

1) Temos

$$\begin{cases} \tau = 0,1 \text{ min}; \\ X_s = 100^\circ F; \quad A = 2^\circ F; \\ f = \frac{10 \text{ ciclos}}{\pi \text{ min}} \Rightarrow \omega = 2\pi \frac{10}{\pi} = 20 \frac{\text{rad}}{\text{min}}; \end{cases}$$

Desta forma, podemos calcular a amplitude e atraso da resposta por:

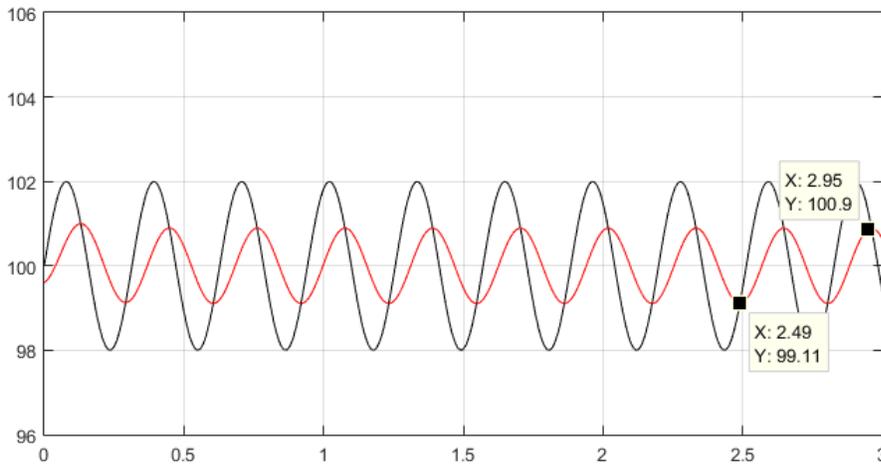
$$M = \frac{KA}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} = \frac{2}{\sqrt{1 + 20^2 \cdot 0,1^2}} = \frac{2}{\sqrt{5}} 0,894^\circ F$$

$$\tan(\phi) = -\omega\tau = -20 \cdot 0,1 = -2 \Rightarrow \phi = -1,1071 \text{ rad} = -63,4^\circ$$

Desta forma, a resposta do termômetro será

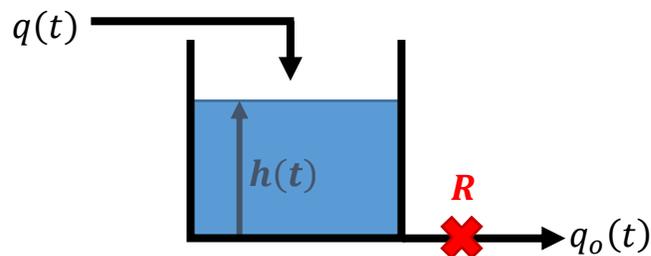
$$y(t) = 100 + \frac{2}{5} e^{-10t} + 0,894 \text{ sen}(20t - 1,1071)$$

E plotando entrada e saída, temos:



Com o atraso de $63,4^\circ$ e a frequência de $\frac{10 \text{ rad}}{\pi \text{ min}}$, podemos facilmente calcular o atraso em minutos, sendo este de $0,05554 \text{ min}$.

2) A figura abaixo ilustra o enunciado,



Com $q(t)$ sendo a vazão de entrada no tanque, $q_o(t)$ a vazão de saída do tanque, $h(t)$ a altura do nível de água no tanque. A vazão de saída no tanque pode ser definida por:

$$q_o(t) = \frac{h(t)}{R}$$

Com R sendo a resistência ao escoamento.

Do equilíbrio de massa, temos que a taxa de entrada de massa no tanque $\rho q(t)$ menos a taxa de saída de massa no tanque $\rho q_o(t)$ equivale ao acúmulo de massa no tanque, ou seja

$$\rho q(t) - \rho q_o(t) = \frac{d(\rho Ah(t))}{dt}$$

Com A sendo a área da secção transversal do tanque e ρ a densidade da água.

Sendo a área A constante, temos:

$$q(t) - \frac{h(t)}{R} = A \frac{d(h(t))}{dt}$$

E no caso de regime permanente, as taxas de entrada e saída são iguais, ou seja:

$$q_s - \frac{h_s}{R} = 0$$

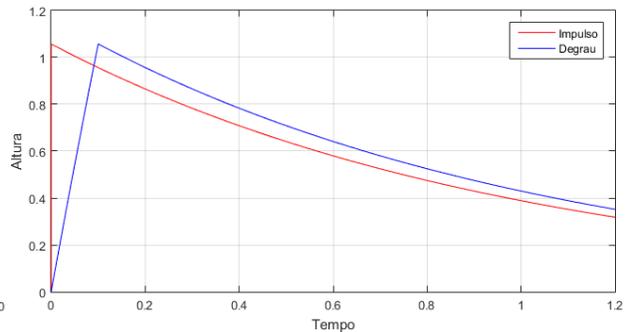
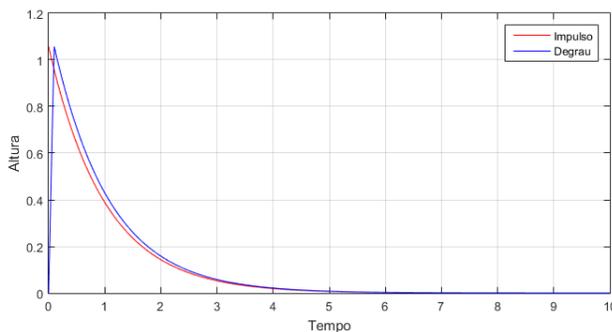
Por fim, subtraindo as duas ultimas equações, temos:

$$(q - q_s) - \frac{1}{R}(h - h_s) = A \frac{d(h)}{dt} \Rightarrow Q - \frac{1}{R}H = A \frac{d(H)}{dt}$$

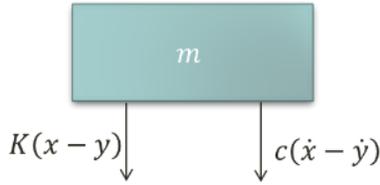
Fazendo Laplace, temos:

$$Q - \frac{H}{R} = AHs \Rightarrow RQ - H = RAHs \Rightarrow H + RAHs = RQ \Rightarrow \frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{R}{RA s + 1}$$

Por analogia dos sistemas de primeira ordem, podemos então deduzir que R é o ganho e a constante de tempo vale $\tau = RA$.



3)



$$m\ddot{x} = -c(\dot{x} - \dot{y}) - k(x - y)$$

$$z(t) = x(t) - y(t)$$

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} = m\omega^2 Y \sin \omega t$$

Fornecer excitação à base equivale a aplicar uma força harmônica de magnitude $m\omega^2 Y$ à massa sísmica.

$$z(t) = \frac{Km\omega^2 Y}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$z(t) = \frac{\omega^2 Y \sin(\omega t - \varphi)}{\omega_n^2 \sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

$$\omega_n^2 z(t) = \frac{\omega^2 Y \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$$\omega_n^2 z(t) = M_S(\omega) \ddot{y}(t)$$

compressão
do sistema

aceleração

4) A restrição de amplitude pode ser equacionada por:

$$\left| \frac{Y_A}{A} \right| = 1.03 = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{2\pi 10,000}{2\pi f_n}\right)^2\right)^2 + 4 \times 0.05^2 \left(\frac{2\pi 10,000}{2\pi f_n}\right)^2}}$$

com soluções de $f_n = 58,59 \text{ kHz}$ e $f_n = 7,2 \text{ kHz}$. Como a frequência natural do acelerômetro deve ser maior do que a frequência de excitação, 10 kHz , a frequência mínima aceitável é de $f_n = 58,59 \text{ kHz}$.

Da restrição de fase, temos que

$$\phi = 0.75^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2 \times 0.05 \frac{10,000}{f_n}}{1 - \left(\frac{10,000}{f_n}\right)^2} \right)$$

com resposta de $f_n = 77,68 \text{ kHz}$. Desta forma, para que as restrições de fase e amplitude sejam respeitadas, a frequência natural do acelerômetro deve ser de no mínimo $f_n = 77,68 \text{ kHz}$.

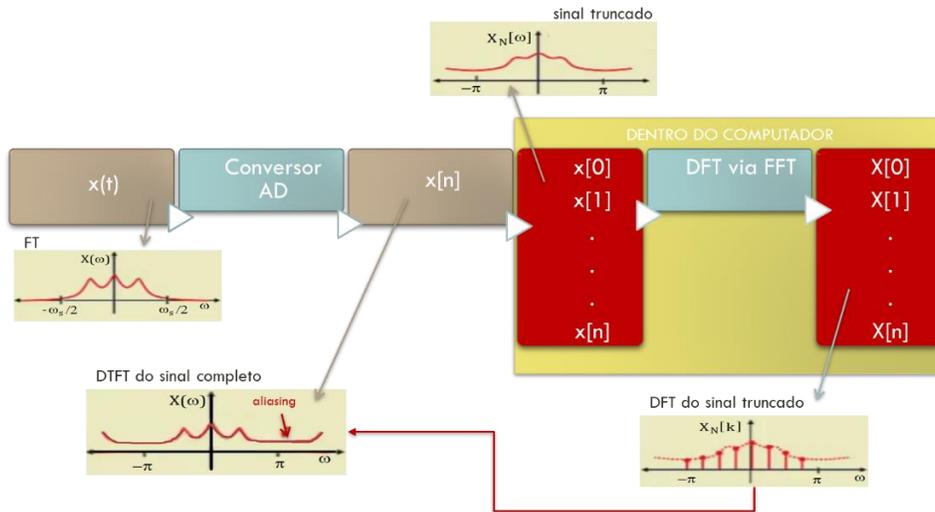
5)



A ideia é entender a seguinte sequência de análise de um sinal, no domínio da frequência:

Série de Fourier serve para sinais periódicos e contínuos no tempo. A Transformada de Fourier serve para sinais aperiódicos, e foi obtida analisando-se a Série de Fourier para período infinito (sinal, portanto, infinito).

O computador irá capturar e analisar um sinal discreto (digital), aperiódico e finito. Quais são os possíveis erros que podem ocorrer na análise?



57

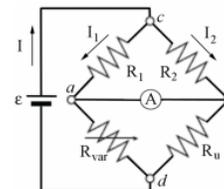
O que é aliasing? Qual o critério de Nyquist? Para que serve a filtragem do sinal ANTES da captura? Para que serve o truque do zero-padding? O que é Leakage? Porque o problema é parcialmente resolvido com *windowing*? Quais as vantagens dos diferentes tipos de janelas (Hamming, Hanning, retangular,...)?

6) Um fio de comprimento l_0 , área A_0 e resistividade ρ possui um resistência R_0 calculada por: $R_0 = \frac{\rho l_0}{A_0}$.

Se desejamos derreter este fio para criar um novo com resistência $2R_0$, devemos manter a massa. Como a densidade é constante, teremos o mesmo volume nos dois fios, ou seja, $l_0 A_0 = l A$. Portanto, podemos dizer que a nova área será de $A = \frac{l_0 A_0}{l}$. Portanto temos:

$$R = 2R_0 \Rightarrow \frac{\rho l}{A} = 2 \frac{\rho l_0}{A_0} \Rightarrow l \frac{l}{l_0 A_0} = 2 \frac{l_0}{A_0} \Rightarrow l^2 = 2l_0^2 \Rightarrow l = \sqrt{2} l_0$$

7) Quando não existe corrente fluindo pelo amperímetro, a diferença de potencial $V(a) - V(b) = 0$, ou seja, $V(c) - V(a) = V(c) - V(b)$. Se a corrente estiver fluindo como na figura, temos que $V(c) - V(a) = I_1 R_1$ e $V(c) - V(b) = I_2 R_2$.



E quando a corrente no amperímetro é nula, temos que $I_1 R_1 = I_2 R_2$.

Da mesma maneira, temos que $V(a) - V(d) = V(b) - V(d)$. Desta forma, temos que

$$I_1 R_{var} = I_2 R_u \Rightarrow R_u = \frac{I_1}{I_2} R_{var} = \frac{R_2}{R_1} R_{var} = \frac{1,5}{6,0} 12,0 = 3,0 \Omega$$

8) Temos que as deformações podem ser calculadas por:

$$\epsilon_a = -\epsilon_b = \epsilon_c = \frac{P(2L + X)h}{EI} \quad \text{e} \quad \epsilon_D = \frac{PXh}{EI}$$

Com E sendo o módulo elástico e I o momento de inércia. Desta forma, podemos calcular:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{V}{4} \left(\frac{\Delta R_a}{R_a} - \frac{\Delta R_b}{R_b} + \frac{\Delta R_c}{R_c} - \frac{\Delta R_d}{R_d} \right) \\ &= \frac{V}{4} (G_f \epsilon_a - G_f \epsilon_b + G_f \epsilon_c - G_f \epsilon_d) \\ &= \frac{G_f V P h}{4EI} [(2L + X) - (-2L - X) + (2L + X) - X] \\ &= \frac{G_f V P h}{2EI} (3L + X) \\ &= \frac{G_f V h}{2EI} M \end{aligned}$$

9) O RTD é uma resistência, e, portanto, uma energia $W = i^2R$ é dissipada pelo próprio dispositivo e provoca um pequeno efeito de aquecimento, um auto-aquecimento.

Isso também pode causar uma leitura errônea ou até mesmo prejudicar o ambiente em uma condição delicada de medição. Assim, a corrente através do RTD deve ser mantida suficientemente baixa e constante para evitar a auto-aquecimento. Geralmente, uma constante de dissipação é fornecida nas especificações de IDT. Este número refere-se a energia necessária para elevar a temperatura RTD por um grau de temperatura. Assim, a constante dissipação $25 \text{ mW} / ^\circ\text{C}$ mostra que, se a perda de energia i^2R no RTD for de 25 mW , este será aquecida de $1,0 ^\circ\text{C}$.

A constante de dissipação é normalmente especificada sob duas condições: ar livre e em banho de óleo. Isto é devido à diferença na capacidade do meio para transportar o calor para fora do dispositivo. O aumento da temperatura de auto-aquecimento pode ser encontrado a partir da potência dissipada pelo RTD e a constante de dissipação, como:

$$\Delta T = \frac{P}{P_D}$$

onde ΔT é a elevação de temperatura por causa do auto-aquecimento, em $^\circ\text{C}$; P é a potência dissipada no RTD do circuito, em W ; e P_D é a constante dissipação do IDT em $\text{W} / ^\circ\text{C}$.

a) Portanto,

$$R = 500[1 + 0,005(0 - 20)] = 450\Omega$$

Desprezando-se os efeitos de auto-aquecimento, esperaria-se que a ponte balanceasse para $R_3 = 450\Omega$. Agora, verifica-se a influência do auto-aquecimento neste problema. Primeiro, encontra-se a potência dissipada no RTD do circuito, assumindo a resistência ainda é 450Ω . A potência vale:

$$W = i^2R$$

O valor da corrente, com três algarismos significativos, vale:

$$i = \frac{10}{500 + 450} = 0,011 \text{ A} = 11 \text{ mA}$$

De modo que a potência vale:

$$W = 0,011^2 450 = 0,054 \text{ W}$$

O aumento de temperatura será de,

$$\Delta T = \frac{0,054}{0,030} = 1,8 ^\circ\text{C}$$

Assim, o RTD não está, na verdade, à temperatura de $0 ^\circ\text{C}$ mas a uma temperatura de $1,8 ^\circ\text{C}$. Portanto, a resistência do RTD será de,

$$R = 500[1 + 0,005(1,8 - 20)] = 454,5\Omega$$

Portanto, a ponte estará balanceada para uma resistência $R_3 = 454,5\Omega$

b) Para temperatura de 100°C a resistência do RTD será de,

$$R = 500[1 + 0,005(100 - 20)] = 700\Omega$$

Calcula-se a corrente,

$$i = \frac{10}{700 + 454,5} = 0,0087 \text{ A} = 8,7 \text{ mA}$$

De modo que a potência e aumento de temperatura valem, respectivamente:

$$W = 0,0087^2 \cdot 700 = 0,0525 \text{ W} \qquad \Delta T = \frac{0,0525}{0,030} = 1,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

Portanto,

$$R = 500[1 + 0,005(101,6 - 20)] = 704\Omega$$

Daí,

$$V_0 = \frac{R_2 R_{RTD}}{(R_2 + R_{RTD})^2} \left[\frac{dR_3}{R_3} - \frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_2}{R_2} - \frac{dR_{RTD}}{R_{RTD}} \right] V_i$$

Para $dR_1 = dR_2 = dR_3 = 0$ e $dR_{RTD} = 204\Omega$,

$$V_0 = \frac{R_2 R_{RTD}}{(R_2 + R_{RTD})^2} \left[-\frac{dR_{RTD}}{R_{RTD}} \right] V_i = 3,06 \text{ V}$$

O erro do RTD será dado por,

$$e = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1,75}{100} = 0,0175 = 1,75\%$$

- 10) Como ambos capacitores estão em paralelo, as voltagens são as mesmas. Se a carga final do capacitor 1 for q para uma separação final de d . Então a carga final no capacitor 2 deve ser $12 - q$ para uma separação final de $2d$. Considerando $V = \frac{Q}{C}$, temos:

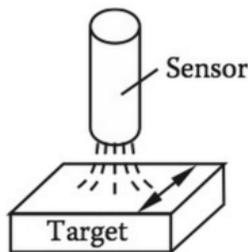
$$\frac{q}{C_1} = \frac{12 - q}{C_2} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = \frac{12 - q}{q}$$

Mas como $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ e sabemos que as áreas são iguais, temos que $\frac{C_2}{C_1} = \frac{d}{2d} = \frac{1}{2}$. Assim

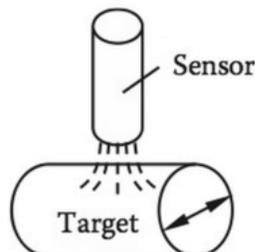
$$\frac{1}{2} = \frac{12 - q}{q} \Rightarrow q = 8 \text{ Coulombs.}$$

Por fim, a carga no capacitor 2 é de 4 Coulombs.

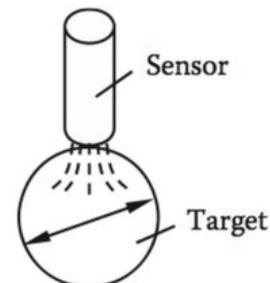
- 11) Usar as seguintes fórmulas:



Flat surface:
Maximum sensor diameter =
 $0.6 \times$ Minimum target
detecting surface dimension



Cylindrical surface:
Maximum sensor diameter =
 $0.25 \times$ Minimum target dimension



Spherical surface:
Maximum sensor diameter =
 $0.2 \times$ Minimum target dimension

- 12) Resolução detalhada em DOIS exemplos nas transparências, visto em sala de aula.
- 13) Procurar compreender a parte construtiva dos sensores touchscreen resistivo, capacitivo e indutivo.

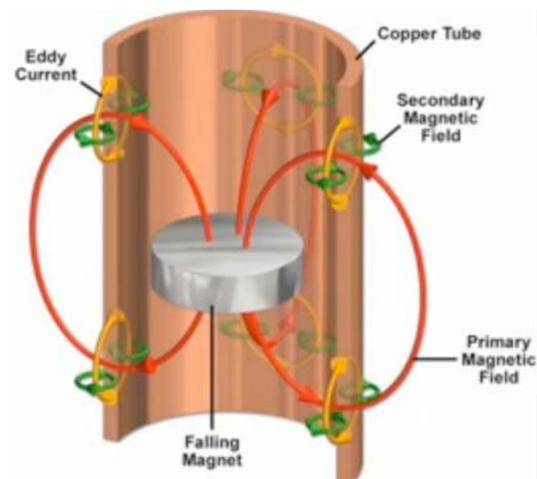
Focar nos seguintes pontos:

- Quais tipos funcionam com luvas?
- Quais tipos funcionam com o display molhado?
- Qual deles tem melhor e pior resolução espacial (acurácia na localização do ponto pressionado)?
- Qual precisa de mais pressão no toque para funcionar?
- Quais aceitam *canetas*?

- 14) Resolução detalhada em exemplos nas transparências, visto em sala de aula.

- 15) Quando um condutor é exposto a um campo magnético que varia, é induzida uma corrente circulante de elétrons no condutor conhecida como corrente de Eddy ou de Foucault. As correntes de Foucault geram seu próprio campo magnético, oposto ao do campo magnético variante.

O princípio físico da corrente induzida de Eddy pode ser usada como freio, conforme visto em classe com o tubo de cobre e o ímã em queda livre. O ímã em queda livre induz um campo magnético variável, induzindo uma corrente de eddy. Estas correntes criam um campo próprio, que tende a cancelar a variação, induzindo forças contrárias às de queda do ímã. Este cenário está ilustrado na figura ao lado.

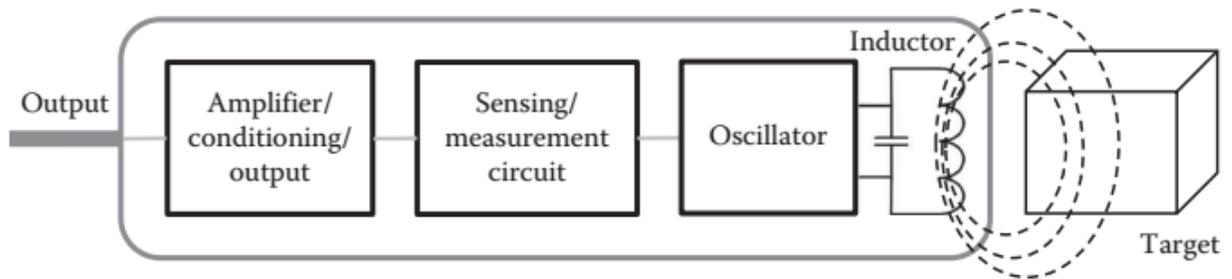


- 16) Apesar de existirem muitas metodologias de projeto diferentes para sensores indutivos, o princípio de operação é o mesmo:

- a. uma bobina (indutor) alimentada por corrente alternada cria um campo magnético variante.
- b. Campo magnético induzido interage com um segundo campo magnético;
- c. Interação causa uma variação na indutância ou impedância em termos de amplitude ou fase.

Este segundo campo magnético pode ser:

- Um ímã permanente anexo ao objeto que se move;
- Criado por uma corrente de Foucault;
- Criado por uma corrente em uma bobina secundária induzida pelo indutor;



Para um sensor indutivo funcionar, são necessários os seguintes componentes:

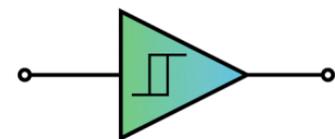
- Uma bobina (indutor), com ou sem núcleo;
- Um oscilador para criar transmitir uma corrente alternada de alta frequência;
- Um objeto a ser medido condutor elétrico ou magneticamente permeável;
- Um circuito para receber/medir capaz de detectar e medir a variação no campo magnético em termos de indutância, relutância, impedância, frequência natural, voltagem, corrente ou campo magnético induzido;
- Um circuito de saída para amplificar, condicionar, interpretar ou converter o sinal detectado na saída mais conveniente.

17) As principais vantagens e desvantagens são:

- Não possui partes móveis, não ocorrendo fadiga mecânica e assim possuindo vida útil prolongada;
- São bem vedados, podendo funcionar em ambientes com poeira e até em contato com líquidos;
- Possuem excelente precisão e repetibilidade ao medirem proximidade;
- Ao contrário dos capacitivos, a resposta do sensor independe do material entre o sensor e o objeto medido (desde que não metálica);

18) Conforme slides dados em sala de aula.

19) Os disparadores de Schmitt ou Schmitt Triggers são circuitos que convertem um sinal senoidal ou de outras formas de onda (dente de serra, triangular, etc) num sinal retângular.



Para tanto, estes disparadores utilizam dois thresholds ao invés de apenas um, como pode ser visto na figura abaixo, impedindo que oscilações locais no sinal interfiram na saída global da onda quadrada.

São utilizados para converter sinais de sensores analógicos em saídas digitais.

