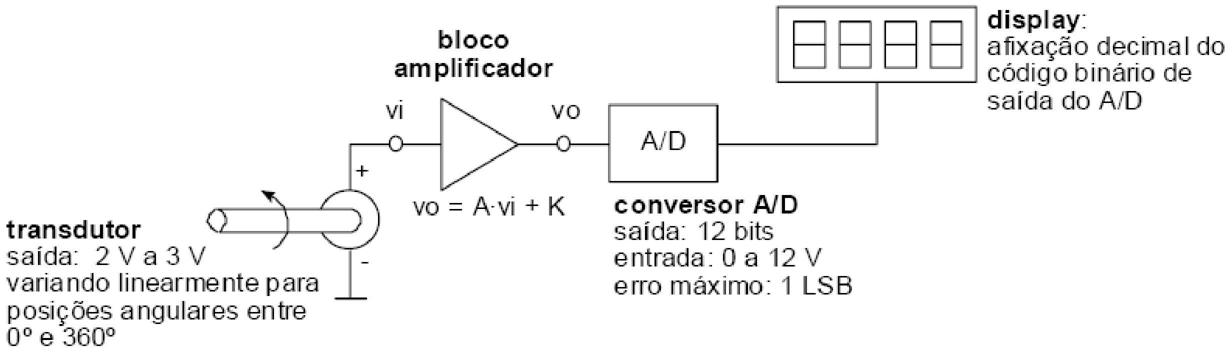
2º Ano de Engenharia Electrotécnica

Instrumentação Electrónica e Medidas

Exame (1ª Chamada) – 21 de Junho de 2010

SUGESTÃO DE RESOLUÇÃO

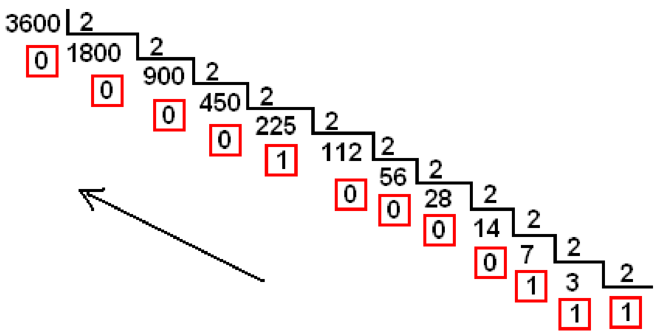
1) Pretende-se visualizar, com a resolução de um décimo de grau, a posição angular (entre 0 e 360º) de uma engrenagem de uma máquina, indicada pelo transdutor que aparece no início da cadeia de medida mostrada na figura seguinte.



a) Determine a gama de tensões na entrada do conversor A/D, necessária para essa visualização.

Resolução:

O display apresenta, no formato decimal, o valor binário proveniente da saída do conversor A/D. Como o valor máximo a medir é 360,0º (lembre-se que a resolução do display é de 1/10 de grau) isto implica que o valor que o ADC deve colocar à saída é o equivalente binário de 3600. Comecemos por converter para binário esse valor (utilizando, como já devem saber, a divisão descendente por 2).



Dando o seguinte valor: $3600_{10}=111000010000_2$ (como é óbvio o aluno poderia utilizar a calculadora para realizar a conversão!).

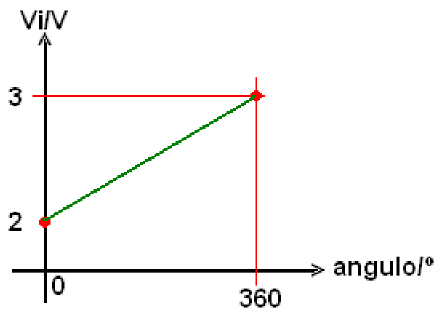
Note agora que, das condições de operação do conversor A/D, a tensão de referência é 12V. Isto implica que quando à entrada do conversor A/D tiver 12V a sua saída é o valor de fim-de-escala, ou seja $111111111111_2 = 4095_{10}$. A resolução é, neste caso $12/2^{12}\approx 0.002929$V (acetato 5, capítulo 5). O que implica que é necessária uma tensão à entrada igual a 0.002929x3600≈10,55V=Vo para que a saída do conversor A/D forneça a string binária pretendida.

Nota: outras resoluções, desde que devidamente justificadas, também serão aceites.

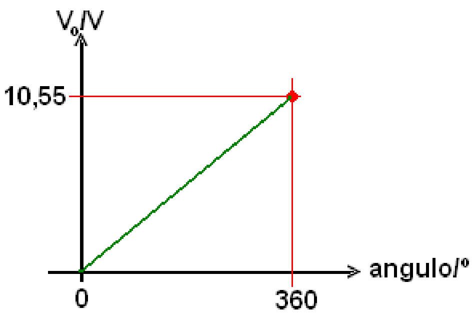
b) Determine as constantes A e K do bloco amplificador.

Resolução:

Sabe-se que o sensor possui o seguinte comportamento:



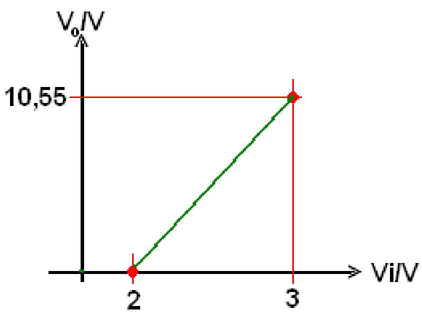
E que a tensão à entrada do conversor A/D deverá ter o seguinte perfil:



O bloco amplificador realiza a operação:

$V_o = A \cdot V_i + K$ (1)

E permite realizar a seguinte transformação:



O declive da recta apresentada é $m = 10,55$ e a equação da recta é:

$$\begin{aligned} V_o &= 10,55(V_i - 2) \\ &= 10,55V_i - 21 \end{aligned} \quad (2)$$

Comparando (2) com (1) observa-se que:

$A = 10,55$ e $K = -21$

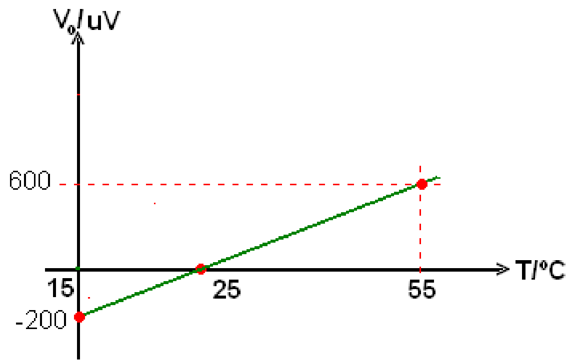
c) Relativamente ao bloco amplificador sabe-se que pode funcionar entre as temperaturas de 15 ºC e 55 ºC; apresenta um erro de offset à entrada compensado à temperatura de 25ºC, mas com uma deriva térmica de 20 μV/ºC. Apresenta ainda uma tensão de ruído, referida à entrada, com uma amplitude máxima de 100 μV. Determine o erro absoluto máximo cometido na medida de qualquer posição angular.

Resolução:

De acordo com os dados do problema, o amplificador possui uma deriva com a temperatura que pode ser representada pela seguinte equação:

$$V_{offset} = 20\mu V\left(T-25\right)$$

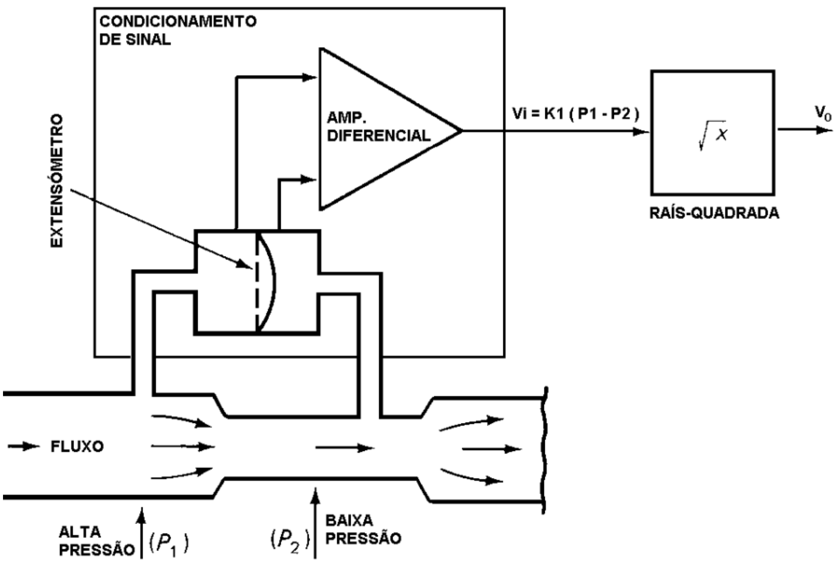
Onde T se refere à temperatura em ºC. O gráfico em baixo apresenta o comportamento térmico do amplificador.



O valor máximo da deriva, em módulo, dentro da gama de temperatura definida é de 600 μV. Tendo em conta ainda a tensão de ruído de 100 μV, pode-se concluir que o erro absoluto máximo será de 700 μV.

Observe que poderia ainda ser contemplado o erro de resolução do conversor A/D.

2) O método de medida que se apresenta na figura, fornece uma tensão proporcional à diferença de pressão entre os dois lados de um diafragma. Com base neste valor estima-se o caudal do fluído que circula num tubo.



a) Associado a cada um dos lados do diafragma existe um extensómetro. Explique sucintamente a forma como este tipo de sensor funciona, o que pode medir e como é normalmente feito o seu condicionamento de sinal.

Resolução:

Ver sebenta "sensores e actuadores" páginas 26 a 31 e acetato 20, capítulo 3.

b) Admita que P1=100KPa±10%, P2=80KPa±8KPa. Se o fluxo, em m^3/min, for igual a Vo e se K1=0.1 determine o valor máximo do erro de medida nesta situação.

Resolução:

Sabe-se que $V_0 = 0.1\sqrt{P_1 - P_2}$ e que o fluxo F é igual a Vo. Deste modo o caudal do fluído é medido, de forma indirecta, pela diferença de pressões que se conhecem com incerteza, i.e.

$$F = 0.1\sqrt{P_1 - P_2}$$

Aplicando a fórmula fundamenta da propagação dos erros tem-se:

$$\varepsilon_F \le \left|\frac{\partial F}{\partial P_1}\frac{P_1}{F}\right|\varepsilon_{P_1} + \left|\frac{\partial F}{\partial P_2}\frac{P_2}{F}\right|\varepsilon_{P_2} \qquad (1)$$

Calculando as derivadas parciais fica:

$$\frac{\partial F}{\partial P_1} = 0.1\frac{1}{\sqrt{(P_1 - P_2)}} \text{ e } \frac{\partial F}{\partial P_2} = -0.1\frac{1}{\sqrt{(P_1 - P_2)}}$$

Substituindo em (1) fica:

$$\varepsilon_F \le \left|0.1\frac{1}{\sqrt{(P_1 - P_2)}}\frac{P_1}{0.1\sqrt{(P_1 - P_2)}}\right|\varepsilon_{P_1} + \left|-0.1\frac{1}{\sqrt{(P_1 - P_2)}}\frac{P_2}{0.1\sqrt{(P_1 - P_2)}}\right|\varepsilon_{P_2}$$

$$\le \left|\frac{P_1}{(P_1 - P_2)}\right|\varepsilon_{P_1} + \left|-\frac{P_2}{(P_1 - P_2)}\right|\varepsilon_{P_2}$$

$$\le \frac{P_1}{(P_1 - P_2)}\varepsilon_{P_1} + \frac{P_2}{(P_1 - P_2)}\varepsilon_{P_2}$$

O erro relativo da medida de P_1 é dado pelo problema e igual a 10%. Relativamente a P_2 é dado o erro absoluto cujo valor relativo pode ser facilmente calculado por:

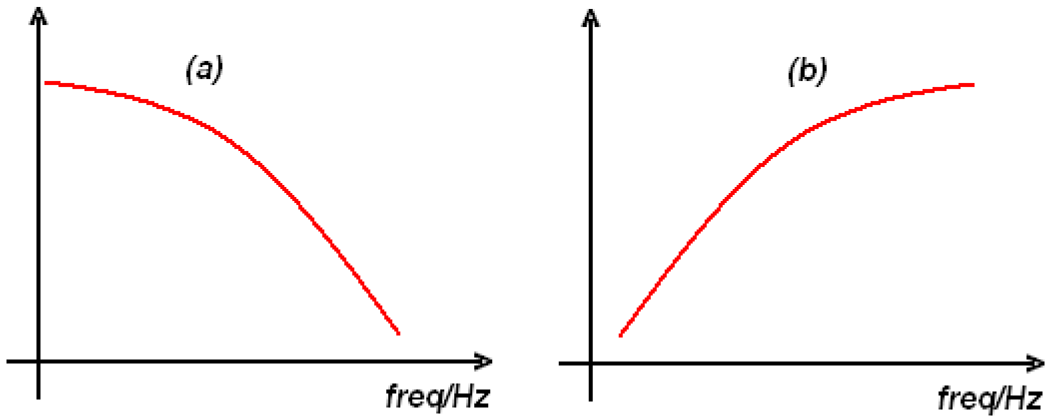
$$\varepsilon_{P_2} = \frac{8}{80}\times 100 = 10\%$$

O que leva a:

$$\varepsilon_F \le \frac{100}{20}10 + \frac{80}{20}10 = 90\%$$

Conclui-se que este método não é eficiente devido ao elevado valor do erro relativo envolvido na medição.

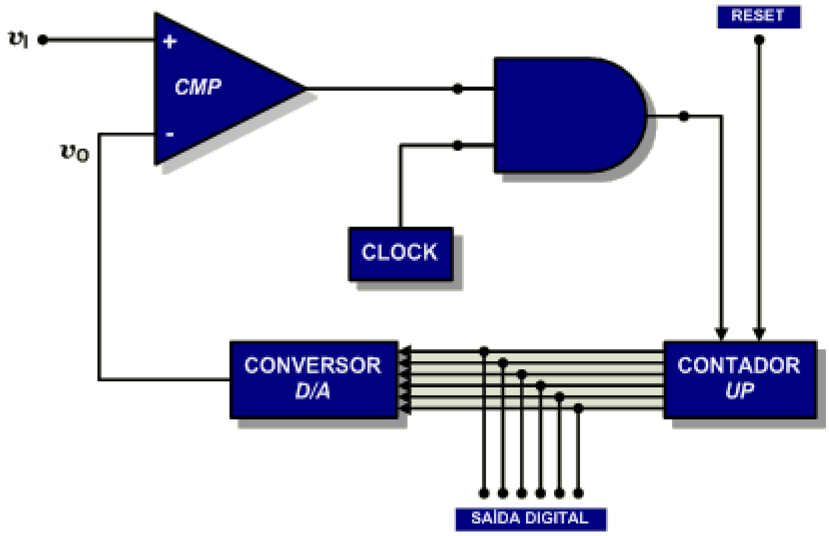
3) Qual das seguintes respostas em frequência lhe parece mais provável ser a de um galvanómetro de quadro móvel. Justifique convenientemente.



Resolução:

Ver acetatos 15 a 19, capítulo 2.

4) Explique convenientemente o modo de operação de um conversor A/D contador cujo diagrama de blocos se encontra representado na figura subsequente.



Resolução:

Imagine-se que, inicialmente o contador é reposto a zero através da entrada de RESET. Com este procedimento a saída do contador é zero o que implica que à saída da DAC a saída seja 0 V. Imagine-se que se pretende converter uma tensão vi qualquer >0. Nesta situação, como vi>vo a saída do comparador é alta. Este sinal alimenta uma das entradas de uma porta AND estando a outra ligada a um gerador de CLOCK. Devido ao modo de operação da porta AND, dado que uma das entradas é '1' lógico, a saída da porta é igual ao sinal de CLOCK. Este sinal alimenta o contador que o obriga a incrementar. A nova string apresentada à saída do contador é convertida num novo valor de tensão vo. Se esse valor continuar a ser inferior a vi o contador continua a incrementar. Este procedimento repete-se até que vo>=vi. Nesta situação o contador pára a sua contagem, dado que a saída do comparador é '0' lógico o que implica que a saída da porta é independente do CLOCK, e o valor vi convertido para digital encontra-se disponível à saída do contador.

Cotações:

1a	1b	1c	2a	2b	3	4
3	3	3	3	3	2	3

FORMULÁRIO:

Erros de Medida

- Erro de Medida

$\Delta x = x_{\text{Real}} - x_{\text{Medido}}$

- Valor Absoluto do Erro

$\delta x = |\Delta x| = |x_{\text{Real}} - x_{\text{Medido}}|$

- Erro Relativo

$\varepsilon_x = \delta x / |x_{\text{Real}}| \approx \delta x / |x_{\text{Medido}}|$

- Se x é uma grandeza função de n grandezas parciais $y_1, y_2, ..., y_n$ com erros de medida $\varepsilon_{y1}, \varepsilon_{y2}, ..., \varepsilon_{y2}$ respectivamente, o erro relativo majorado de x é dado por:

$$\varepsilon_x \le \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial f(y_1,...,y_n)}{\partial y_i} \cdot \frac{y_i}{f(y_1,...,y_n)} \right| \cdot \varepsilon_{y_i}$$

Estatística da Medida

- Média Aritmética

$$\mu = \sum_{i=1}^{n} x_i \bigg/ n$$

- Desvio Médio Absoluto

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} |x_i - \mu| \bigg/ n = \mu \cdot \varepsilon$$

- Desvio Padrão

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2 \bigg/ n}$$

Exactidão na Instrumentação Analógica

- Erro Absoluto Máximo

$\delta_{\max} = ic \cdot V_{fe} / 100$

- Erro Relativo Máximo

$\varepsilon_{\max} = ic \cdot V_{fe} / V_m$

Exactidão na Instrumentação Digital

- Especificação da Exactidão

$\pm[\varepsilon_{in} + n\,LSD]$

- Erro Relativo Máximo

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{in} + \frac{n \times \text{Resolução}}{Vm} \times 100$$

- Erro Absoluto Máximo

$$\delta_{\max} = \frac{Vm \cdot \varepsilon_{\max}}{100} = \frac{\varepsilon_{in} Vm}{100} + n \times \text{Resolução}$$

Sinal

- Valor Médio

$$V_o = \frac{1}{T} \int_T v(t)\,dt$$

- Valor Eficaz

$$V_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \int_T v^2(t)\,dt$$

- Factor de Crista

$$FC = \frac{Vp}{V_{RMS}}$$

Medida de Grandezas Eléctricas

- Sensibilidade

$$S = \frac{R_{in}}{V_{FE}}$$

$$S_{AC} = \frac{Rin}{V_{RMS}}$$

- Deflexão

$$D = \frac{I_{in}}{I_{AF}}$$