de dados apresenta as seguintes gamas de tensão de entrada:

Unipolares: 0/1,25 V; 0/2,5 V; 0/5 V; 0/10 V;

Bipolares: $\pm 1,25$ V; $\pm 2,5$ V; ± 5 V; ± 10 V.

a) Qual o ganho máximo do amplificador para poder ser considerada toda a gama de medição?

(1,5 valores)

a) De acordo com o funcionamento deste sistema, o sinal a entrar no amplificador pode ir de 0, quando o terminal de entrada do amplificador positivo está encostado ao negativo, até 5V quando está a 100mm. Assim sendo o sinal só toma valores positivos. Para aproveitar ao máximo o amplificador devemos portanto ter um $V_{out} \in [0; 13]V$

$$5 \cdot G = 13 \rightarrow G = \frac{2.6V}{V}$$

É o valor do ganho máximo. Se só puder tomar valores inteiros, então deve ser 2V/V (se ultrapassar os 2.6 ultrapassa o valor de saturação do amplificador)

Para as alíneas seguintes considere $G = 2,0$.

b) Qual a sensibilidade deste sistema de medição?

(1,0 valores)

c) Se pretender medir deslocamentos entre 20 e 40 mm, qual a gama de tensão de entrada do sistema de aquisição que deverá ser selecionada, de modo a obter a melhor resolução na medição de deslocamento?

(1,0 valores)

d) Nas condições da alínea c), com que resolução podem ser medidos deslocamentos com este sistema de medição?

(1,5 valores)

b) Vou resolver como se fosse pedida a resolução do sistema que é mais difícil

$$Resolução = \frac{Resolução\ aparelho\ de\ medição}{S}$$

Neste caso o numerador é dado pela resolução do sistema de aquisição de dados,

Para um sistema de aquisição de dados tem-se

$$\frac{(\pm)x V}{gama} \rightarrow \frac{(2)^x}{2^n} V \quad (1)$$

Mas sabemos que o amplificador não vai atingir a tensão de saturação, porque escolhemos um ganho menor que o máximo. Por isso não podemos fazer

$$Resolução = \frac{13 V}{2^{12}} = 3.17mV$$

Também não podíamos fazer isso porque a máxima gama que temos para um sistema de aquisição de dados unipolar é [0;10]V

Temos primeiro que determinar qual a variação de V_{out} . Para um ganho de 2 V/V, $V_{out} \in [0; 10]V$

Então a resolução é dada por

$$Resolução = \frac{10 V}{2^{12}} = 2.44mV$$

Por sua vez a sensibilidade é dada por

$$S = \frac{10 V}{100 mm} = 0.10 V/mm$$

Assim, a resolução do sistema é

$$Res = \frac{2.44 \cdot 10^{-3} V}{0.10 V/mm} = 0.0244mm$$

- c) Portanto o objetivo é saber o valor de x da equação (1). Para isso precisamos de saber a gama de variação de V_{out} para distancias entre 20 e 40mm e para um ganho de 2 V/V.
Como sabemos a sensibilidade, para 20mm $V_{out} = 0.1 \cdot 20 = 2V$ e para 40mm $V_{out} = 0.1 \cdot 40 = 4V$. A variação de V_{out} é $\Delta V_{out} = 2V$ e é este o valor de x.

O valor da gama a escolher para o sistema de aquisição de dados deveria ser então 2V, mas só temos 1.25 ou 2.5V. Então tem que se escolher a gama 2.5V. Se escolhêssemos a de 1.25V o que ia acontecer é que acima de 1.25V deixávamos de observar qq variação...

- d) Aplicando novamente a eq (1) para uma gama unipolar de $x= 2.5V$

$$Res_{sist aq dados} = \frac{2.5V}{2^{12}} = 0.610mV$$

A sensibilidade mantém-se porque não depende do sistema de aquisição de dados e assim

$$Res = \frac{0.610 mV}{100 \frac{mV}{mm}} = 6.3\mu m$$

Como se pode ver melhorou-se a resolução na medição.

6. Numa das rodas de um robô móvel foi instalado um codificador incremental que fornece $N = 200$ impulsos por volta. Os impulsos são contados por um contador de $n = 24$ bits. No controlador do robô existe uma rotina, executada periodicamente a intervalos de tempo $T = 100$ ms, que lê o valor do contador e efetua o cálculo da velocidade. As rodas do robô (4 rodas iguais) têm um diâmetro $\phi = 0,52$ m.

- a) Determine uma expressão que lhe permita calcular a velocidade do robô, v , em m/s. (1,5 valores)
- b) Calcule a resolução com que é possível medir a velocidade do robô. (1,5 valores)
- c) Determine a distância que pode ser percorrida pelo robô até que o contador exceda o seu limite de contagem. (1,0 valores)
- d) Sugira uma forma de melhorar a resolução calculada em b). (1,0 valores)

+Fevereiro 2012

1. Uma célula de carga do tipo coluna é normalmente instrumentada com quatro extensómetros de resistência. Destes, dois são colocados de modo a medirem as deformações axiais da coluna, que apresenta uma forma cilíndrica, sendo os outros dois colocados de modo a medirem as deformações circunferenciais desta.

a) Explique as motivações da utilização de quatro extensómetros, dois sujeitos a deformações axiais e dois a deformações circunferenciais. **(1,0 valores)**

b) Apresente, justificando, um esquema da integração dos quatro extensómetros numa ponte de Wheatstone. **(1,0 valores)**

a) A utilização dos extensómetros posicionados nas duas posições deve-se à possibilidade de medir tensões axiais e transversais. A utilização de dois extensómetros axiais permite a duplicação da sensibilidade à medição das tensões axiais enquanto que a utilização de 2 extensómetros transversais? permite aumentar a sensibilidade na medição das tensões transversais por um fator de $(1 + \nu)$.

b) Os dois axiais e os dois transversais em braços opostos entre eles. É necessário ser desta forma de maneira a não anular os seus valores

$$V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Acabar

2. A medição de pressões é extremamente importante para a monitorização e controlo de diferentes tipos de processos. Como saberá, existem vários tipos de transdutores de pressão, adequados à medição de pressões constantes ou dinâmicas.

a) Se necessitar de medir a pressão no interior de um molde durante o processo de injeção de uma peça em material plástico, que tipo de transdutor de pressão escolheria? Justifique a sua resposta tendo em conta que o tempo de injeção é, normalmente, da ordem do segundo. **(1,0 valores)**

b) Explique sucintamente o princípio de funcionamento do transdutor de pressão que escolheu na alínea anterior. **(1,0 valores)**

a) Transdutor com corpo de prova metálico instrumentado com LVDT (assumindo que as pressões que se atingem durante a injeção são baixas, confirmar) porque se trata uma pressão que é aplicada relativamente constante ao longo desse segundo, e o transdutor mais apropriado para pressões estáticas / de baixa frequência é o mencionado.

b) O LVDT mede o deslocamento sofrido localmente pela peça, sendo esse deslocamento convertido na unidade de condicionamento / aquisição de dados para deformação e depois para pressão.

3. Escolha **uma** das questões seguintes, A ou B, e responda com clareza (assinalando os tópicos), com escrita legível e compreensível: (4,0 valores)

Questão A

Em muitos processos industriais é essencial a medição e a monitorização de temperatura. Tendo em conta os dois tipos de sensores/transdutores estudados no curso de E&I, por serem os mais comuns, diga:

- de que sensores/transdutores estamos a falar?

- quais os seus princípios de funcionamento?
- quais os aspetos fundamentais do condicionamento de sinal tipicamente usado com cada um dos tipos de sensores/transdutores?
- quais as principais fontes de erro para cada um dos tipos de sensores/transdutores?
- estabeleça a comparação entre as suas características.

Questão B

A medição de deslocamento foi um tópico tratado em sessões teóricas e nas aulas experimentais. Diga, de uma maneira sistematizada, o que entende relevante sobre este tema, separando os aspetos que entende dever destacar.

A:

[Iguar ao de Janeiro 2013, ex.2](#)

B: Falar de:

Transdutores Analógicos:

Potenciométrico, LVDT, Indutivos por correntes de Foucault

Transdutores Digitais:

Codificadores absolutos: Lineares, Rotativos

Codificadores relativos / incrementais: Lineares, Rotativos

4. Considere o sistema de levantamento de cargas representado na figura 1 constituído por duas roldanas, R1 (móvel) e R2 (fixa), e uma célula de carga com saída em corrente (4-20 mA, para uma gama de -1kN a +1kN). Admita que para a leitura do sinal da célula tem disponível uma resistência de 200 Ω para efectuar a conversão I→V e um multímetro de 3 ½ dígitos com escalas de 200mV, 2V, 20V, 200V.

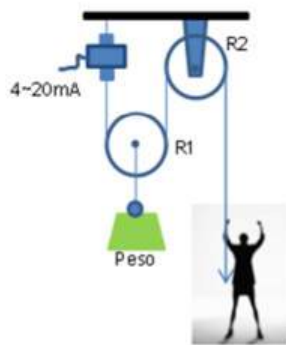


Figura 1

- a) Calcule a sensibilidade e a resolução do sistema na medição do peso (admitindo que utiliza a mesma escala do voltímetro para toda a gama da célula). **(2,00 valores)**
- b) Determine a equação que permite calcular o peso a partir do valor lido pelo voltímetro. **(1,0 valores)**
- c) Em termos de resolução, haveria vantagem na utilização do multímetro no modo de leitura de corrente (escala 20mA)? Justifique. **(1,0 valores)**

a)

Ver graf. P. do meu caderno

$$S_{transm} = \frac{20 - 4}{1 - (-1)} = \frac{8mA}{kN}$$

$$S_{sistema} = 8 \cdot 200 = 1.6V/kN$$

Para os valores máximos da gama de entrada -1kN e 1kN a saída apresenta 4mA ou $4 \cdot 200 = 0.8V$ e 20mA ou $20 \cdot 200 = 4V$. Portanto o valor máximo a aparecer no voltímetro são 4V e a escala tem de poder dar esse valor.

Para um voltímetro de 3 ½ dígitos

— — — —
- 1 9 . 9 9 -> escala de 20V

$$Resolução = \frac{0.01V}{1.6V/kN} = 6.25N$$

b)

$$(valor\ lido) \cdot \frac{1}{S_{sist}} = \frac{(valor\ lido\ (V))}{1.6} = \dots kN$$

- c) Ou seja está a perguntar o que é melhor: o voltímetro na escala de 20V ou amperímetro na escala de 20mA. Na escala de 20mA

— — — —
1 9 . 9 9 mA

$$S = 8 mA/kN$$

$$Res = \frac{0.01 mA}{8 mA/kN} = 1.25N$$

É melhor o amperímetro na escala de 20mA pq tem melhor resolução (valor mais baixo).

5. Um transdutor potenciométrico foi caracterizado, usando-se como padrão de referência um sistema de medição de deslocamento baseado num LVDT, com capacidade de medir com uma resolução de $5\mu\text{m}$. Os resultados obtidos encontram-se representados na figura 2.

Desl. (mm)	Tensão (V)	Desl. (mm)	Tensão (V)
0	0,000	8	8,972
1	1,132	7	7,833
2	2,233	6	6,745
3	3,372	5	5,526
4	4,483	4	4,468
5	5,540	3	3,379
6	6,757	2	2,244
7	7,834	1	1,133
8	8,963	0	0,000

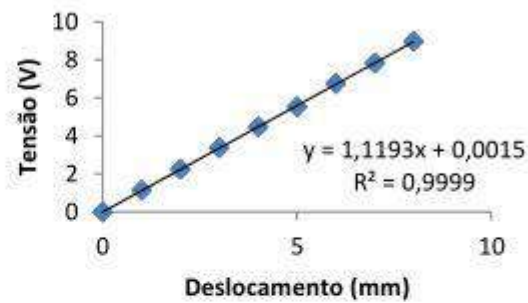


Figura 2

- a) Suponha que a tensão de saída do transdutor potenciométrico foi medida com um voltímetro de $4\frac{1}{2}$ dígitos. Qual das escalas terá sido usada (200mV, 2V, 20V, 200V)? Justifique. (1,5 valores)
- b) Qual a melhor resolução na medição de deslocamento que é possível obter com este conjunto: transdutor potenciométrico e voltímetro? (1,0 valores)
- c) Determine a histerese do transdutor. (1,5 valores)

a) Mais do mesmo

b)

c)

6. Considere o sistema de medição e visualização de velocidade representado na figura 3. O sistema de aquisição de dados integra uma carta de conversão A/D de 12 bits que possui as seguintes gamas de tensão de entrada:

Unipolares: 0/1,25 V; 0/2,5 V; 0/5 V; 0/10 V;

Bipolares: $\pm 1,25$ V; $\pm 2,5$ V; ± 5 V; ± 10 V.

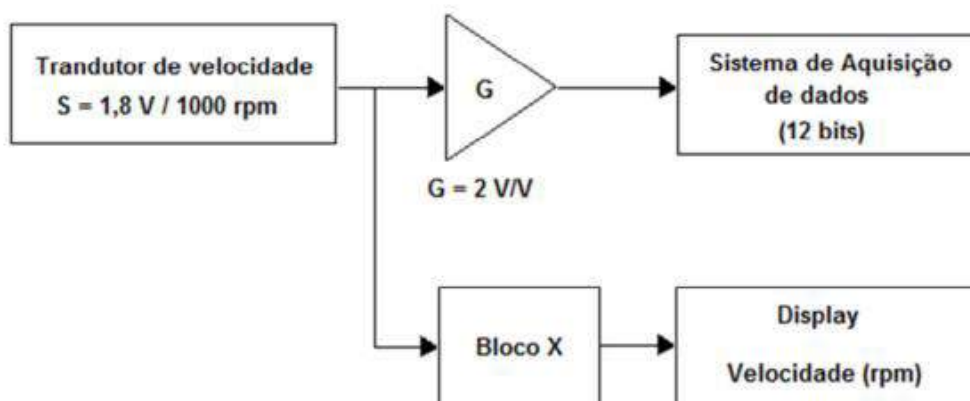


Figura 3

a) Qual a gama de tensão de entrada da carta de conversão A/D que deve ser selecionada de modo a obter a melhor resolução na medição de velocidade entre 1000 e 2000 rpm? Justifique.

(1,0 valores)

b) Na situação da alínea anterior, qual a resolução na medição de velocidade permitida com a cadeia de medição representada?

(1,0 valores)

c) Que preocupação deverá ter na escolha da frequência de amostragem da carta de aquisição? Justifique.

(1,0 valores)

d) Tendo em conta que o display fornece uma representação numérica igual ao valor da tensão que lhe é aplicada expressa em mV, qual deverá ser a característica do bloco X por forma a visualizar no display o valor da velocidade em rpm?

(1,0 valores)

a) Para 1000 rpm o amplificador apresenta uma tensão de saída $V_s = 1.8 \cdot 2 = 3.6V$ Para 2000rpm $V_s = 1.8 \cdot 2 \cdot 2 = 7.2V$. A melhor resolução possível será obtida se ajustássemos o sistema de aquisição de dados para a menor gama possível, que é $[0; 3.6]V$ ($7.2 - 3.6 = 3.6V$). No entanto o sistema o menor que tem que englobe esta gama é a unipolar $[0; 5]V$. Para esta gama, a resolução do sist. de aquisição de dados seria dada por

$$Res = \frac{5V}{2^{12}} = 1.22mV$$

Quanto maior a gama, maior o denominador, e maior a resolução (pior). Por isso se deve usar a menor gama possível.

b) A resolução do sistema para esta resolução do sistema de aquisição de dados

$$Res_{sistema} = \frac{Res_{carta}}{S} = \frac{1.22 \cdot 10^{-3}V}{\frac{3.6V}{10^3rpm}} = \frac{1.22}{1.80}rpm = 0.339rpm$$

c) $f_a \geq 10f_s$. Admitindo que a velocidade é medida por algum transdutor dos estudados, o sinal de saída do mesmo será em Hz (impulsos por segundo). Devemos então saber qual a velocidade máxima que se pretende medir, e qual a frequência a que corresponde, para se garantir que temos pelo menos 10 pontos de amostragem para esse sinal à frequência (velocidade) máxima.

d) Está-nos a pedir a função de transferência do bloco para uma entrada em V e saída em rpm. Para o caso em que temos 1000 rpm, a tensão que o bloco vê à entrada são 1.8V, mas à saída tem de dar 1000rpm. Então "x" deve ser o valor do bloco:

$$1.8V \cdot x \frac{rpm}{V} = 1000rpm \rightarrow x = 555.6 rpm/V$$

+Janeiro 2012

1. Quando um extensómetro de resistência está integrado numa montagem em quarto de ponte, e o corpo em que está colado é submetido a deformações, as alterações do valor da sua resistência nominal traduzir-se-ão por variações na tensão de saída da ponte de medição. Exprima o desequilíbrio da ponte de medição em função da deformação (ϵ) e mostre em que condições esse desequilíbrio varia (ou não) linearmente com a deformação ϵ sofrida pelo extensómetro.

Nota: todas as resistências são iguais ao valor nominal da resistência do extensómetro, R . Considere V_0 a alimentação da ponte e ΔV o sinal do seu desequilíbrio.

(2,0 valores)

Fazer o desenho da P.M.

Para $\frac{1}{4}$ de ponte onde R_1 é a resistência do extensómetro tem-se

$$\Delta V = V_0 \frac{R_3 \cdot \Delta R_1}{(R_3 + R_2)(R_4 + R_1 + \Delta R_1)}$$

Quando as 4 resistências são iguais e $\Delta R_1 \ll R_1$ a equação acima simplifica-se para

$$\Delta V = V_0 \frac{\Delta R}{4R} \quad (1)$$

Porque o $\Delta R_1 \approx 0$ (comparando com as outras)-

Por outro lado

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = \epsilon \quad (2)$$

Juntando (1) e (2)

$$\Delta V = \frac{GF \epsilon V_0}{4}$$

Em eng. mecânica lidamos geralmente no regime elástico dos materiais. Para esse regime, as deformações são em geral muito pequenas (<1%) e assim também o são as variações percentuais das resistências dos extensômetros que as medem. É apenas quando as deformações são muito elevadas que se começa a observar nitidamente a não linearidade. Ela no fundo está sempre lá, mas para valores pequenos de ΔR pode ser desprezada.

2. De entre as fontes de erro associadas à medição de temperatura quando se utilizam RTDs, explicita duas delas e explique, sucinta e claramente, porque afetam a medição e como podem ser minimizadas.

(1,75 valores)

Auto-aquecimento: -> usar mínimo de corrente possível a passar no RTD

Resistência dos cabos: -> usar 4 cabos-

3. A figura 1 apresenta o diagrama de blocos da cadeia de medição utilizada para a medição de forças com uma célula de carga do tipo anel. Esta utiliza um corpo de prova metálico em forma de um anel, instrumentado com extensômetros de resistência, e apresenta uma gama de medição de 0 a 200 kN.



Figura 1

De acordo com a figura, F é a força a medir, ϵ é a deformação, Δv é uma tensão elétrica diferencial de baixo valor e V_{out} é uma tensão elétrica de valor mais elevado, que traduz a força medida e que pode variar entre +10 V e -10 V.

a) Identifique os três blocos representados na figura, explicitando a função que cada um desempenha.

(1,0 valores)

b) Descreva os princípios de funcionamento dos blocos 1 e 2.

(1,5 valores)

- a) O bloco 1 é um extensómetro, colado no corpo de prova. Tem como objetivo traduzir a força aplicada ao corpo de prova numa deformação da sua resistência.
 O bloco 2 é a ponte de medição com o(s) extensómetro(s) montado(s). A função é converter a deformação sofrida pelo extensómetro num desequilíbrio Δv da ponte de medição.
 O bloco 3 é um voltímetro que simplesmente mede o Δv da P.M..

- b) Bloco 1: Ao ser aplicada a força o corpo de prova deforma-se, segundo a lei de Hooke se for em regime elástico, $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$, deformando de modo igual o extensómetro, visto estarem colados um ao outro.
 Bloco 2: Uma deformação do extensómetro causa uma alteração da sua resistência elétrica de acordo com $R = \rho \frac{l}{A}$. Ao ser variada a sua resistência, a queda de potencial entre os seus terminais altera-se, e portanto o Δv da ponte varia, deixando de ser nulo.

4. A medição de deslocamentos em sistemas robóticos e de comando numérico é usualmente efetuada através de codificadores digitais incrementais. Explique o funcionamento deste tipo de transdutores e descreva a cadeia de medição em que estes são normalmente inseridos. **(1,75 valores)**

Os codificadores digitais incrementais são constituídos por pistas de riscas refletoras e não refletoras, sensor e emissor de feixe luminoso. Os incrementais geram um impulso para cada deslocamento correspondente a um incremento na pista. O codificador incremental insere-se numa cadeia de medição que inclui, o alvo cujo deslocamento se pretende medir, o codificador, e o sistema de aquisição/registo ou apresentação de dados que converte os impulsos incrementais em deslocamento e os apresenta.

5. Suponha que pretende estimar a força de arrasto que um ribeiro exerce sobre o dispositivo representado na figura 2, instrumentado com um LVDT (sensibilidade 1,2 V/mm) equipado com uma mola com um coeficiente de rigidez $K=5 \text{ kN/m}$.

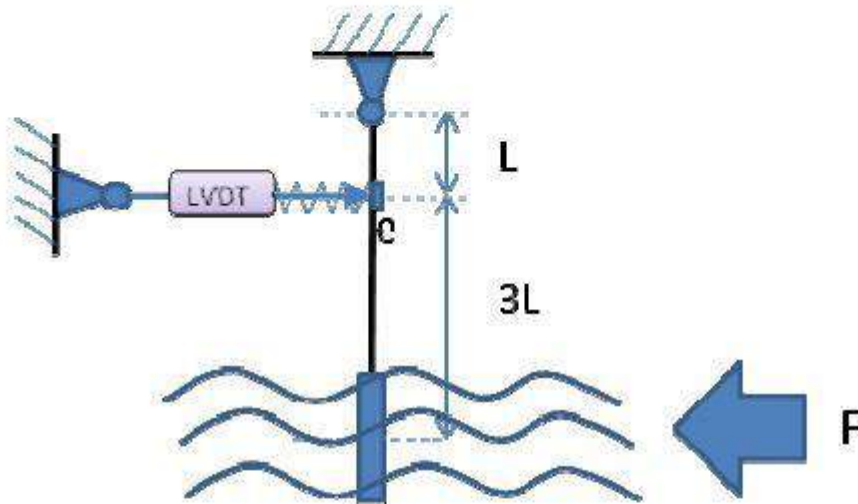


Figura 2

a) Sabendo que o sinal de saída do LVDT é de 2,256 V, determine a força de arrasto F . **(1,25 valores)**

b) Qual a sensibilidade do sistema de medição de força? **(1,0 valores)**

c) Qual a pior resolução na medição de tensão que deverá ter um multímetro de modo a que o sistema de medição da força (F) tenha uma resolução de pelo menos 0,1 N? **(1,25 valores)**

a) Passos: determinar o deslocamento a que correspondem os 2.256V, e a força a que corresponde esse deslocamento.

1.2 V corresponde a 1mm, então 2.256V corresponde a x (regra 3-simples).

$$S = 1.2 \frac{V}{mm} \rightarrow \frac{2.256}{x} = 1.2 \rightarrow x = 1.88mm$$

$$K = \frac{5N}{mm} \rightarrow 5 = N \cdot 1.88 \rightarrow N = 2.66N$$

b) Eu aqui quero qe entre em Newtons e saia em Volt. Para tal

$$S = 1.2 \frac{V}{mm} \cdot \frac{1 mm}{5 N} = 0.24V/N$$

c) Está nos a pedir Res_{mult} para qe $Res_{sist} \leq 0.1N$

$$Res_{sist} \leq 0.1N \geq \frac{Res_{mult}}{0.24} \rightarrow Res_{mult} \leq 0.024V$$

6. Considere uma banca de transdutores de deslocamento / detetores de proximidade constituída por um transdutor potenciométrico, um codificador incremental e um detetor indutivo por correntes de Foucault. Os transdutores estão solidários com um alvo de aço. No sentido de obter a característica do transdutor potenciométrico foi efetuado um conjunto de medições, usando o codificador incremental como padrão de trabalho, que se apresentam na tabela seguinte.

x: Deslocamento (mm)	y: Saída transdutor potenciométrico (V)
0,00	0,000
0,50	0,084
1,00	0,182
1,50	0,279
2,00	0,373
2,50	0,474
3,00	0,569
3,50	0,664
4,00	0,762
4,50	0,856
5,00	0,953
5,50	1,048
6,00	1,142

Aos pontos experimentais foi ajustada uma regressão linear cuja equação é $y = 0,1901x$.

- a) Qual a não-linearidade do transdutor potenciométrico? **(1,5 valores)**
- b) Usando o voltímetro com que foram realizadas as leituras do sinal y, qual a resolução na medição de deslocamento com o transdutor potenciométrico? **(0,75 valores)**
- c) Esboce a característica do detetor indutivo que apresenta uma histerese de 0,30 mm e que deixa de estar atuado quando o valor da saída do transdutor potenciométrico é de 0,977 V. Considere que na situação em que a saída do transdutor potenciométrico é 0,000 V, o alvo está encostado ao detetor e este apresenta na saída uma tensão de 12 V. Indique na característica todos os pontos relevantes. **(1,25 valores)**
- d) Que alterações ocorrerão nas características do transdutor potenciométrico e do detetor indutivo se o alvo fosse de alumínio em vez de aço? Justifique. **(1,0 valores)**

a)

$$\text{Não linearidade} = \frac{0.01105}{1.142 - 0} \cdot 100 = 0.97\%$$

b) É o menor valor qe se consegue ler: $Res = 0.001V$

- c) Desenhar.
- d) A característica do transdutor potenciométrico mantém-se inalterada porque em nada o material do alvo a influencia. Este mede um deslocamento por variação de uma resistência interna com o afastamento ou aproximação de um dispositivo do potenciométrico solidário com o alvo. Por sua vez as correntes de Foucault geradas no objeto móvel resultantes da sua aproximação com as indutâncias do transdutor indutivo, dependem do tipo de material, pelo que veria a sua característica alterada.

7. Considere o sistema de medição de velocidade de rotação representado na figura 3. Ao veio do motor está acoplado um disco com um determinado número de ranhuras uniformemente distribuídas ao longo do seu perímetro, bem como o veio de um taquímetro eletromagnético, cuja sensibilidade média é 50 mV/rps. O sinal de saída do detetor de proximidade é visualizado num osciloscópio.

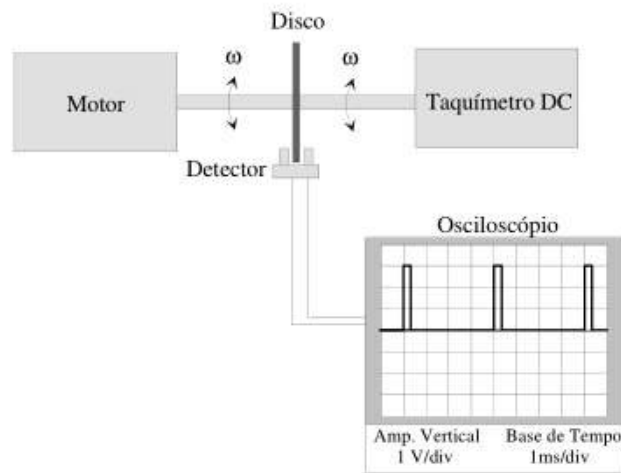


Figura 3

- a) Sabendo que o disco tem 8 ranhuras, qual é a velocidade de rotação do motor? **(1,0 valores)**
- b) Qual o valor da tensão gerada pelo taquímetro eletromagnético? **(1,0 valores)**
- c) Se a tensão gerada pelo taquímetro eletromagnético for medida por um voltímetro digital, que ajustes deveria utilizar, no caso de pretender uma resolução melhor que 0,02 rps na medição da velocidade angular: 3 ½ dígitos/escala 200mV; 3 ½ dígitos/escala 2V; 4 ½ dígitos/escala 2V; 4 ½ dígitos/escala 20V? **(1,25 valores)**
- d) Que tipo(s) de detetor(es) podem ser usados? Justifique. **(0,75 valores)**

a) $\omega = \frac{f}{n^{\circ} \text{ ranhuras}}$
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.004} = 250\text{Hz} \rightarrow \omega = \frac{250}{8} =$

b) $250 \cdot \omega$

c)

d) Não percebi o que se quer

+Janeiro 2011

1. (2,0 valores)

As figuras 1a) e 1b) apresentam duas das montagens mais usuais quando se pretende utilizar um transdutor potenciométrico na medição de deslocamentos.

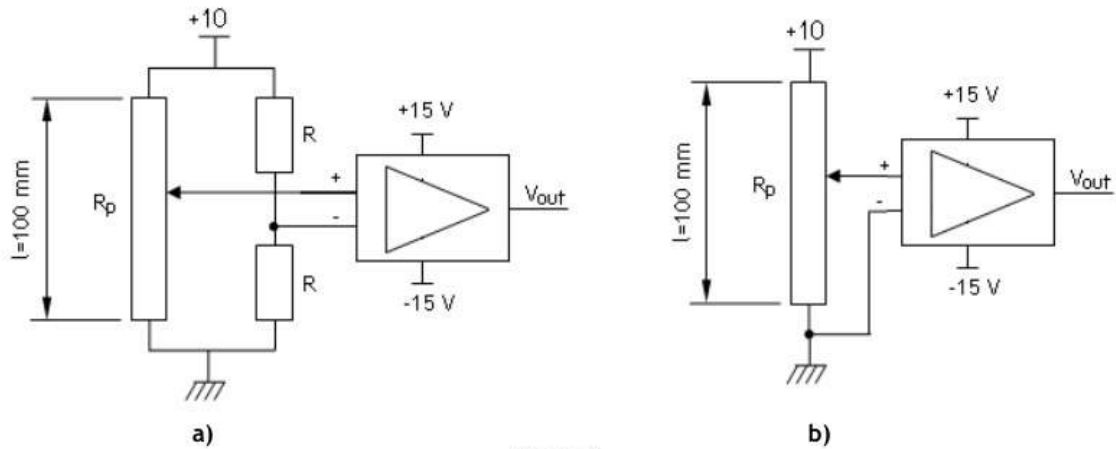


Figura 1

Tendo em conta que ambos os amplificadores têm um ganho de 2 e saturam a ± 12 V, compare as duas montagens no que se refere às suas sensibilidades e gamas de medição. Justifique as suas afirmações.

Caso a) Entre cada resistência vai haver uma queda de tensão de 5V. Assim a tensão de entrada do amplificador vai variar entre $[-5;5]$. Então a saída do amplificador vai tomar valores $[-10;10]$ V.

$$S = \frac{10 - (-10)V}{100 - 0 \text{ mm}} = 200 \text{ mV/mm}$$

Caso b). Neste caso a tensão à entrada do amplificador vai variar entre $[0;10]$ V, e à saída $[0;12]$ V (satura a 12V).

Então a sensibilidade é

$$S = \frac{12 - 0}{60 - 0} = 200 \text{ mV/mm}$$

A gama de medição do 1º são $[0;100]$ mm enquanto que o do segundo são $[0;60]$ mm. (Acima dos 60 o amplificador satura e o sinal de saída são sempre 12V).

2. (2,0 valores)

A medição de deslocamentos em sistemas robóticos e de comando numérico é usualmente efectuada através de codificadores digitais incrementais. Explique o funcionamento deste tipo de transdutores e descreva a cadeia de medição em que estes são normalmente inseridos.

Copy paste da pergunta 4 do exame de Jan 2013.

3. (2,0 valores)

a) Desenhe o diagrama de blocos genérico de qualquer sistema de medição e identifique os respectivos blocos.

a) Fazer isso no caderno para todos os sistemas de medição feitos na aula.

- b) Atribua letras a cada um dos blocos e associe-as aos elementos listados na Tabela 1 de modo a identificar onde, face ao tipo de componente, estarão integrados.

Tabela 1

Elemento	Bloco
Transmissor de corrente	
Filtro	
Extensómetro	
Multímetro	
Ponte de Medição	
Transdutor potenciométrico	
Sistema de aquisição de dados	
Desmodulador	
Conversor I/V	
Osciloscópio	
Fonte de alimentação	
RTD	
Detector de fase	
Termopar	
Frequencímetro	

- b) Fazer isso no caderno para todos os sistemas de medição feitos na aula.

4. (2,0 valores) Escolha a questão A ou B

A

- a) Trace a característica geral de um sensor de platina na gama de temperatura de -50°C a $+150^{\circ}\text{C}$.
- b) Qual a sensibilidade deste sensor de platina?

B

Para quem tenha usado experiências remotas, descreva de um modo sucinto a experiência para determinação de características mecânicas dos materiais - módulo de Young. Refira, de um modo claro e sintético, o sistema remoto em termos das funcionalidades, o procedimento que lhe foi disponibilizado e comente o resultado obtido. Em seu entender qual o interesse em ter acesso a esta solução complementar em relação à disponibilizada na sessão prática de laboratório.

A.

- a) É uma reta (sempre com valores de resistência positivos) a passar num valor de resistência (qe dará o nome ao RTD) no eixo vertical. Se pusermos a passar no 100Ω a reta é apenas válida para o Pt100.
- b) Oi? É suposto sabermos qe é aprox $0.39\Omega /^{\circ}\text{C}$?

B.

Não foi feito este ano, mas foi feita a experiência remota relativa à calibração de um Pt100 qe passo a descrever: Esta experiência teve como objetivo a familiarização com o procedimento de calibração de um sistema de medição de temperatura qe inclui um Pt100. Uma calibração consiste na realização de uma série de procedimentos normalizados para um transdutor e a comparação dos valores obtidos com os valores normalizados obtidos para um Pt100 padrão nas mesmas condições.

O Pt100 é inserido num banho termoestabilizado e a cada determinado intervalo de temperatura recolhidas as temperaturas do Pt100 a calibrar e de um outro Pt100 pertencente ao próprio sistema de calibração. É definida uma gama de temperaturas. Por exemplo de 20°C a 60°C . O sistema vai então dividir esse intervalo em 2 mais pequenos 20-35 e 35-60. Para cada uma das temperaturas (20, 35 e 60°C) o sistema vai comparar o valor de saída do Pt100 (em Volt (porque usa um transmissor de corrente + resist)) com o valor do Pt100 interno. Depois faz isto 10 vezes (para obter valores médios com alguma confiança de exatidão).

5. (4,0 valores)

Considere que para medir temperatura num determinado processo industrial foi utilizada a montagem representada na figura 2. O termopar é do tipo K ($S \approx 40 \mu V/^{\circ}C$). O transmissor de corrente possui compensação de junção fria e fornece um sinal de saída em corrente de 4 a 20 mA, para uma gama de medição de temperaturas de 0 a $1000^{\circ}C$.

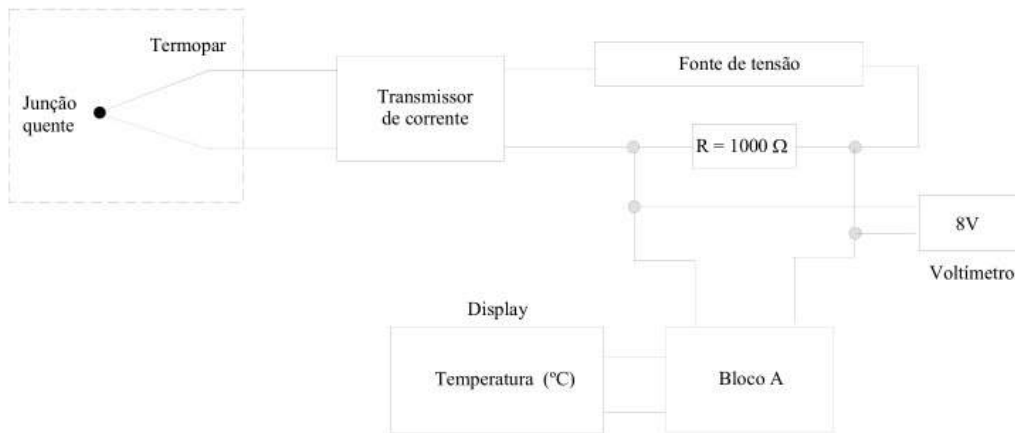


Figura 2

- Determine a temperatura da junção quente do termopar.
- Se o voltímetro for de 3 1/2 dígitos e possuir escalas de tensão DC de 200mV, 2V, 20V e 200V, qual a melhor resolução com que é possível medir temperaturas em torno de $500^{\circ}C$?
- Tendo em conta que o display fornece uma representação numérica igual ao valor da tensão que lhe é aplicada em mV, qual deverá ser a característica do bloco A para que o display apresente valores de temperatura directamente em graus Celcius?

a)

Função de transferência do sistema

$V =$ Tensão (V)

$T =$ temperatura ($^{\circ}C$)

$$V(T) = \frac{20 \cdot 1000 - 4 \cdot 1000}{1000 - 0} T + 4 \cdot 1000 \rightarrow V(T) = 16T + 4000 \text{ mV}$$

Para os 8V apresentados tem-se

$$8000 \text{ mV} = 16T + 4000 \text{ mV} \rightarrow T = 250^{\circ}C$$

b) Para $500^{\circ}C$ o voltímetro apresenta

$$V(500) = 16 \cdot 500 + 4000 = 12000 \text{ mV} = 12V$$

Portanto é preciso seleccionar a escala de 20V.

Um voltímetro com 3 1/2 na escala de 20V fica

— — — —
1 2 . 0 0V

Portanto a melhor resolução que é possível apresentar nas condições apresentadas é 0.01V.

c) No bloco A temos de ter.....

$$T = 62.5V - 250$$

Não sei... :o

6. (4,0 valores)

Considere a ponte de medição e a tabela de medições com ela efectuadas representadas na figura 3. A partir dos dados da tabela foi possível traçar a característica que se apresenta na figura 4.

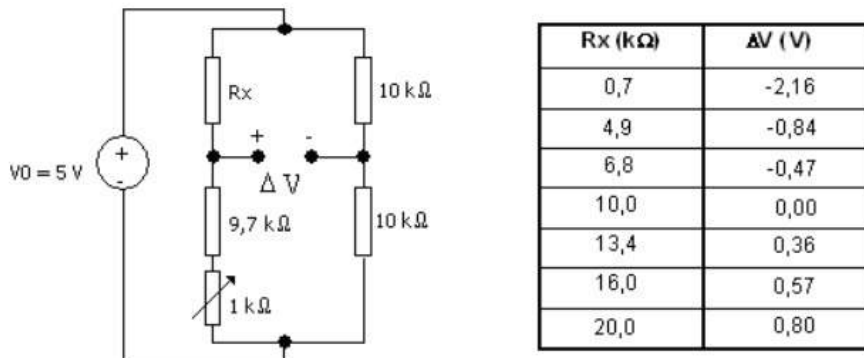


Figura 3

- a) Qual a sensibilidade da ponte de medição para qualquer ponto de funcionamento?
- b) Tendo em conta os dados da figura 3, com que resolução é possível determinar a variação de resistência?

a)

$$S = \frac{ds}{de} = \frac{d}{dx} (0.078x^3 - 0.1673x^2 + 0.245x + 0.0054) \text{ V/k}\Omega$$

$$S = 0.234x^2 - 0.3346 + 0.245 \text{ V/k}\Omega$$

b)

$$Res_{sistema} = \frac{Res_{voltmetro}}{S} = \frac{0.01V}{0.234x^2 - 0.3346 + 0.245 \text{ V/k}\Omega} = ?? \text{ k}\Omega$$

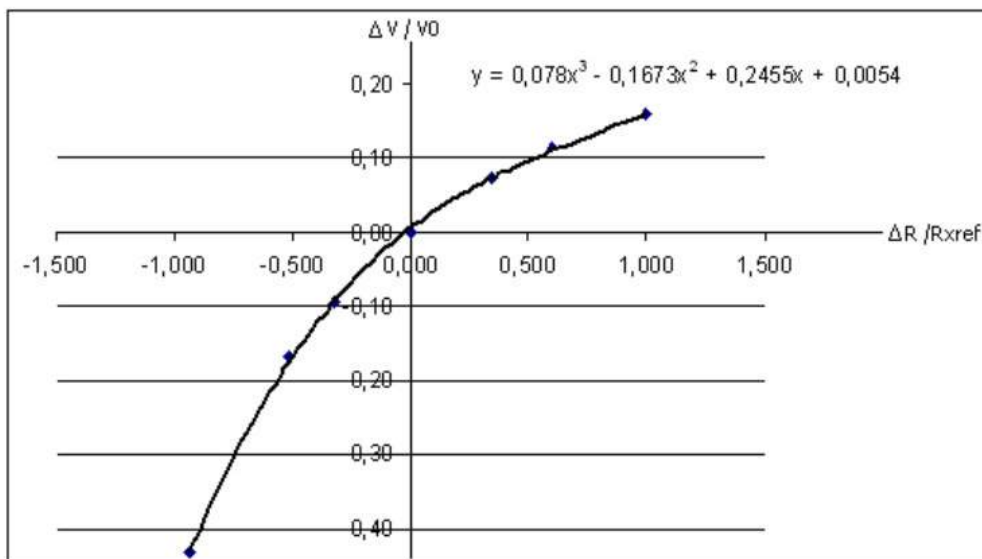


Figura 4

7. (4,0 valores)

Suponha que para caracterizar um transdutor potenciométrico angular (saída 0-5V, para 0-315°) foi usado como padrão de trabalho um codificador absoluto com 12 pistas, e um multímetro com escalas de 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V.

- a) Qual a resolução angular do codificador absoluto?
- b) Qual o número mínimo de dígitos que deverá ter o multímetro de modo a que a resolução angular do sistema de medição baseado no transdutor potenciométrico seja melhor do que 1°? Admita que usa a mesma escala para toda a gama. Apresente os cálculos que justificam a sua escolha.
- c) Os dois transdutores foram montados num mesmo veio, e foram registados os valores da saída do transdutor potenciométrico para diferentes deslocamentos, tabela 2.
Determine a não linearidade deste sistema considerando que ao conjunto de pontos foi ajustada a recta de regressão linear ($y = 0.0159 x - 0,0016$).

Tabela 2

Deslocamento Angular (°)	Saída Transdutor Potenciométrico (V)
0	0,003
45	0,700
90	1,430
135	2,150
180	2,862
225	3,573
270	4,290
315	4,998

- a) Está a perguntar qual é o menor numero de graus ao qual o codificador é sensível. 12 Pistas correspondem a 12bits. Assim,

$$Res_{cod} = \frac{gama}{2^n bits} = \frac{360^\circ}{2^{12}} = 0.0879^\circ$$

- b)

$$Res_{sistema} = \frac{Res_{voltmetro}}{S} \leq 1^\circ$$

É preciso então determinar a sensibilidade para se tirar $Res_{voltmetro}$.

$$S = \frac{5 - 0}{315 - 0} = 0.00159V/^\circ = 1.59mV/^\circ$$

$$Res_{voltmetro} \leq 1.59mV$$

A escala do voltímetro tem de abarcar o valor máximo de 5V correspondente aos 315°. Então tem de ser na escala de 20 V. Agora vamos ver o numero mínimo de dígitos necessários para obter a resolução menor que 1.59mV ou 0.00159V.

Com o primeiro dígito ½

— — — — —
1 . 9 . 9 . 9 . 9 V -> 4 dígitos ½
ou

— — — — —
9 . 9 . 9 . 9 V -> 4 dígitos

- c) Mesmo de sempre

+Janeiro 2010

1. (3,0 valores)

- a) O que distingue um codificador incremental de um codificador absoluto?
 - b) Genericamente que elementos sensores os integram?
 - c) Sugira tipos de utilização de codificadores incrementais na medição de grandezas físicas.
- a) O que distingue os dois é a régua/disco codificado que está solidária com o corpo em movimento. No caso dos codificadores incrementais existe uma pista com barras alternadamente e igualmente espaçadas opacas e refletoras, no caso dos absolutos, existem várias pistas com as barras posicionadas de modo a para cada posição corresponde uma e uma só combinação de barras opacas/refletoras, (tipicamente implementado o código Gray). Assim o 1º só permite medir posições relativamente a um zero de referência, posição relativa, enquanto o 2º, como a cada posição corresponde um e um só código, mede posição absoluta. Por este motivo, em caso de falha de alimentação, este tipo de codificador não perde informação.
- b) Sensores de luz (fotodetetores).
- c) Medição de deslocamentos (lineares e angulares). Indiretamente podem auxiliar na medição de deformações e velocidades.

2. (1,5 valores)

Dos trabalhos disponibilizados online no curso de E&I e indicados para serem realizados, um é designado por "Caracterização Mecânica de Materiais".

Este trabalho está intimamente relacionado com um outro realizado nas sessões de laboratório.

- a) Que diferenças básicas existem entre eles?
- b) Dos valores obtidos por e-mail para o trabalho online, após a realização no modo de actuação automático, que conclusões tirou da comparação com os resultados obtidos na aula prática?
- c) Que lhe ocorre comentar no que respeita à oferta desta componente online complementar às sessões práticas?

Não fizemos isto este ano.

3. (3,0 valores)

Na medição de forças, utilizam-se transdutores normalmente referidos como células de carga. Como saberá, existem vários tipos de células de carga, adequados à medição de forças constantes ou dinâmicas e para diferentes tipos de gamas.

- a) Qual o tipo de célula de carga mais adequado à medição de forças variáveis no tempo, para frequências superiores a 1 Hz? Justifique a sua resposta.
- b) Explique sucintamente o princípio de funcionamento da célula de carga que escolheu na alínea anterior.
- c) Se necessitar de medir a força aplicada por uma prensa hidráulica de 5000 kN durante uma operação de embutidura profunda, que tipo de célula de carga escolheria? Justifique a sua resposta.

- a) Célula de carga do tipo núcleo resistivo a trabalhar ao corte. Como o elemento elástico, núcleo, é muito mais rígido que as outras células de carga não só admite a solicitação de forças de uma elevada gama, mas também a sua variação com o tempo.
- b) Esta célula de carga tem um núcleo elástico, desenhado de modo a ter zonas no seu interior com campos de tensões de corte bem definidos, quando ele é submetido a alguma força. Nessas zonas as deformações principais desenvolvem-se a 45° relativamente à aplicação da força. Pode-se assim colocar os extensómetros segundo essa direção e medi-las.
- c) Célula de carga do tipo coluna, porque é a célula de carga mais adequada para medir forças acima dos 1000kN e até 10000kN. A célula de carga do tipo núcleo resistivo a trabalhar ao corte só mede até 1000kN.

4. (4,0 valores)

Considere o sistema de dois tanques (A e B) representados na figura 1, e cuja diferença de temperatura é medida por um termopar completo do tipo K (tome como sensibilidade média o valor de $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) e um multímetro (escala 20 mV). A temperatura do tanque B pode ser medida utilizando um transmissor de temperatura cuja característica é (entrada: -10°C a $+150^\circ\text{C}$; saída: 4 mA a 20 mA).

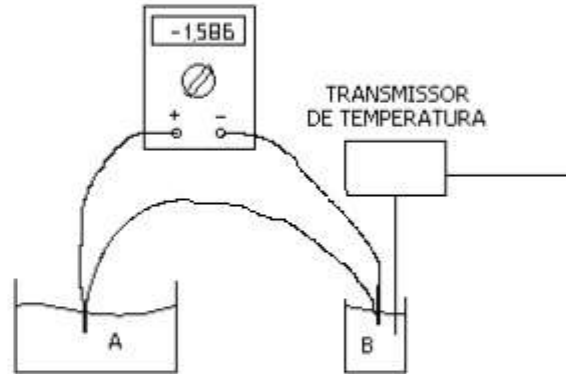


Figura 1

- Qual a resolução do multímetro na medição de tensão?
- Qual a resolução do sistema de medição de temperatura utilizando o termopar?
- Qual a sensibilidade do sistema de medição baseado no transmissor de temperatura?
- Determine a temperatura do tanque A, sabendo que a corrente de saída do transmissor é 12 mA e o valor lido no multímetro é o indicado na figura 1.

a) 0.001mV

b)

$$\text{Resolução} = \frac{Res_{\text{voltímetro}}}{S} = \frac{0.001 \text{ mV}}{0.04 \text{ mV}/^\circ\text{C}} = 0.025^\circ\text{C}$$

c)

$$S = \frac{20 - 4}{160 - (-10)} = 0.1 \text{ mA}/^\circ\text{C}$$

d) Plano:

$$mA = 0.1^\circ\text{C} + b$$

$$4mA = 0.1 \cdot -10^\circ\text{C} + b \rightarrow b = 5$$

$$12mA = 0.1 \cdot x^\circ\text{C} + 5 \rightarrow x = 70^\circ\text{C}$$

$$0.04\text{mV} \rightarrow 1^\circ\text{C}$$

$$-1.586 \text{ mV} \rightarrow x^\circ\text{C} \rightarrow x = -39.65^\circ\text{C} \rightarrow 70 + (-39.65) = 30.35^\circ\text{C}$$

5. (5,0 valores)

A figura 2 representa uma célula de carga do tipo anel, que pode trabalhar à tracção e à compressão. Caracteriza-se por ter uma constante de elasticidade de $5,6 \times 10^{-8} \text{ m/N}$, sendo a sua gama nominal de $\pm 30 \text{ kN}$. Pretende-se instrumentar este anel com um LVDT. O diâmetro do anel, impõe um atravancamento máximo do LVDT de 90 mm.

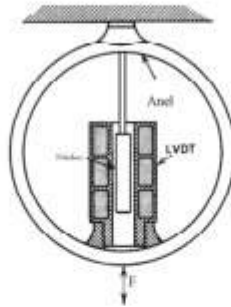


Figura 2

- a) Dos seguintes LVDT's, de que se listam algumas características, qual ou quais escolheria? Justifique, apresentando os cálculos que tiver de efectuar.

comprimento (mm)	54	63,5	73,5	75	91,5
gama nominal (mm)	$\pm 0,5$	± 1	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$

Escolhido um LVDT com características compatíveis, isto é, dimensão e gama nominal ajustada à gama de deformações do anel, este apresenta uma "sensibilidade" de $1\text{mV/V}/\mu\text{m}$. De acordo com as suas especificações, é possível alimentar o transdutor com uma tensão DC de 5 V.

- b) Qual a sensibilidade do conjunto (anel + LVDT)?
- c) O sinal do LVDT for introduzido num voltímetro de $3 \frac{1}{2}$ dígitos, com escalas de 200 mV, 2 V, 20 V e 200 V. Quando o anel for submetido a uma carga de 30 kN qual será a informação visualizada no display do voltímetro, utilizando a escala mais adequada?
- d) Se para toda a gama de forças for usada a mesma escala deste voltímetro, qual a resolução na medição de força conseguida com este sistema de medição?

a)

$$30\,000 \cdot 5,6 \cdot 10^{-8} = 1,68\text{mm}$$

Escolhia o 3º ($l=73.5\text{mm}$) porque cabe dentro do anel e é o que possui a gama mais baixa (logo mais alta sensibilidade) que consegue abarcar a gama de medição de forças da célula de carga.

b)

$$S_{LVDT} = 1\text{mV}/\mu\text{m}$$

$$S_{Anel} = 0,056 \mu\text{m}/\text{N}$$

$$S_{sistema} = S_{Anel} \cdot S_{LVDT} = 0,056 \cdot \frac{\mu\text{m}}{\text{N}} \cdot 1 \frac{\text{mV}}{\mu\text{m}} = 0,056 \text{ mV}/\text{N}$$

- c) Para $S_{sistema}$ calculado acima, a 30kN correspondem $\rightarrow 0,056 \cdot 30\,000 = 1680\text{mV} = 1,68\text{V}$
Para este caso deve-se então escolher a escala de 2V. Um voltímetro com 3 dígitos $\frac{1}{2}$ apresenta

— — — —
1 . 9 9 9 V
1 . 6 8 0 V

- d) Para o valor de -30 000 N, o voltímetro vai apresentar

— — — —
-1 . 9 9 9 V

-1.680V

A resolução é então de 0.001V.

6. (3,5 valores)

Considere o sistema de medição de velocidade de rotação representado na figura 3. Ao veio do motor está acoplado um disco com um determinado número de ranhuras uniformemente distribuídas ao longo do seu perímetro, bem como o veio de um taquímetro DC. A velocidade de rotação do motor, medida no velocímetro é de 600 rpm. O sinal de saída do detector de proximidade é visualizado num osciloscópio e o sinal de saída do taquímetro DC é medido usando um voltímetro digital.

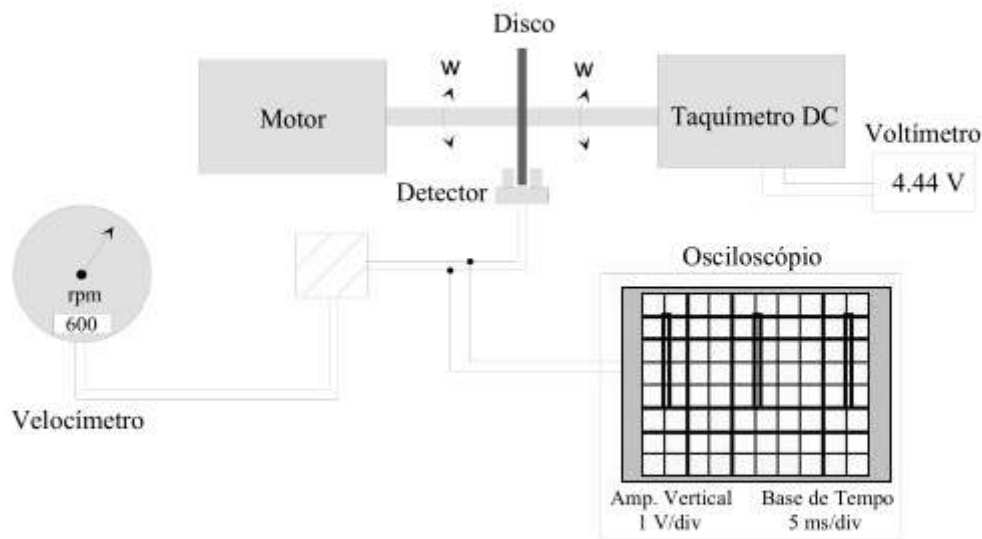


Figura 3

a) Determine o número de ranhuras do disco.

b) Determine a sensibilidade do taquímetro DC.

a) O período é de $4 \cdot 5ms = 20ms = 0.02s \rightarrow F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50Hz$. O que significa que em cada segundo passam 50 ranhuras pelo detector (cada ranhura corresponde a um impulso). O disco está a andar a $\frac{600}{60} = 10 rps$. Se em cada segundo passam 50 ranhuras, mas nesse segundo ele só dá 10 voltas, então cada volta corresponde a 5 ranhuras e é esse o nº de ranhuras do disco.

b) Sabe-se que a curva característica do taquímetro é uma reta a passar na origem. Portanto basta outro ponto para caracterizar essa reta e poder determinar-se a sensibilidade (declive da reta, ou sua derivada). Esse ponto é o $600rpm \rightarrow 4.44V$

$$S = \frac{4.44 - 0}{600 - 0} = 0.0074V/rpm$$

+Fevereiro 2010

1. (3,0 valores)

a) Foi possibilitada a realização de um procedimento de calibração de temperatura através de um trabalho on-line. Resuma os passos principais que estão evidenciados para a realização de uma calibração de temperatura de um sensor ou transdutor, numa gama definida.

b) Em termos gerais, se quiser medir temperatura e se optar pela utilização de um RTD, de que modo(s) pode realizar essa medição?

a) Colocação do sensor a calibrar dentro de um banho termoestabilizado. Definição da gama de temperatura a realizar a calibração. O dispositivo de calibração divide essa gama em 2 intervalos iguais. O banho parte da temperatura inferior e é aquecida até à temperatura superior. Para cada uma das 3 temperaturas qe definem esses intervalos o dispositivo lê a tensão de saída do sensor de temperatura e regista a temperatura dada pelo sensor interno. Depois o banho é arrefecido e reaquecido 10xs para se obter a média dos valores.

b) 1. Diretamente pela medição da sua resistência, e posterior conversão desses valores em temperatura por meio de uma tabela normalizada para o RTD usado. 2 ou 4 cabos.
2. Com um transmissor de corrente, em corrente;
3. Com um transmissor de corrente, em tensão.

2. (1,5 valores)

“Um LVDT é, intrinsecamente, um modulador de sinal em amplitude”. Comente a afirmação, justificando.

Falar do modo como o enrolamento principal é excitado à frequência da tensão de alimentação, e qe é a essa freq. qe são excitados os enrolamentos secundários. É a diferença das amplitudes dos dois enrolamentos secundários qe se obtém o sinal de saída. Por isso a caraterística do sinal qe contém a informação relativa à posição ocupada pelo núcleo é o valor da amplitude do sinal.

3. (3,0 valores)

A medição de pressões é extremamente importante para a monitorização e controlo de diferentes tipos de processos. Como saberá, existem vários tipos de transdutores de pressão, adequados à medição de pressões constantes ou dinâmicas.

a) Se necessitar de medir a pressão do óleo nas câmaras principais dos actuadores de uma quinadora hidráulica durante uma operação de quinagem de chapa, que tipo de transdutor de pressão escolheria? Justifique a sua resposta.

b) Explique sucintamente o princípio de funcionamento do transdutor de pressão que escolheu na alínea anterior.

a) Igual

b)

4. (4,5 valores)

Considere que para medir temperatura num determinado processo industrial foi utilizada a montagem representada na figura 1. O termopar é do tipo K ($S \approx 40 \mu V/^{\circ}C$). O transmissor de corrente possui compensação de junção fria e fornece um sinal de saída em corrente de 4 a 20 mA, para uma gama de medição de temperaturas de 0 a 1000 $^{\circ}C$.

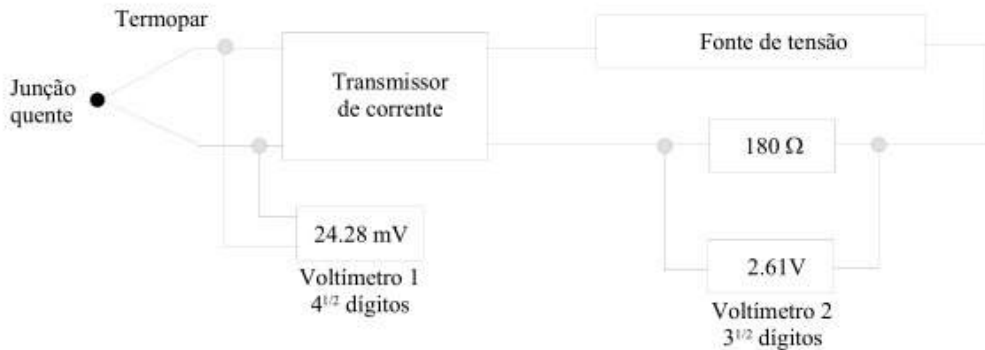


Figura 1

- Determine a temperatura da junção quente do termopar.
- Determine a temperatura da junção fria do termopar.
- Determine a sensibilidade do sistema de medição.

a) $V = RI \rightarrow 2.61V = 180\Omega \cdot I \rightarrow I = 14.5mA$
 A FT tem de equação

$$mA = \frac{20 - 4}{1000 - 0} T + 4 \rightarrow mA = 0.016T + 4 \rightarrow 14.5 = 0.016T + 4 \rightarrow T = 656.25^{\circ}C$$

- b) A fem gerada é 24.28mV. Essa fem resulta da diferença de temperaturas da junção quente e da fria. Sabemos que $S = 40 \mu V/^{\circ}C$. Então é preciso determinar o ΔT a que os 24.28mV correspondem. $0.04mV - 1^{\circ}C \rightarrow 24.28 - x \rightarrow x = 607^{\circ}C$. Assim a Tª junção fria é $656 - 607 =$

c) $S = S_{transm} \cdot S_{resist} = S_{transm} \cdot 180\Omega$

A sensibilidade do transmissor é dada pela derivada da FT em ordem à variável de entrada ou seja

$$S_{transm} = 0.016 mA/^{\circ}C \text{ portanto (lembrar que } \Omega = mV/mA)$$

$$S = 2.88 mV/^{\circ}C$$

5. (4,0 valores)

Considere a ponte de medição e a tabela de medições com ela efectuadas representadas na figura 2. A partir dos dados da tabela foi possível traçar a característica que se apresenta na figura 3.

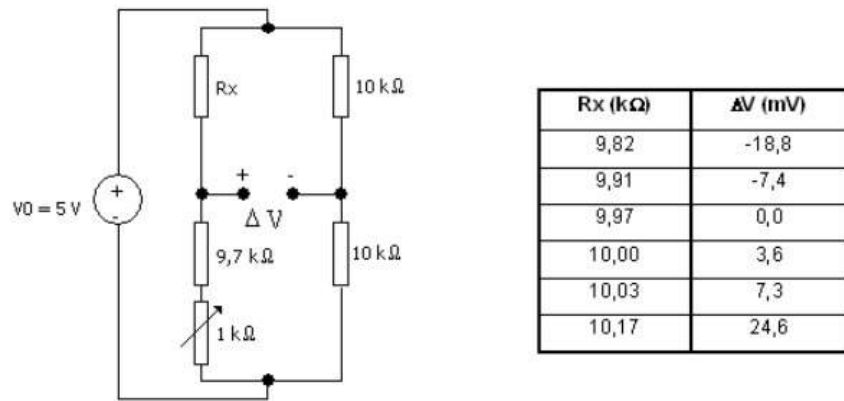


Figura 2

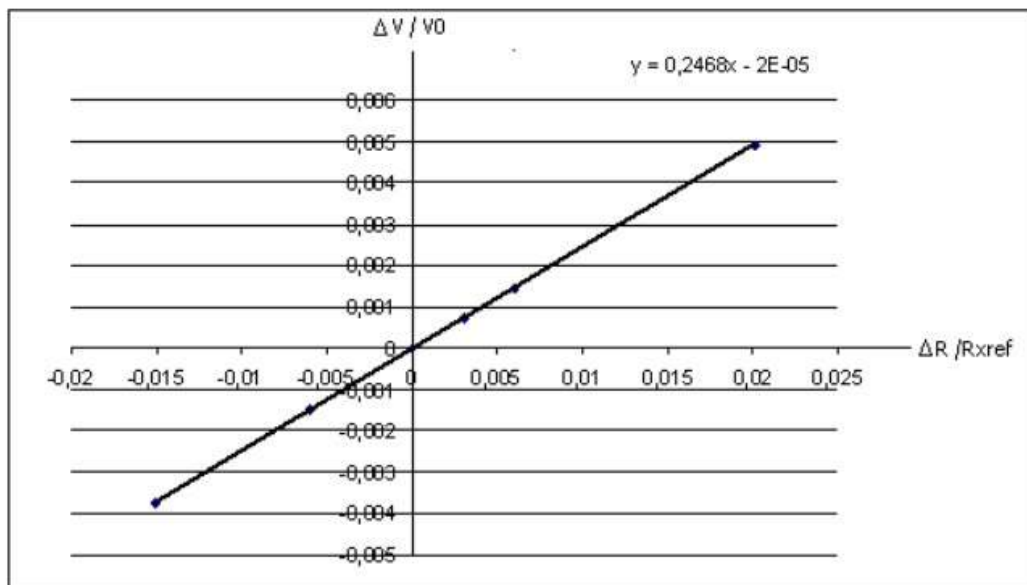


Figura 3

- Qual a sensibilidade da ponte de medição?
- Qual o valor esperado para ΔV quando a resistência Rx tem o valor de 8,4 kΩ?

6. (4,0 valores)

Considere um transdutor de deslocamento do tipo potenciométrico cujo valor de saída é dado pela tabela 1 e cuja característica está representada na figura 4.

Tabela 1

Posição (mm)	Saída (V)
0.00	0.01
2.00	1.05
4.00	1.99
6.00	3.00
8.00	3.98
10.0	4.99

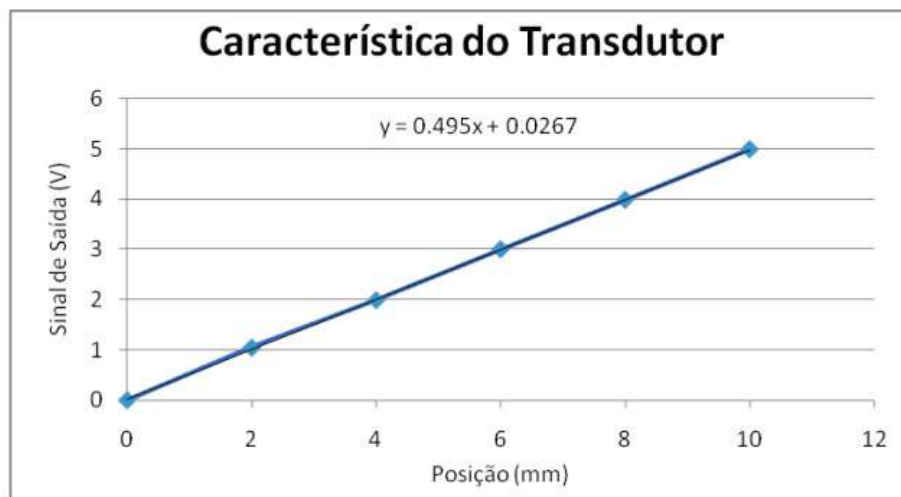


Figura 4

- a) Determine a não linearidade do transdutor.
- b) Qual a resolução na medição de deslocamento que se consegue com este transdutor e um multímetro de 3 1/2 dígitos e escalas de 200mV, 2V, 20V e 200V. Considere a mesma escala para toda a gama.

+Janeiro de 2009

1. (2,5 valores)

Considere um sistema de medição de velocidade baseado num taquímetro digital.

- a) Quais os componentes fundamentais de um taquímetro digital?
- b) De que parâmetros depende a resolução de um taquímetro deste tipo? Justifique sucintamente.
- a) Um taquímetro digital deve ter uma fonte emissora de luz, um alvo (barreira ou refletor) e um recetor do feixe luminoso gerado.
- b) $Res = \frac{Res\ Freqüencímetro}{S}$ Onde $S = \frac{ds}{de}$. Quanto melhor a resolução do frequencímetro (mais baixo o valor) melhor a resolução do sistema. Por outro lado, quanto maior o número de furos na barreira / refletores, maior a sensibilidade e portanto melhor a resolução.

2. (2,5 valores)

Um procedimento de calibração de um sistema de medição de temperatura segue um protocolo típico, de que foi disponibilizado um exemplo experimental no âmbito das experiências remotas.

- a) O que entende por procedimento de calibração?
- b) Descreva sumariamente o protocolo que está na base da calibração de um sistema de medição de temperatura.
- a) É o conjunto de operações que permitem relacionar os valores de grandeza indicados por um sistema de medição e os indicados por um padrão para uma mesma medição
- b) É necessário um padrão com uma resolução melhor que o que queremos caracterizar, um banho que possamos alterar a sua temperatura e que contenha um sistema que assegure a homogeneidade da temperatura e que possamos também estabelecer um desvio máximo da sua temperatura.

Começamos por introduzir o sensor no banho, dependendo da calibração necessária podemos pedir ao sistema diferentes números de pontos de calibração, quantos mais pontos mais cara será a calibração. O sistema pedirá a gama de temperatura na qual fazer a calibração e quantos pontos são precisos, passado isto o controlador do sistema estabilizará a temperatura do banho num determinado valor (com o desvio requerido) e efetuará a medida da grandeza do sensor. Este processo de aquecimento/arrefecimento do banho e a sua estabilização em torno de um valor, será repetida para os vários pontos de calibração, no final o sistema dá-nos os dados da medição com o padrão e com o nosso sensor, podemos assim obter a sua característica.

3. (3,0 valores)

Considere um sistema de medição de deformação constituído por uma barra solicitada em flexão e instrumentada com um só extensómetro.

- a) Qual o interesse de integração do extensómetro numa ponte de medição? Poderia substituir a ponte de medição por um multímetro para a leitura directa da resistência do extensómetro?
- b) Como podem ser compensados os efeitos de variação de temperatura na medição de deformação usando o sistema referido?
- a) Interessa integrar um extensómetro numa ponte de medição porque :
- permite melhor deteção do sistema para muito pequenas variações dos seus elementos sensores.
 - tem capacidade de traduzir o estado de referência do elemento sensor através de uma tensão de saída nula.
 - A possibilidade de permitir a compensação de grandezas de influência.
- Poderia mas o multímetro precisava de ter muitos dígitos (caro) para se obter uma resolução decente.
- b) A. Usando um extensómetro “dummy” (não ativo) colocado junto a uma peça do mesmo material, e montado em braço adjacente ao extensómetro cujo efeito da temperatura se quer anular.
B. Colocando um extensómetro ativo extra
B.1 se sofrer as mesmas deformações (por exemplo se o extensómetro a anular o efeito da T^a estiver sujeito a tração, o extensómetro extra estar à tração também) coloca-lo na P.M. em braço adjacente
B.2 se sofrer deformações contrárias, colocá-lo na P.M. em braço oposto relativamente ao extensómetro principal.

4. (4,0 valores)

Suponha que pretende fazer a aquisição de um sinal $y(t) = 2 + 2,5 \sin(200 \pi t)$ com uma carta de aquisição A/D de 12 bits, que possui várias gamas de tensão de entrada:

Unipolares: 0/1,25 V; 0/2,5 V; 0/5 V; 0/10 V;

Bipolares: $\pm 1,25$ V; $\pm 2,5$ V; ± 5 V; ± 10 V.

- a) Diga, justificando convenientemente, qual a gama de entrada que escolhia, no sentido de obter a melhor resolução na conversão.
- b) Qual deverá ser a frequência de amostragem seleccionada para a carta de conversão A/D? Justifique.
- a) O segundo termo do 2º membro varia entre -2.5 e 2.5, então $y(t) \in [-0.5; 4.5]V$ Portanto usar a de $\pm 5V$
Para esta gama a resolução seria

$$Res = \frac{FS^+ - FS^-}{2^n} = \frac{10}{2^{12}} = 0.0024V$$

- b) Sabe-se que $f_a \geq 10 f_s$ a amostragem; s: sinal, para que o sinal seja corretamente adquirido. Uma função sinusoidal é definida como $F \sin(\omega t + \phi)$. Neste caso $\omega = 200\pi$. Sabe-se também que $\omega = 2\pi f$, portanto $f_s = 100\text{Hz}$ e portanto $f_a = 1\text{kHz}$.

5. (4,0 valores)

Considere a cadeia de medição representada na figura 1.

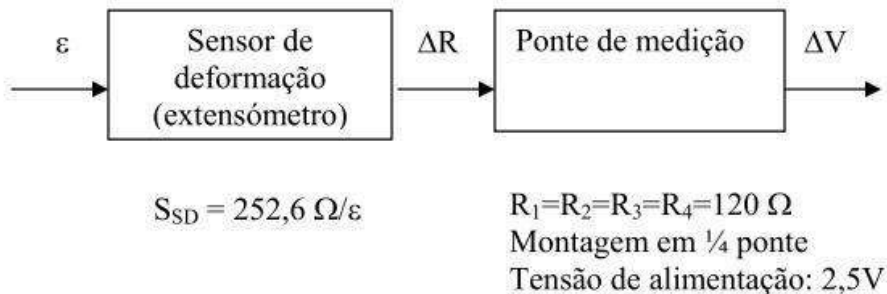


Figura 1

Considere que, para a leitura de ΔV , utilizava um voltímetro de $3\frac{1}{2}$ dígitos, com as seguintes escalas disponíveis de tensão: 20 V, 2V, 200mV, 20 mV.

Suponha que a resistência do extensômetro sofre variações até +0,1%.

- a) Qual o valor esperado na leitura de ΔV para esse valor máximo? (utilize a escala que lhe parecer mais conveniente)
- b) Qual a resolução na medição da deformação com o extensômetro?

- a) Sabe-se que para uma montagem em $\frac{1}{4}$ de ponte

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta R}{4R}$$

Onde $V_0 = 2.5 V$. Para este caso é dada a variação relativa da resistência do extensômetro, isto é,

$$\frac{\Delta R}{R} = 0.001$$

Substituindo acima resulta $\Delta V = 6.25 \cdot 10^{-4} V = 0.625 mV$

Para um voltímetro com $3\frac{1}{2}$ dígitos $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$
 0 ou 1 0 a 9 0 a 9 0 a 9

Na escala de 20mV dá $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ mV
 1 9 , 9 9

Com uma resolução de $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ $\underline{\quad}$ mV
 0 0 , 0 1

O valor que vai aparecer no multímetro será 0.63mV.

- b) A resolução do sistema vai ser

$$Res = \frac{Res\ voltímetro}{S_{sistema}} [V/\epsilon]$$

A sensibilidade do sistema é dada pelo produto das sensibilidades de ambos os blocos. O valor da sensibilidade de uma resistência é o valor da própria resistência. Então

$$S_{P.M.} = \frac{\Delta V}{\Delta R} = \frac{0.625}{0.001 \cdot 120} = 5.21 mV/\Omega$$

$$S_{sistema} = 252.6 \frac{\Omega}{\epsilon} \cdot 5.21 \frac{mV}{\Omega} = 1.316 V/\epsilon$$

E portanto como a resolução do voltímetro é 0.01mV

$$Res = \frac{0.01}{1316} = 7.600 \cdot 10^{-6} \epsilon$$

6. (4,0 valores)

Um taquímetro electromagnético foi testado tendo sido recolhidos os resultados seguintes:

Velocidade angular (rpm)	Tensão de saída (V)
0	0,0
500	9,1
1000	15,0
1500	23,3
2000	29,9
2500	39,0
3000	47,5

A característica e ajuste realizado estão representados na figura 2.

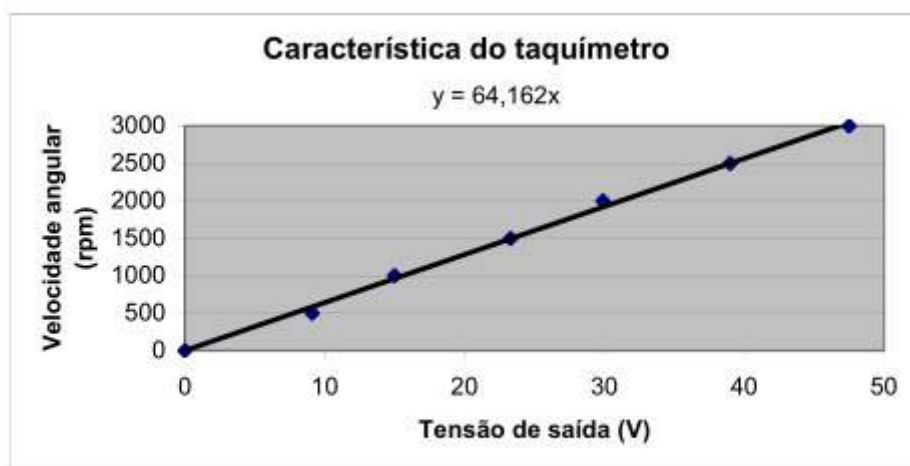


Figura 2

- Qual a sensibilidade média do taquímetro?
- Qual o erro de linearidade (não linearidade) associado? Explícite claramente os diferentes passos de cálculo que usar

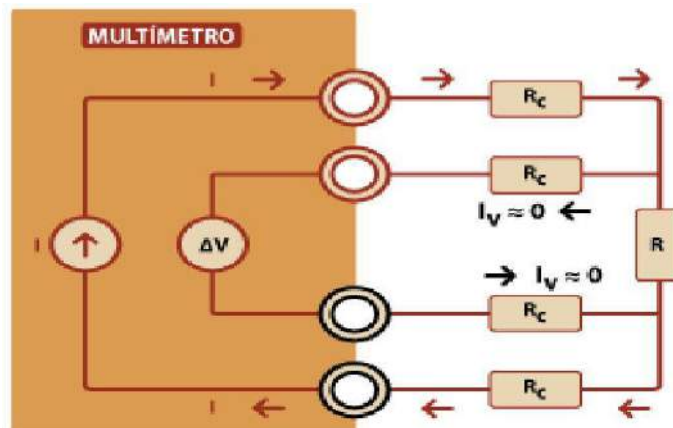
- a) A sensibilidade é dada por $S = \frac{ds}{de}$. Portanto derivando a função transferência do sistema em ordem à variável de entrada $\frac{dV}{d\omega} = \frac{d(64.162\omega)}{d\omega} = 64.162 \text{ V/rpm}$
- b) A não linearidade pode ser dada por ... esta dá muito trabalho e não tem nada qe saber. Next

+Fevereiro de 2009

1. (2,0 valores)

Quando se pretende realizar a medição do valor de uma resistência, minimizando o erro cometido, é normal ser utilizado o método dos quatro condutores. Explique em que consiste este método e como é que este contribui para uma diminuição dos erros de medição.

R: Consiste em usar 4 cabos ligados à resistência e ao multímetro. Dois dos cabos enviam uma corrente i , devido à elevada impedância de entrada no multímetro, não entra nos 2 cabos interiores. Esses 2 cabos são os que medem a diferença de potencial aos terminais da resistência. Como não há corrente nos 2 cabos interiores também não há queda de tensão e portanto a diferença de potencial medida é muito próxima da real. Depois pela lei de Ohm $V = RI$ tira-se o valor da resistência.



2. (2,0 valores)

Descreva sucintamente o princípio de funcionamento de um transdutor de pressão.

Não foi dado este ano.

3. (3,0 valores)

Para a determinação do módulo de Young usou um sistema nas aulas de laboratório e outro acessível remotamente.

- Recordando o sistema experimental usado na sessão laboratorial, que tipo de funcionalidades terão sido necessário adicionar ao set-up experimental para o tornar acessível remotamente?
- Na experiência remota, e no modo de utilização manual, a determinação do Módulo de Young na gama de cargas aplicáveis pode traduzir-se por resultados que diferem entre si em mais de 6%. A que acha dever-se tal variação nos resultados?

4. (4,5 valores)

Considere a cadeia de medição representada na figura 1, onde S é a sensibilidade do transdutor de força e G representa o ganho do amplificador:

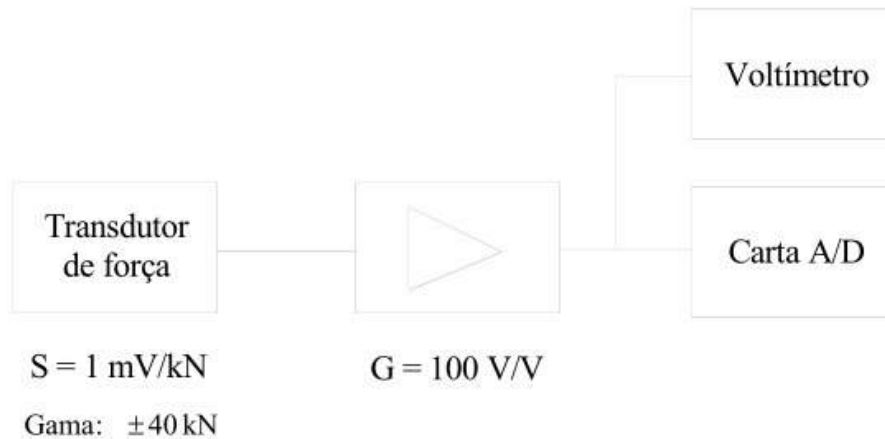


Figura 1

A carta de aquisição A/D pode ser programada para várias gamas de tensão de entrada:

Unipolares: 0/1.25 V; 0/2.5 V; 0/5 V; 0/10 V;

Bipolares: $\pm 1.25 \text{ V}$; $\pm 2.5 \text{ V}$; $\pm 5 \text{ V}$; $\pm 10 \text{ V}$.

- Diga, justificando convenientemente, qual a gama de entrada que escolhia.
- Qual deverá ser a resolução do conversor A/D para se ter uma resolução melhor que 2 N na medição de força? Justifique.
- Se o voltímetro for de 4 ½ dígitos, com escalas de 20 mV, 200 mV, 2 V e 20 V, qual a escala que deve ser escolhida para se ler a tensão correspondente a uma força de 500 N? Justifique.

- Para aquela sensibilidade e gama de entrada, a gama de saída vai ser $[-40,40] \text{ mV}$. Com o ganho do amplificador fica $[-4,4] \text{ V}$. A gama de entrada da carta de aquisição deve ser maior que a gama de saída do sistema, então deve-se escolher a gama bipolar $\pm 5 \text{ V}$.
- A resolução do sistema é dada por

$$Res = \frac{Res_{A/D}}{S}$$

Para $Res = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kN}$ tem-se

$$2 \cdot 10^{-3} \text{ kN} = \frac{Res_{A/D} \text{ mV}}{100 \frac{\text{mV}}{\text{kN}}} \rightarrow Res_{A/D} = 0.2 \text{ mV}$$

- 1ª coisa a saber qual vai ser o valor correspondente de tensão a 500 N ?

$$S = 100 \frac{\text{mV}}{\text{kN}} \rightarrow \frac{50 \text{ mV}}{0.5 \text{ kN}}$$

-

Escala 20mV -> overflow

— — — — _ escala 200mV

1 9 9 9 9 mV

0 5 0 0 0 mV

-> Resolução 0.01mV

— — — — _ escala 2V

1. 9 9 9 9 V

0.0 5 0 0 V

-> resolução: 0.1mV

Escolher a escala 200mV, q tem melhor resolução.

5. (4,0 valores)

Pretende medir-se a temperatura de uma caldeira usando para o efeito um termopar do tipo K ($S = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$). Para auxiliar na compensação da junção fria do termopar dispõe-se de um Pt_{100} , que é usado para medir a temperatura ambiente. Nestas condições mediu-se a resistência do Pt_{100} tendo-se obtido 115Ω . Porém, parte desta resistência é devida aos cabos de extensão, sendo que o erro cometido na leitura da temperatura é de 5%.

a) Determine o valor da temperatura ambiente.

b) Sabendo que quando a junção fria do termopar está à temperatura ambiente a força electromotriz termoelétrica é de 2,2 mV, determine a temperatura da caldeira.

a) Como a resistência aumenta com a temperatura, a temperatura medida vai ser maior qe a real.

$$T^{\text{a}} \text{ medida} = 1.05 \cdot T^{\text{a}} \text{ real}$$

Para saber o valor real da temperatura há qe ir buscar à tabela do Pt100 a temperatura a qe correspondem 115ohm. Essa é a T^{a} medida. Dividi-la por 1.05 para saber a T^{a} real.

b) Receita:

1º Ir ver a qe f.e.m. corresponde a T^{a} ambiente (T^{a} real medida pelo Pt100), usando a sensibilidade do termopar;

2º Somar as duas f.e.m.;

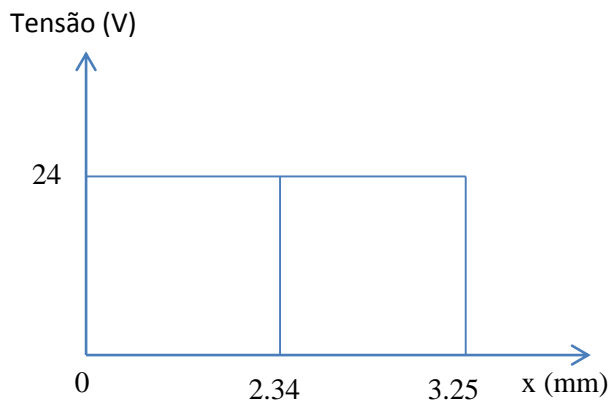
3º Pela sensibilidade calcular novamente a T^{a} a qe corresponde essa soma de f.e.m.

6. (4,5 valores)

Pretende construir-se um sistema de medição de velocidade de rotação utilizando um detector indutivo, uma roda dentada (40 dentes) e um frequencímetro. Os testes preliminares realizados com o detector mostraram que quando este se aproximava dos dentes da roda, o valor da saída comutava de 0 V para 24 V a uma distância média de 2,34 mm; e que ao ser afastado, a saída comutava de 24 V para 0 V a uma distância de 3,25 mm.

- Represente a característica do detector utilizado e calcule a sua histerese.
- Suponha que o frequencímetro indicava o valor de 100 Hz, determine a velocidade de rotação do veio em rpm.
- Qual deveria ser o número de dentes da roda de modo a que o valor indicado no frequencímetro fosse igual ao correspondente valor em rpm? Justifique.

a)



$$\text{Histerese} = 3,25 - 2,34 =$$

b)

Por cada rotação completa, o frequencímetro vai ler 40 impulsos. Ou seja, está a ler 40x mais impulsos do que rotações. Então, para 100 impulsos,

$$\omega(\text{rps}) = \frac{F}{n^{\circ} \text{ dentes}} = \frac{100}{40}$$

Se num segundo dá ω rotações, num minuto dá 60. $\omega(\text{rpm}) = \frac{100 \cdot 60}{40}$

- Se a roda tiver 60 dentes, e andar a 1rpm, num minuto no frequencímetro vão aparecer 60 impulsos correspondentes a cada dente, a uma frequência de 1 impulso por segundo, isto é 1Hz. Portanto 1rpm \leftrightarrow 1Hz. \rightarrow 60 dentes.

1. (3,0 valores)

Considere o diagrama de blocos de um transdutor de deslocamento e respectivo condicionamento de sinal, representado na figura 1.



Figura 1

- a) De que tipo de transdutor se trata? Justifique.
- b) Associe à entrada/saída de cada bloco o correspondente sinal do conjunto apresentado na figura 2. Justifique sucintamente.

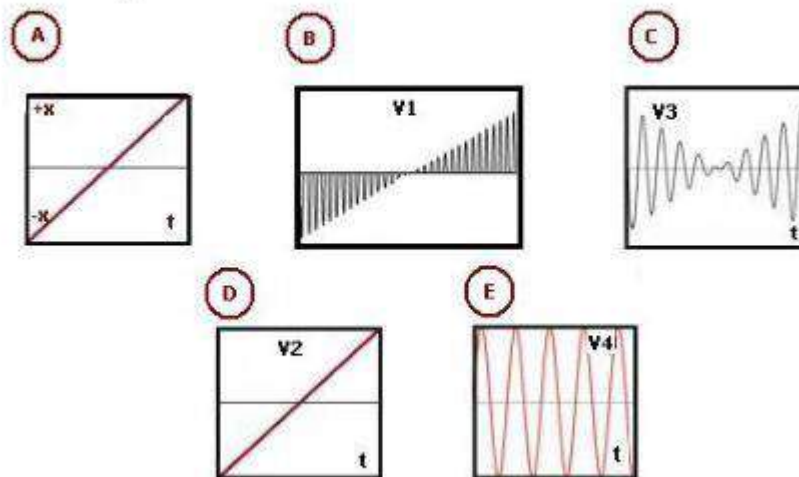


Figura 2

- a) Trata-se de um LVDT. Pode-se ver a parte móvel (núcleo ferromagnético) e 3 enrolamentos. O principal alimentado a uma tensão alternada, e dois secundários dispostos simetricamente ao principal.
- b)

1	A	Variação da posição com o tempo
2	E	Excitação do enrolamento principal (invariável com o tempo, só depende da alimentação)
3	C	Sinal qe traduz a multiplicação do sinal de excitação do 1ºario pelo deslocamento do nucleo
4	B	Sinal desmodulado e com deteção de fase - o sinal foi passado para corrente contínua, e a fase do sinal de entrada detetada
5	D	Sinal em tensão qe reproduz a posição relativamente ao zero do LVDT, depois de desmodulado com deteção de fase e filtrado em passa-baixo

2. (2,0 valores)

Explique de um modo claro os conceitos de sensibilidade e resolução de um sistema de medição de força.



$$S = \frac{d(\text{var. saída})}{d(\text{var. entrada})} = \frac{dTensão}{dForça} = mV/N$$

$$Res = \frac{Res \text{ aparelho de medição}}{S} = \frac{Res \text{ Voltímetro}}{S}$$

3. (2,0 valores)

Considere uma barra de secção rectangular encastrada numa das extremidades e solicitada em flexão, com dois extensómetros, teoricamente iguais, colados na sua face superior; um segundo a direcção longitudinal e o outro segundo a direcção transversal.

Para cada afirmação indique se é verdadeira ou falsa, **justificando devidamente** a sua escolha.

- a) Estando cada um dos extensómetros inserido numa ponte de Wheatstone distinta, a razão entre $\Delta V_T / \Delta V_L$, quando a barra é carregada, conduz à determinação directa do coeficiente de Poisson.
- b) Estando os dois extensómetros integrados numa única ponte de Wheatstone, em braços adjacentes, a sensibilidade vem amplificada por um factor 2 relativamente à que resulta da integração de apenas um elemento sensor.

- a) Numa montagem em $\frac{1}{4}$ de ponte (1 extensómetro por P.M.) é válida a seguinte eq.

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta R}{4R}$$

Além disso,

$$GF = \frac{\Delta R}{\epsilon} \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = GF\epsilon$$

Substituindo em cima fica

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{GF\epsilon}{4}$$

Pondo em ordem a ϵ

$$\frac{4\Delta V}{GFV_0} = \epsilon$$

Sabe-se que o coeficiente de Poisson é dado por

$$\frac{\epsilon_T}{\epsilon_L} = -\nu$$

Então

$$\frac{\epsilon_T}{\epsilon_L} = \frac{4\Delta V_T}{GFV_0} = \frac{4\Delta V_L}{GFV_0}$$

Onde corte tudo menos os desequilíbrios da ponte, resultando isto em

$$\frac{\epsilon_T}{\epsilon_L} = \frac{\Delta V_T}{\Delta V_L} = -\nu$$

Portanto a afirmação é verdadeira.

b)

$$\epsilon_T = -\epsilon_L \nu \rightarrow \frac{\Delta R_T}{R_T} = -\frac{\Delta R_L}{R_L} \nu \quad (1)$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (2)$$

Como os extensômetros estão ambos na face superior, o longitudinal (L) vai esticar e o transversal (T) vai encolher. Por isso têm de ser postos em braços adjacentes. Pondo o extensómetro L na posição 1 da PM e o T na posição 2 (braços adjacentes) e substituindo com a eq (2), as resistências 3 e 4 são iguais e portanto anulam-se uma à outra e fica

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right)$$

Substituindo a eq.(1)

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \nu \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

Pondo em evidencia

$$\Delta V = k \frac{\Delta R_1}{R_1} (1 + \nu)$$

Portanto a sensibilidade vem multiplicada por $(1 + \nu)$ e a afirmação é por isso falsa.

4. (6,0 valores)

A figura 3 representa um sistema de medição de temperatura de um banho constituído por dois equipamentos digitais de medição, um registador e um termopar do tipo K. Um dos equipamentos está preparado para leituras de temperatura com resolução de 0,1 °C, incluindo compensação de junção fria para este tipo de termopares. O outro, um voltímetro, apresenta uma resolução elevada, de 10 μV, na medição da força termoelétrica proveniente do termopar.

Nota: tome como sensibilidade média do termopar tipo K: 40 μV/ °C

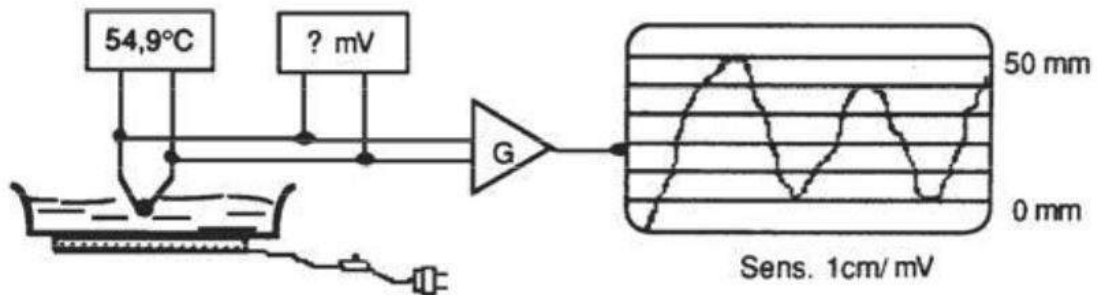


Figura 3

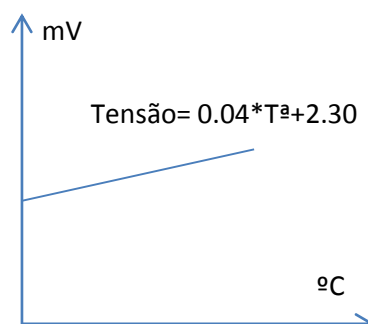
- Sabendo que a temperatura ambiente é de 25 °C, qual a tensão lida pelo voltímetro?
- Qual dos equipamentos de medição conduz a uma melhor resolução na medição de temperatura? E qual é o seu valor?
- Sabendo que o banho é mantido numa temperatura entre 54,5 °C e 55,5 °C e que a sensibilidade do registador é de 1 cm/mV, qual deverá ser o ganho G do amplificador, de modo a obter um registo das oscilações da temperatura com 50 mm de amplitude?

a)

$$S = 0.04mV/°C$$

$$\int S de = \int \frac{ds}{de} de = \int 0.04de \rightarrow s = 0.04e + c_1$$

Cond. Fronteira \rightarrow Tensão(54.9) = 4.5mV $\rightarrow 4.5 = 0.04 \cdot 54.9 + c_1 \rightarrow c_1 = 2.30mV$



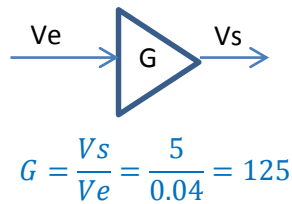
$$Tensão(25) = 0.04 \cdot 25 + 42.8 = 43.8mV$$

- b) Quanto mais baixo o valor da resolução, melhor. Um tem resolução de $0.1^{\circ}C$. O outro tem resolução de

$$Res = \frac{Res\ aparelho\ de\ med}{S} = \frac{Res\ voltmetro}{S} = \frac{0.01\ mV}{0.04\ mV/^{\circ}C} = 0.25^{\circ}C$$

Portanto é o q tem resolução de $0.1^{\circ}C$.

- c) A sensibilidade do termopar diz-me qe por $^{\circ}C$ deveria aumentar $0.04mV$. Olhando para o gráfico da direita, os $5cm$ de amplitude qe se pretende correspondem a $5mV$, e qe por sua vez a $1^{\circ}C$. Então tem de se passar de $0.04mV$ para $5mV$.



5. (3,0 valores)

Um transdutor de deslocamento foi caracterizado contra uma referência padrão existente no laboratório. Para analisar a sua histerese foi efectuado um conjunto de medições, que se apresentam na tabela seguinte:

Deslocamento (mm)	Saída transdutor (V)	Saída transdutor (V)
	Evolução crescente	Evolução decrescente
0,0	0,004	0,004
1,0	0,230	0,167
2,0	0,420	0,355
3,0	0,630	0,544
4,0	0,820	0,735
5,0	1,000	0,921
6,0	1,126	1,126

Determine a histerese associada a este transdutor de deslocamento.

$$Histerese = \frac{máx|y_i - x_i|}{gama}$$

6. (4,0 valores)

Considere o sistema de medição de velocidade de rotação de um motor representado na figura 4. Ao veio do motor está acoplado um disco metálico com uma pequena reentrância na sua periferia. Um detector de proximidade (saída 0 / 5 V) capta o sinal que se visualiza no osciloscópio.

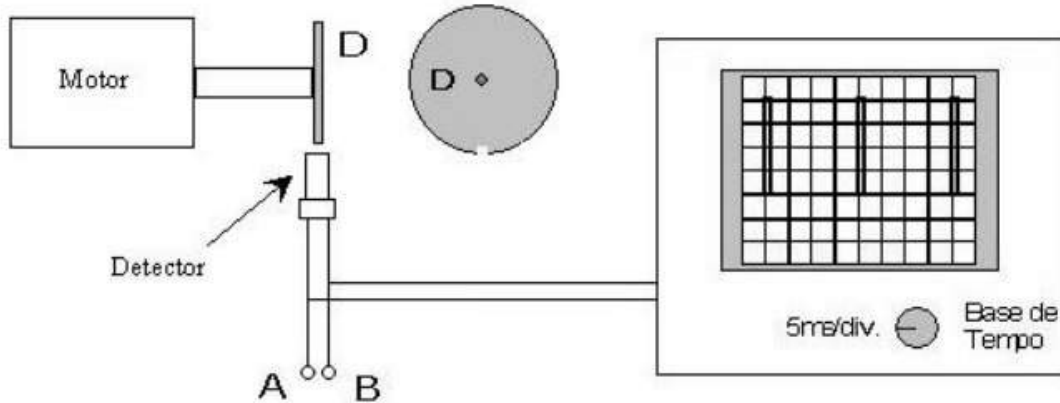


Figura 4

- a) Qual a velocidade do motor em rpm? Justifique com os cálculos necessários.
- b) Suponha agora que o motor está em funcionamento a 1500 rpm. Quantas reentrâncias, na periferia do disco, deverão ser feitas para que, ao ligar um frequencímetro aos terminais A e B, a leitura da frequência em Hz dê directamente o valor da velocidade de rotação em rpm? Justifique.
- c) Tem possibilidade de, com este detector, saber o sentido da rotação do veio do motor? Justifique.

a) Dá para contar 4 espaços entre cada impulso. Cada espaço tem 5ms -> o período é de $5 \times 4 = 20\text{ms} = 0.02\text{s}$.

$$\text{Como } F = \frac{1}{T} \rightarrow F = \frac{1}{0.02} = 50\text{Hz}$$

Como só tem uma ranhura, cada impulso corresponde a uma rotação completa. Se o osciloscópio diz q há 50 impulsos por segundo (50Hz) então roda a 50rps. $50 \text{ rps} = 50 \times 60 \text{ rpm}$.

b) Para a leitura sair directamente em rpm, um disco deve ter 60 ranhuras / painéis refletores. Porque?

Se tiver 1 ranhura, cada rotação equivale a 1 impulso. Se fizer 1rps, dá 1Hz.

Se tiver 60 ranhuras, cada rotação equivale a 60 impulsos. Se fizer $1\text{rps} = 60\text{rpm}$ dá 60Hz. Se fizer 1 rpm dá 1Hz.

Portanto é completamente independente da velocidade angular e tanto faz se o motor está em funcionamento a 1500rpm ou 10^6 rpm .

c) Não. Para isso era preciso 2 detetores ou um taquímetro eletromagnético (sinal proporcional à velocidade angular). O detector de proximidade a única coisa q faz é ver quando há ou não ranhura à frente dele. Não sabe de onde ele vem.

+Fevereiro 2008

1. (2,0 valores)

Considere dois transdutores de deslocamento: um transdutor indutivo do tipo LVDT e um transdutor indutivo por correntes de Foucault. Diga, justificando, quais as principais diferenças entre estas duas soluções na medição de deslocamento.

LVDT	Indutivo
<p>Princípio de funcionamento: 3 enrolamentos excitados a uma dada frequência vinda da alimentação. Existe um núcleo ferromagnético, solidário com o alvo, dentro dos enrolamentos que, quando se desloca, altera a amplitude do sinal de cada enrolamento. A diferença de amplitudes diz a posição do núcleo.</p> <p>Deve estar solidário com o alvo, mas as partes móveis do LVDT não contactam umas com as outras.</p>	<p>Princípio de funcionamento: 1 bobina ativa (c 1 certa indutância) introduzida numa P.M, alimentada a corrente AC, que faz gerar um campo magnético na bobina. Quando um alvo condutor se aproxima da bobina geram-se nele correntes de Foucault resultante da interação do corpo com o campo magnético da indutância. Essa interação altera a indutância da bobina alterando o desequilíbrio ΔV da ponte.</p> <p>Não tem contacto com o alvo. Precisa de calibração para alvos de diferentes materiais. É não linear.</p>

2. (3,0 valores)

Considere um sistema de medição de temperatura baseado num Pt_{100} .

- a) Quando se pretende obter o valor da temperatura através da medição directa da resistência do Pt_{100} por que se utiliza o método dos quatro condutores?
- b) Por que é que um tal sistema de medição de temperatura não inclui, normalmente, no seu condicionamento de sinal, uma ponte de medição?
- a) Falar das resistências dos cabos
- b) Porque tipicamente os RTD sofrem grandes variações de resistências percentuais ($\Delta R/R$). Um Pt_{100} a $0^\circ C$ tem 100Ω . A sua sensibilidade é de (aproximadamente) $0.39\Omega/^\circ C$. Assim um aumento de $10^\circ C$ causa um aumento de 3.9Ω ou seja $\frac{3.9}{100} \rightarrow 3.9\%$! Lembre-se que os extensómetros sofriam $\frac{\Delta R}{R} \ll 1\%$. Ora para grandes variações percentuais de uma resistência inserida numa PM a sua FT é claramente não linear.

3. (2,0 valores)

Considere uma barra encastrada numa das extremidades e solicitada em flexão, com dois extensómetros, teoricamente iguais, colados na sua face superior segundo a direcção longitudinal.

Para cada afirmação indique se é verdadeira ou falsa, **justificando devidamente** a sua escolha.

- a) Estando os dois extensómetros integrados numa única ponte de Wheatstone, em braços opostos, resulta minimizada a influência de variações de temperatura sobre a barra.
- b) Estando os dois extensómetros integrados numa única ponte de Wheatstone, em braços adjacentes, a sensibilidade vem amplificada por um factor 2 relativamente à que resulta da integração de apenas um elemento sensor.

a) Para uma P.M. tem-se

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Com dois extensómetros integrados em braços opostos (por exemplo 1 e 3) fica-se com

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)$$

Que se forem +- iguais pode-se juntar

$$\Delta V = 2k \left(\frac{\Delta R}{R} \right)$$

Sabendo qe $\Delta R = \Delta R_{cabos} + \Delta R_{temp} + \Delta R_{extensometro}$

$$\Delta V = 2k \left(\frac{\Delta R_{cabos} + \Delta R_{temp} + \Delta R_{extensometro}}{R} \right)$$

Portanto as influências da temperatura vêm agravadas... (dobram)

Se quiséssemos minimizar a influencia da temp punha-se um extensómetro em cada face, e em braços adjacentes. Assim vinha

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right)$$

Sabendo qe $\Delta R = \Delta R_{cabos} + \Delta R_{temp} + \Delta R_{extensometro}$. Agora a diferença é qe como em cima o extensómetro está à tração e em baixo à compressão, $\Delta R_{extensometro}$ vão ter sinais diferentes por isso são os únicos qe não cortam. $\Delta R_{extensometro_1} = -\Delta R_{extensometro_2}$

$$\Delta V = k \left(\frac{\Delta R_{cabos} + \Delta R_{temp} + \Delta R_{extensometro_1}}{R} - \frac{\Delta R_{cabos} + \Delta R_{temp} - \Delta R_{extensometro_1}}{R} \right)$$

$$\Delta V = 2k \left(\frac{\Delta R_{extensometro_1}}{R} \right)$$

E assim a influencia da temperatura era minimizada (na prática os ΔR_{temp} não cortam porque os extensómetros não são exatamente iguais, mas é quase como se cortassem)

b) Como se viu em cima

$$\Delta V = 2k \left(\frac{\Delta R}{R} \right)$$

4. (6,0 valores)

Considere que, para a medição de temperaturas com um termopar do tipo K ($S=40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) num determinado processo industrial, foi utilizada a montagem representada na figura 1.

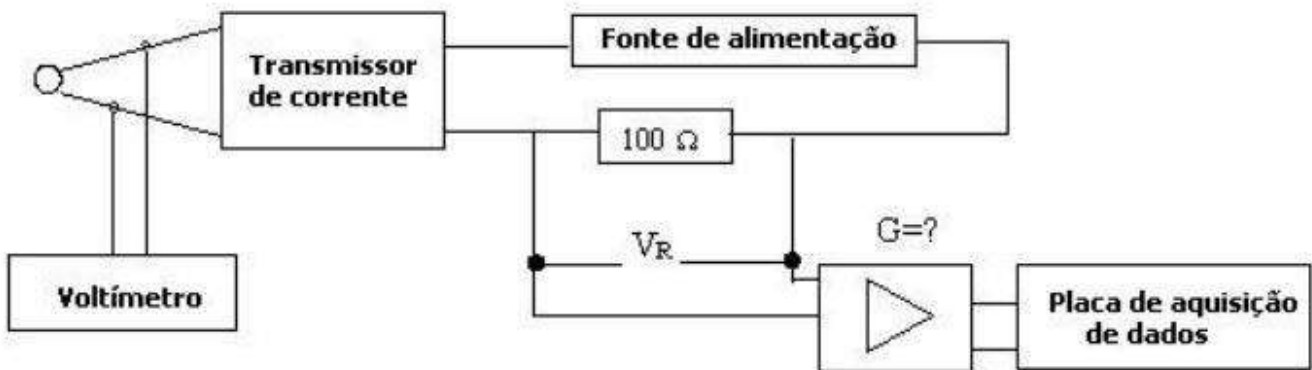


Figura 1

O transmissor de corrente para termopar, com compensação de junção fria, fornece um sinal de saída em corrente de 4 a 20 mA, para uma gama de medição de temperaturas de 0 a 1000 °C. A temperatura ambiente é de 20 °C.

a) Sabendo que a f.e.m. do termopar registada no voltímetro (3 ½ dígitos) é de 1,200 mV e que a placa de aquisição de dados regista um valor de 2,4 V, determine a temperatura da junção quente do termopar e o ganho do amplificador?

a) Ver desenho p. 85 caderno

0°C correspondem a $4\text{mA} \rightarrow 4\text{mA} \cdot 100\Omega = 400\text{mV}$. Os 1000°C correspondem a $20\text{mA} \rightarrow 20 \cdot 100 = 2000\text{mV}$. A F.T. tem de equação

V : Tensão em mV

T: Tª em °C

$$V(T) = \frac{2000 - 400}{1000 - 0}T + 400 = 1.6T + 400$$

$$1200 = 1.6T + 400 \rightarrow T = 500^\circ\text{C}$$

A placa de aquisição está a adquirir o valor de saída do amplificador. Portanto à entrada do amplificador temos 1.2V e à saída 2.4V. O ganho é 2V/V.

Se não respondeu a a), considere $G=6$ para responder às alíneas seguintes.

b) Qual a sensibilidade da cadeia de medição constituída pelo transmissor de corrente, termopar e amplificador?

c) Sabendo que a placa de aquisição de dados apresenta uma resolução de conversão de 4,88 mV, qual a resolução conseguida na leitura de temperatura pela cadeia de medição apresentada?

b) Da alínea A a sensibilidade antes do amplificador era $S = 1.6 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Como o amplificador tem um ganho de $6\text{mV/mV} \rightarrow S = 1.6 \cdot 6 = 9.6 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$

c)

$$Resolução_{sist} = \frac{Resolução\ placa}{S} = \frac{4.88 \text{ mV}}{9.6 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}} = 0.508^{\circ}\text{C}$$

5. (4,0 valores)

No sentido de obter a característica de um LVDT e respectivo condicionamento de sinal foi efectuado um conjunto de medições que se apresentam na tabela seguinte.

Deslocamento (mm)	Saída LVDT+condicionamento de sinal (V)
-2,00	-1,012
-1,50	-0,759
-1,00	-0,506
-0,50	-0,251
0,00	0,000
0,50	0,258
1,00	0,510
1,50	0,759
2,00	1,018

A característica obtida está representada na figura 2, tendo sido ajustada uma regressão linear aos pontos experimentais.

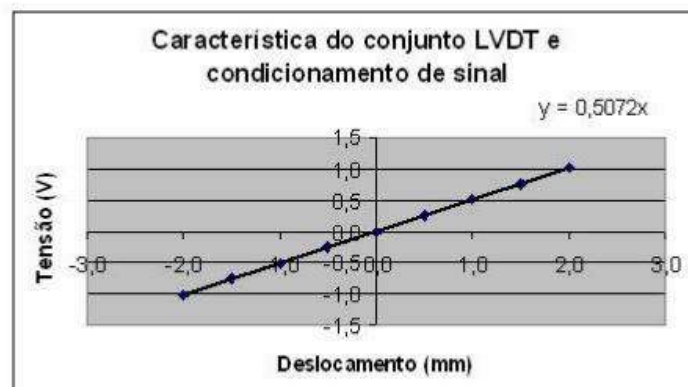


Figura 2

- a) Qual a não linearidade do conjunto LVDT e condicionamento de sinal?
- b) Este LVDT foi utilizado para instrumentar uma célula de carga do tipo anel dinamométrico que apresenta a característica representada na figura 3. Qual a sensibilidade do conjunto anel dinamométrico+LVDT?

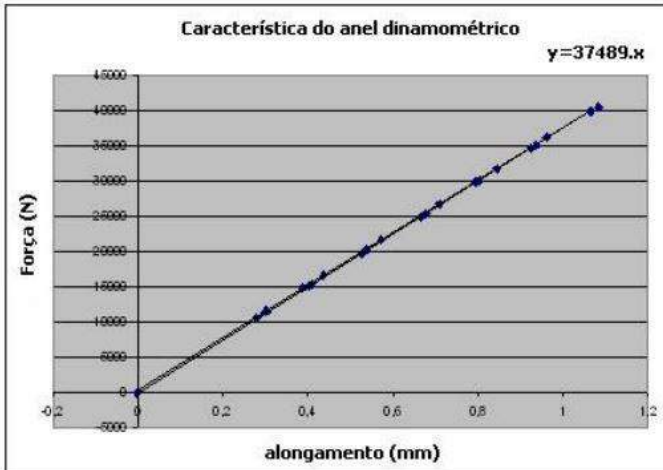


Figura 3

a) Contas...

b) $S_{sistema} = S_1 \cdot S_2 = 37489 \frac{N}{mm} \cdot 0.5072 \frac{mm}{V} = 19014 \frac{N}{V}$

6. (3,0 valores)

Pretende-se medir a velocidade de rotação de um motor ao qual está acoplado um veio metálico duplamente facetado, como representado na figura 4. O estado da saída do detector de proximidade (0 ou 5 V) sofre alteração sempre que varia a sua proximidade ao veio.

Considere que o sinal proveniente do detector é introduzido num osciloscópio, onde é observada a forma de onda conforme representada na mesma figura.

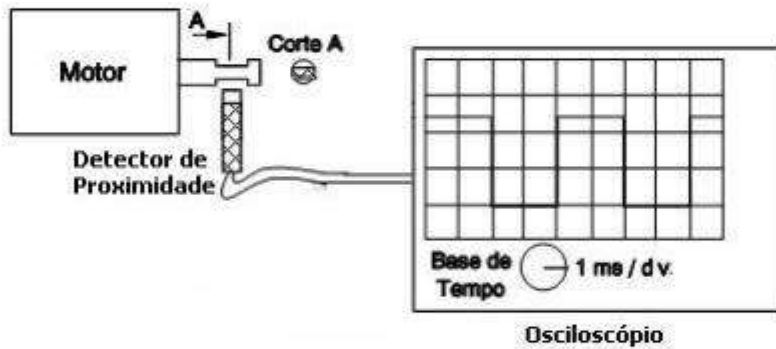


Figura 4

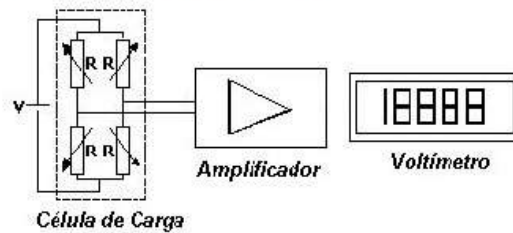
- a) Qual a velocidade de rotação do veio em rpm? Apresente o cálculo.
- b) Suponha que na extremidade do veio é acoplado um taquímetro electromagnético apresentando uma sensibilidade de 3,8 mV/rpm. Quando a velocidade de rotação do motor for 3000 rpm qual o sinal de saída do taquímetro electromagnético e qual a frequência do sinal proveniente do detector e visualizado no osciloscópio?

a) ...

b) ...

Outros

4 - Para medir forças até um valor máximo de 50 kN, utilizou-se uma célula de carga instrumentada com 4 extensômetros de resistência, idealmente iguais, apresentando cada um deles uma resistência nominal de 120Ω . Os 4 extensômetros estão montados em ponte de *Wheatstone* completa, alimentada por uma fonte de tensão de 10 V. Cada par de extensômetros contribui de forma idêntica para o desequilíbrio da ponte. O amplificador de tensão tem um ganho de 100.



Sabe-se que uma força de 50 kN produz em cada extensômetro uma variação da sua resistência de 0,1% relativamente ao seu valor nominal. Nestas condições, e admitindo que para uma força nula o desequilíbrio da ponte é nulo, responda às seguintes questões:

- Determine o valor observado no aparelho de medição quando, à célula de carga, é aplicada uma força de 50 kN.
- Calcule a sensibilidade da célula de carga.
- Calcule a sensibilidade do sistema "célula de carga + amplificador".
- Supondo que o aparelho de medição é um voltímetro digital de $4\frac{1}{2}$ dígitos, apresentando escalas de 20 mV, 200 mV, 2 V, 20 V, ..., determine a resolução com que podem ser lidas forças da ordem de 25 kN.

$$a) \quad 50kN \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = 0.1\% = 0.001$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta R}{R} \rightarrow \frac{\Delta V}{10V} = 0.001 \rightarrow \Delta V = 0.01V$$

Aplicando o ganho de 100V/V o valor lido é 1V.

$$b) \quad S = \frac{0.01V}{50kN} = 0.2 \text{ mV/kN}$$

$$c) \quad S = \frac{1V}{50kN} = 0.2V/kN$$

$$d) \quad \text{Resolução sistema} = \frac{\text{Res aparelho medição}}{S_{sist}}$$

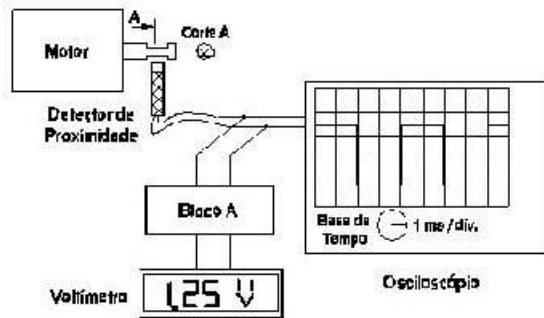
É preciso então determinar a resolução do aparelho de medição. Para forças de 25kN, à saída teremos $25 \cdot 0.2 = 5V$. Então é preciso escolher a escala de 20V.

— — — —
1 9.9 9 9 V

A resolução é então

$$\text{Res sist} = \frac{0.001}{0.2} = 5N$$

5 - Um detector de proximidade digital é usado para medir a velocidade de rotação de um motor. O estado da saída do detector (0 ou 5 V), sofre alteração sempre que varia a sua proximidade a um veio metálico acoplado ao motor e que é duplamente facetado.



O sinal proveniente do detector de proximidade é introduzido num osciloscópio e no Bloco A, um conversor de frequência em tensão, cuja saída é lida num volímetro digital; este apresenta um valor de 1,25 V.

- Calcule a sensibilidade do Bloco A.
- Nesta situação, qual a velocidade de rotação do motor? Note que o veio é duplamente facetado?
- Para velocidades de rotação do motor compreendidas entre 200 e 1800 r.p.s., qual deverá ser o número mínimo de dígitos de que deverá dispôr o volímetro digital de modo a ser possível uma leitura de velocidade com uma resolução de 1r.p.s.?

$$a) f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.004s} = 250Hz$$

$$S = \frac{1.25V}{250Hz} = 5mV/Hz$$

$$b) \omega (rps) = \frac{f}{n^{\circ} dentes} \rightarrow \omega = \frac{250}{2} = 125rps$$

- c) É preciso ver então a escala a escolher, para depois ver a resolução para essa escala. O valor máximo de tensão será o corresponde a 1800 rps.

$$1800 rps \cdot 2 dentes = 3600Hz$$

$$5 \frac{mV}{Hz} \cdot 3600Hz = 18V$$

Então escolhe-se a escala de 20V

A sensibilidade está em $\frac{mV}{Hz}$ mas queremos em $\frac{mV}{rps}$

$$S = \frac{5 mV}{\frac{rps}{2}} = 10 \frac{mV}{rps}$$

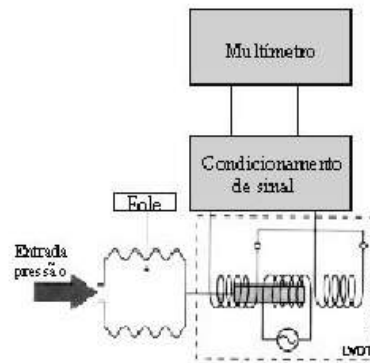
$$Res sistema \leq 1rps \geq \frac{Res volt}{S} = \frac{Res volt}{10 \frac{mV}{rps}} \rightarrow Res volt \leq 10mV$$

O de 3 ½ dígitos fica

— — — — V
1 9.9 9

Que tem resolução de 1mV ($\leq 2.5mV$) e está na escala de 20mV como pretendido./

6 - O transdutor de pressão e respectivo condicionamento de sinal, usado no controlo de uma válvula de um circuito de ventilação, está representado na figura. O elemento primário deste transdutor é do tipo fole e o elemento secundário é um LVDT, apresentando o conjunto uma gama nominal de 0-50 kPa. O LVDT que o integra permite a medição de deslocamento numa extensão de 0 a 5 mm, ao que corresponde uma tensão de saída do seu condicionamento de sinal de 0 a 1 V.



- a) Calcule a sensibilidade do LVDT.
- b) Calcule a sensibilidade do transdutor de pressão.
- c) Suponha que o multímetro da figura tem escalas de 200 mV, 2 V, 20V, 200V. Qual o mínimo número de dígitos deste multímetro de modo a que a resolução na medição de pressão obtida com este sistema, mantendo a mesma escala para toda a gama nominal do transdutor, seja 250 Pa.

Justifique as suas afirmações sempre que achar conveniente e apresente claramente todos os cálculos que efetuar. Escreva o seu nome em todas as folhas que entregar. Respostas ilegíveis não são classificadas. Verifique que o enunciado da sua prova tem 4 páginas.

1. [3,0] Considere as seguintes afirmações:

i) A técnica de montagem de um extensómetro em ponte de medição usando três condutores permite minimizar o efeito de variação da temperatura ambiente sobre o extensómetro.

ii) Um LVDT tem associado um condicionamento de sinal de grande simplicidade. ✓

Para cada afirmação indique se é verdadeira ou falsa, justificando devidamente a sua escolha.

2. [2,0] Considere uma barra instrumentada com 2 extensómetros tal como representado na figura 1.

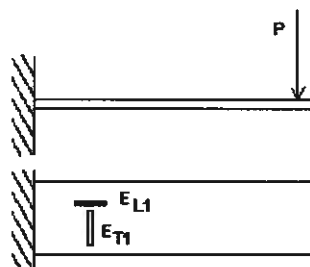
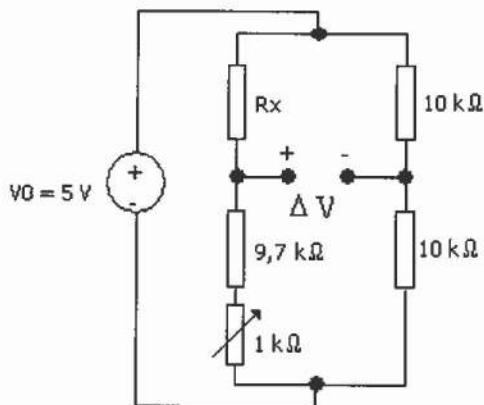


Figura 1

No sentido de otimizar a sensibilidade do sistema de medição de deformação da barra, desenhe o esquema da integração em ponte dos dois extensómetros que a instrumentam. Admita que as restantes resistências da ponte têm valor igual ao valor nominal da resistência dos extensómetros (R_E) e que estes são iguais. Justifique as diferentes razões que o levaram ao esquema que desenhou.

3. [2,5] Considere um sistema de medição de temperatura baseado num Pt_{100} , e justifique as respostas que der:

- a) [1,0] Quando se pretende obter o valor da temperatura através da medição direta da resistência do Pt₁₀₀ por que se utiliza o método dos quatro condutores?
- b) [1,5] Por que é que um tal sistema de medição de temperatura não inclui, normalmente, no seu condicionamento de sinal, uma ponte de medição?
4. [2,5] Considere um sistema de medição de velocidade baseado num taquímetro digital.
- a) [1,0] Quais os componentes fundamentais de um taquímetro digital?
- b) [1,5] De que parâmetros depende a resolução de um taquímetro deste tipo? Justifique sucintamente.
5. [3,0] Considere a ponte de medição e a tabela de medições efetuadas representadas na figura 2. A partir dos dados da tabela foi possível traçar a característica que se apresenta na figura 3.



Rx (kΩ)	ΔV (V)
0,7	-2,16
4,9	-0,84
6,8	-0,47
10,0	0,00
13,4	0,36
16,0	0,57
20,0	0,80

Figura 2

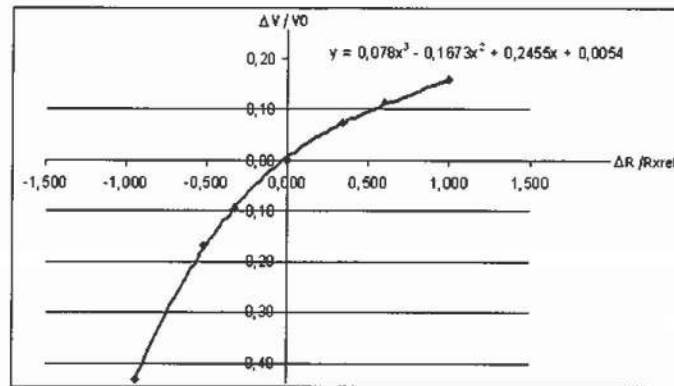


Figura 3

- a) [2,0] Qual a sensibilidade da ponte de medição para qualquer ponto de funcionamento?
 - b) [1,0] Tendo em conta os dados da figura 3, com que resolução é possível determinar a variação de resistência?
6. [3,5] Considere a cadeia de medição representada na figura 4, onde S é a sensibilidade do transdutor de força e G representa o ganho do amplificador.

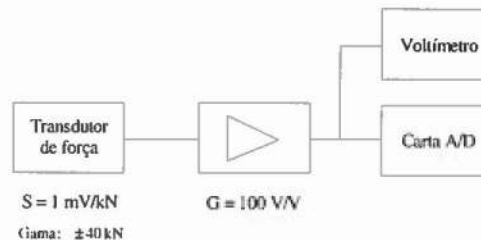


Figura 4

A carta de aquisição A/D pode ser programada para várias gamas de tensão de entrada:

Unipolares: 0/1.25 V; 0/2.5 V; 0/5 V; 0/10 V;

Bipolares: ±1.25 V; ±2.5 V; ±5 V; ±10 V.

- a) [1,0] Diga, justificando, qual a gama de entrada que escolhia.
- b) [1,5] Qual deverá ser a resolução do conversor A/D para se ter uma resolução melhor que 2 N na medição de força? Justifique.
- c) [1,0] Se o voltímetro for de 4 ½ dígitos, com escalas de 20 mV, 200 mV, 2 V e 20 V, qual a escala que deve ser escolhida para se ler a tensão correspondente a uma força de 500 N Justifique.

7. [3,5] Um transdutor de deslocamento foi calibrado contra um padrão de referência e exibiu os valores de sinal de saída para os diferentes deslocamentos sofridos anotados na tabela 1. Com base nesses valores foi feito o gráfico, representado na figura 5, onde a equação da reta resultante da regressão linear realizada dará em cada momento o deslocamento lido em função do sinal de saída do transdutor.

Tabela 1

Deslocamento (mm)	Saída (V)
6	1,184
5	0,985
4	0,786
3	0,588
2	0,390
1	0,192
0	0,000
-1	-0,204
-2	-0,403
-3	-0,600
-4	-0,789
-5	-0,992
-6	-1,180

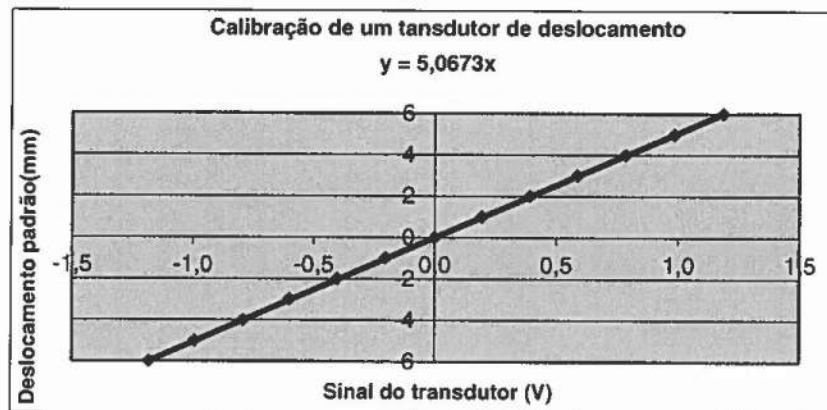


Figura 5

- [1,5] Com base nesses dados calcule o erro de linearidade que o transdutor apresenta na gama de funcionamento estudada.
- [1,0] Calcule a sensibilidade deste transdutor de deslocamento.
- [1,0] Sendo utilizado um voltímetro com 3½ dígitos (escala de 2 V), qual a resolução na medição de deslocamento?

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

Justifique as suas afirmações sempre que achar conveniente e apresente claramente todos os cálculos que efetuar. Escreva o seu nome em todas as folhas que entregar. Respostas ilegíveis não são classificadas. Verifique que o enunciado da sua prova tem 4 páginas.

1. [2,5] A característica de um sistema é também a sua sensibilidade? Justifique. Na resposta deve começar por definir claramente o que se entende por ambos os conceitos.

2. [2,5] Como pode o número de sensores ativos de deformação que instrumentam um transdutor interferir na sensibilidade do mesmo? Como contribui isso para melhorar outras características do transdutor? Na resposta deve explicar claramente as diferentes situações em que esteja a pensar.

3. [2,5] A medição de pressões é extremamente importante para a monitorização e controlo de diferentes tipos de processos. Como saberá, existem vários tipos de transdutores de pressão adequados à medição de pressões constantes ou dinâmicas. As quinadoras hidráulicas são máquinas ferramenta utilizadas na dobragem, ou quinagem, de chapa. A força aplicada durante o processo de dobragem pode ser estimada a partir de medições da pressão nas câmaras dos seus atuadores. As variações destas pressões são suaves, normalmente contidas numa largura de banda de algumas dezenas de Hz.
 - a) [1,0] Se necessitar de medir a pressão do óleo nas câmaras principais dos atuadores de uma quinadora hidráulica durante uma operação de dobragem de chapa, que tipo de transdutor de pressão escolheria? Justifique a sua resposta.
 - b) [1,5] Explique sucintamente o princípio de funcionamento do transdutor de pressão que escolheu na alínea anterior.

4. [2,5] Os detetores de proximidade são elementos extremamente importantes na automação de processos de fabrico, de montagem, de inspeção e outros. Um dos

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

tipos de detetores de proximidade mais utilizado é o detetor indutivo, utilizando correntes de Foucault.

- a) [1,5] Descreva o princípio de funcionamento deste tipo de detetores.
 - b) [1,0] Tendo em conta o princípio de funcionamento que descreveu na alínea anterior, indique o ou os tipos de materiais que podem ser detetados por este detetor de proximidade. Justifique a sua resposta.
5. [3,5] Pretende-se usar um termopar do tipo K ($S = 40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) para medir a temperatura de um forno. Para efetuar a compensação da junção fria do termopar, colocada à temperatura ambiente, dispõe-se de um Pt_{100} ($S = 0,385 \Omega/^\circ\text{C}$). Mediu-se a resistência do Pt_{100} pelo método dos 2 condutores (à temperatura ambiente) tendo-se obtido 110Ω .
- a) [1,0] Determine o valor da temperatura ambiente.
 - b) [1,0] Se a força eletromotriz gerada pelo termopar for de $4,2 \text{ mV}$, determine a temperatura do forno.
 - c) [1,0] A utilização do método dos 2 condutores, contribui com um erro relativo na medição da temperatura ambiente de 2% . Determine o valor da resistência dos cabos usados na leitura do Pt_{100} .
 - d) [0,5] Tendo em conta o erro referido em c), corrija o valor da temperatura do forno.
6. [3,0] Considere uma barra de aço encastrada instrumentada com quatro extensómetros ($GF = 2,04$; $R_E = 120 \Omega$), colados simetricamente nas faces superior e inferior da barra. O esquema de montagem dos extensómetros em cada face da barra está representado na figura 1.

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

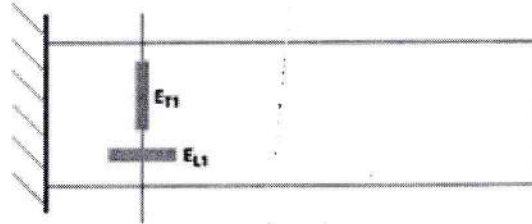


Figura 1

Os dois conjuntos de extensómetros (longitudinais e transversais) foram integrados em duas pontes de medição (tensão de alimentação V_0 : 2,5 V) em braços adjacentes. Considere que as restantes resistências das pontes tem valor igual à resistência nominal dos extensómetros. Para cada conjunto, longitudinal e transversal, a cadeia de medição está representada na figura 2. O ganho do bloco de amplificação é igual a 10.

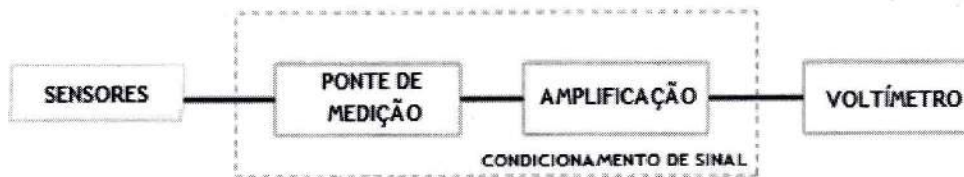


Figura 2

Para cada conjunto (longitudinal e transversal) foi medida a tensão (V_L e V_T) resultante da aplicação de diferentes massas na extremidade livre da barra. Os valores medidos de V_L e V_T , bem como o valor calculado da tensão mecânica, σ , são apresentados na tabela 1.

Tabela 1

massa (kg)	V_L (mV)	V_T (mV)	σ (MPa)
0,0000	0,00	0,00	0,00
0,4999	1,13	-0,34	9,24
0,9983	2,26	-0,68	18,46
1,4966	3,37	-1,01	27,68
1,9953	4,48	-1,34	36,90
2,4923	5,57	-1,67	46,90

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

- a) [1,0] Qual o valor do coeficiente de Poisson do material da barra?
 b) [1,0] Qual o valor do módulo de Young do material da barra?

$$\left(\text{considere } \Delta V = \frac{V_0}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] \right)$$

- c) [1,0] Qual deverá ser o ganho do bloco de amplificação para que a leitura feita no voltímetro em mV corresponda diretamente à deformação, em $\mu\epsilon$.

7. [3,5] Suponha que lhe era pedido para estimar em tempo real a quantidade de papel numa bobina, e que para o efeito usava um LVDT com um sensibilidade de 0,25 V/mm e cujo zero coincide com $X=0$, tal como representado na figura 3. Admita que a espessura do papel é de 0,05 mm (incompressível) e que o diâmetro interno da bobina é de 40 mm.

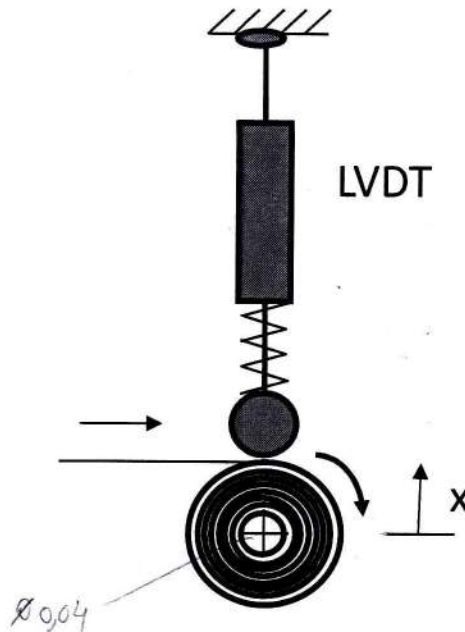


Figura 3

- a) [1,5] Se a saída do LVDT apresentar o valor de 7,8 V, estime o número de camadas de papel bobinadas.
 b) [1,0] Admitindo que usa um multímetro de 2 ½ dígitos numa escala de 20V, qual a resolução na medição do número de camadas de papel bobinado?
 → c) [1,0] Para a situação da alínea a) estime a extensão de papel bobinado.

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

Justifique as suas afirmações sempre que achar conveniente e apresente claramente todos os cálculos que efetuar. Escreva o seu nome em todas as folhas que entregar. Respostas ilegíveis não são classificadas.

1. [5,0] Com base na estrutura do circuito de uma ponte de *Wheatstone* contendo todas as suas resistências iguais e de valor R , mostre as diferentes funcionalidades da ponte de medição que a tornam num componente importante do bloco de condicionamento e transmissão de sinal para variados transdutores. Para simplificar, suponha que integra nela dois sensores do tipo extensómetros de resistência e que estes estão a sofrer variações iguais e simétricas. Considere que V_0 é o valor da sua alimentação.
2. [5,0] Uma célula de carga do tipo coluna, um transdutor de força normalmente usado para medir elevadas forças de compressão, tem o seu corpo de prova comumente instrumentado com 8 extensómetros de resistência, dispostos como apresentado na figura 1.



Figura 1

Apresente um esquema da integração destes extensómetros numa ponte de *Wheatstone* de modo a conseguir maximizar a sensibilidade do transdutor e minimizar a influência da temperatura e de outras grandezas de influência como, por exemplo, as imperfeições geométricas. Justifique a sua resposta.

3. [3,5] Considere uma fonte de tensão/corrente regulável, na qual foram ajustados os valores máximos de 10 V e 2 mA.
- [0,5] Se ligar à fonte uma carga $R_L = 5,7 \text{ k}\Omega$, qual o modo de funcionamento e quais os valores de corrente e tensão fornecidos pela fonte? Justifique.
 - [1,0] Suponha agora que liga à fonte um sensor de temperatura resistivo usado para medir temperatura entre 20 °C e 30 °C. O sensor apresenta a seguinte relação entre a resistência, R , e temperatura, t : $R = 100 + 0,385 t$. Qual o modo de funcionamento e quais os valores de corrente e tensão fornecidos pela fonte nesta situação? Justifique, apresentando todos os cálculos que efetuar.
 - [1,0] Considerando que o sensor é alimentado com uma corrente de 2 mA e que usa um voltímetro (3½ dígitos, escala 2 V) para ler a tensão nos seus terminais determine a sensibilidade deste sistema de medição de temperatura para a gama de temperatura indicada na alínea b).
 - [1,0] Nas condições da alínea c) qual a resolução na medição de temperatura com este sistema?
4. [3,0] A tabela e o gráfico da figura 2 mostram os resultados obtidos na caracterização de um sensor de temperatura do tipo NTC.

t (°C)	R (Ω)
20,95	5700,1
24,05	5220,2
33,15	4400,4
38,25	3640,0
43,85	3130,0
47,95	2800,2
51,25	2570,3
53,65	2430,0
55,55	2290,1
58,95	2200,2
58,15	2131,1

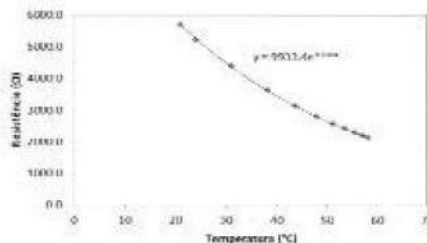


Figura 2

- [1,0] Determine a sensibilidade do NTC para qualquer ponto de funcionamento.
- [1,0] Suponha que se pretende medir temperatura em torno dos 40 °C. Calcule a resolução na medição de temperatura que é possível obter.

Prova sem consulta. Duração: 2h00m.

- c) [1,0] Determine a resolução com que é possível medir temperatura em toda a gama de medição.
5. [3,5] Suponha que possui uma barra de aço ($E=210$ GPa) encastrada de modo semelhante ao utilizado nas aulas práticas, instrumentada em $\frac{1}{4}$ ponte (3,5 V de alimentação) com os extensómetros (350Ω , $GF=2,02$) alinhados com o eixo longitudinal da barra na face superior e na face inferior. Sabendo que as respetivas resistências variam de $0,08\ \Omega$ por ação de uma carga de 10 kgf, determine:
- a) [1,0] O desequilíbrio da ponte de medição;
- b) [1,0] A sensibilidade do sistema;
- c) [0,5] A resolução do sistema, sabendo que a mínima variação que o equipamento de leitura consegue medir é de $10\ \mu V$;
- d) [1,0] A deformação longitudinal da barra, bem como a tensão mecânica instaladas.

Bibliografia

- [1] Restivo, M.T., Almeida, F.G., Chouzal, M.F. et al. (2008). “Laboratórios de Instrumentação para Medição”. Porto: Editora UP.
- [2] Restivo, M.T., Almeida, F.G., Chouzal, M.F. “Módulos de Medição de Deslocamento, Medição de Temperatura e Medição de Tensão e Deformação.
- [3] Almeida, F.G. (2000) [Slides] Instrumentação para Medição: Detetores de Proximidade, Medição de Força Binário e Pressão e Medição de Velocidade.
- [4] Restivo, M.T. (2005) [Slides] Vocabulário Metrológico.



www.estudomec.info