Instrumentação e Sensores

Aula 04 - Sensores de Pressão II

Material Didático do Instituto Metrópole Digital - IMD
Versão 5.0 - Todos os Direitos reservados

Apresentação

Nesta segunda aula sobre a variável pressão serão apresentados os avanços da tecnologia, principalmente os sensores de pressão de princípio elétrico. Esses sensores se caracterizam, principalmente, por ter melhores características, tais como melhor linearidade, histereses, disponibilidade, além da eficiência. Como todo instrumento deve ser calibrado periodicamente, os instrumentos de pressão necessitam de procedimentos apropriados para essa finalidade. Por isso, vários métodos de calibração são mostrados nesta aula.

Objetivos

- Conceituar a variável pressão, principalmente o sensor elétrico e suas formas de calibração.
- Identificar elementos auxiliares utilizados nas instalações de sensores no campo.
- Compreender os diferentes métodos de calibração desses tipos de sensores.

Sensores elétricos

Os sensores de pressão eletrônicos podem ser de todos os tipos, ativos e passivos. O sensor ativo é aquele que gera uma milivoltagem sem necessitar de nenhuma polarização ou alimentação. O sensor eletrônico passivo é aquele que varia a resistência, capacitância ou indutância em função da pressão aplicada. Ele necessita de uma tensão de alimentação para funcionar.

Sensores passivos

Dentre os sensores passivos, analisaremos os resistivos (strain gage) e os capacitivos, que são os mais utilizados industrialmente.

Fita extensiometrica (strain gage)

É um dispositivo que mede a deformação elástica sofrida pelos sólidos quando submetidos ao esforço de tração ou compressão. São fitas metálicas fixadas adequadamente nas faces de um corpo que será submetido ao esforço de tração ou compressão e que tem sua seção transversal e seu comprimento alterado, devido ao esforço imposto ao corpo. Essas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de *wheatstone*, ajustado e balanceado para condição inicial. Após obter os valores de resistência da fita modificada com a pressão, o circuito sofre desbalanceamento proporcional à variação de pressão. Na confecção das fitas extensiométricas são utilizados metais que possuem baixo coeficiente de temperatura, para que exista uma relação linear entre resistência e a tensão numa faixa mais ampla.Vários são os metais utilizados na confecção da fita extensiométrica. Como referência, a tabela abaixo mostra alguns destes metais.

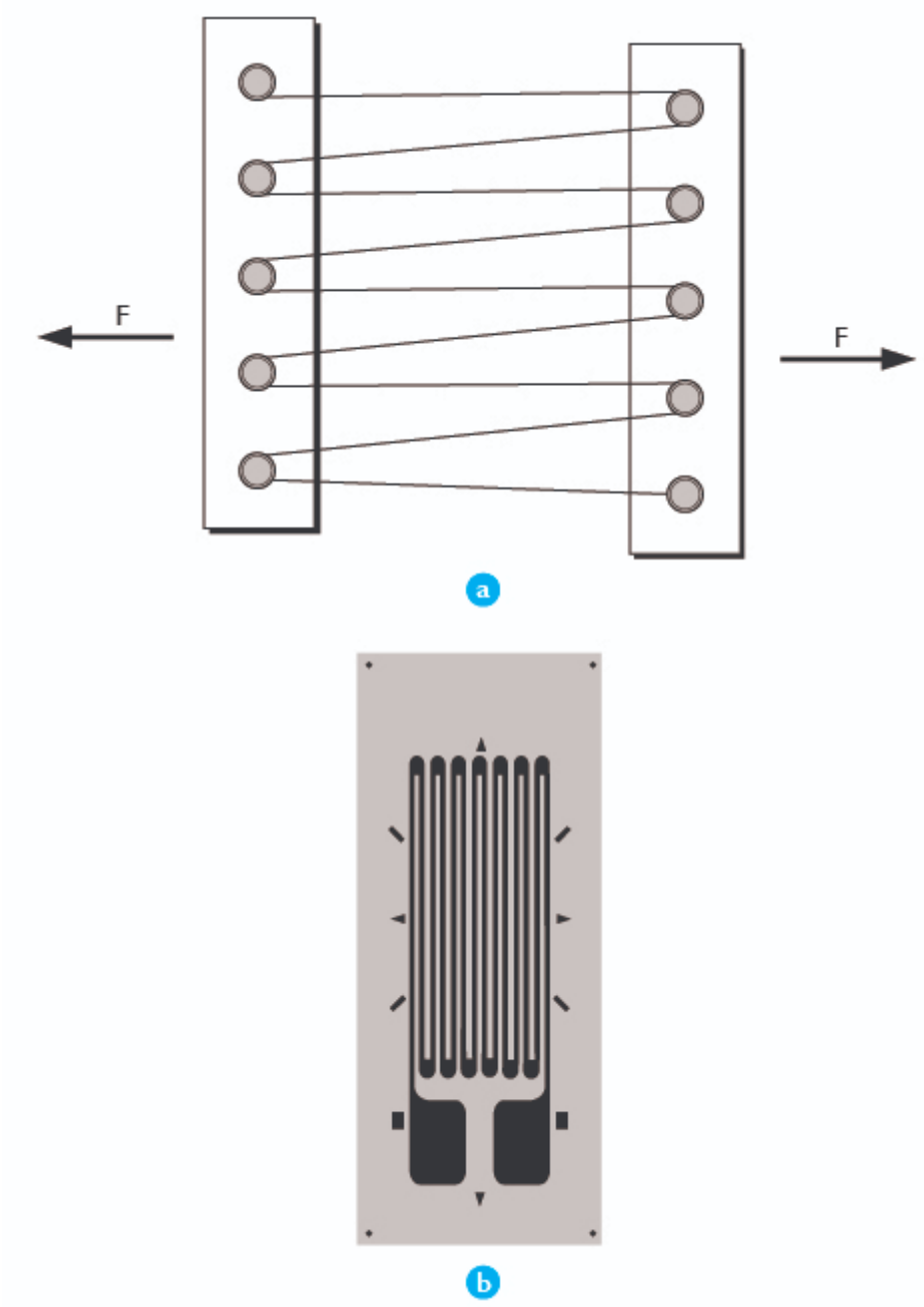
DENOMINAÇÃO	CONSTITUIÇÃO (LIGA)	FAIXA DE TEMPERATURA
Constantan	Cobre - Níquel	+ 10 ~ 204º C
Karma	Cobre - Níquel Aditivado	Até 427ºC
479 Pt	Platina - Tungstênio	Até 649ºC
Nichrome V	Níquel - Cromo	Até 649ºC

Tabela 1 – Material para fabricação de *Strain-gange*.
Fonte: McMillan (1999).

Figura 01 - Princípio de funcionamento de strain gage de resistência elétrica.

Fonte: Autoria Prória.

Figura 02 - Strain gage: (a) stran gage de fio; (b) strain gage de resistência elétrica de tipo folha uniaxial.



Fonte: McMillan (1999).

Os dois sites a seguir detalham o princípio de funcionamento do strain-gage. O primeiro refere-se à aplicação desse dispositivo na aviação e o segundo, aos técnicos de um fabricante.

<http://cursos.unisanta.br/mecanica/ciclo10/1088_Capitulo_3_Extensometria.pdf>;

<http://www.hbm.com/pt/menu/produtos/strain-gages-acessorios/strain-gages/>.

Acesso em: 2 set. 2013.

Atividade 01

1. Descreva o funcionamento de uma Fita extensiometrica (strain gage).
2. Quais são os tipos de Fita extensiometrica (strain gage) mais utilizados?

Clique aqui, para a ver as respostas.

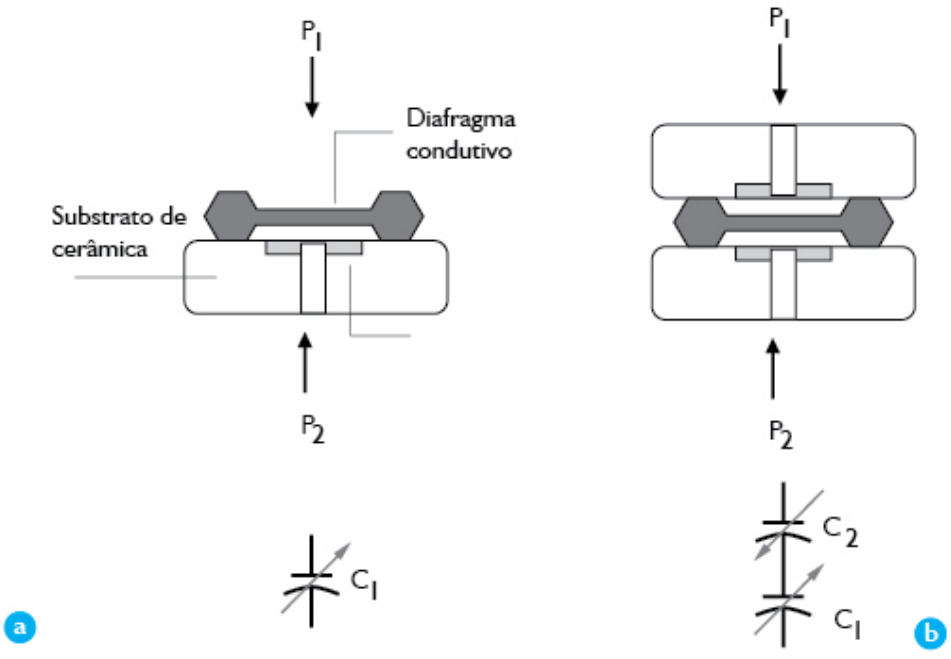
Respostas

1. São fitas metálicas fixadas adequadamente nas faces de um corpo que será submetido ao esforço de tração ou compressão e que tem sua seção transversal e seu comprimento alterado, devido ao esforço imposto ao corpo. Essas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de wheatstone, ajustado e balanceado para condição inicial. Após obter os valores de resistência da fita modificada com a pressão, o circuito sofre desbalanceamento proporcional à variação de pressão.
2. Constantan, Karma, 479 Pt, Nichrome V.

Sensores capacitivos

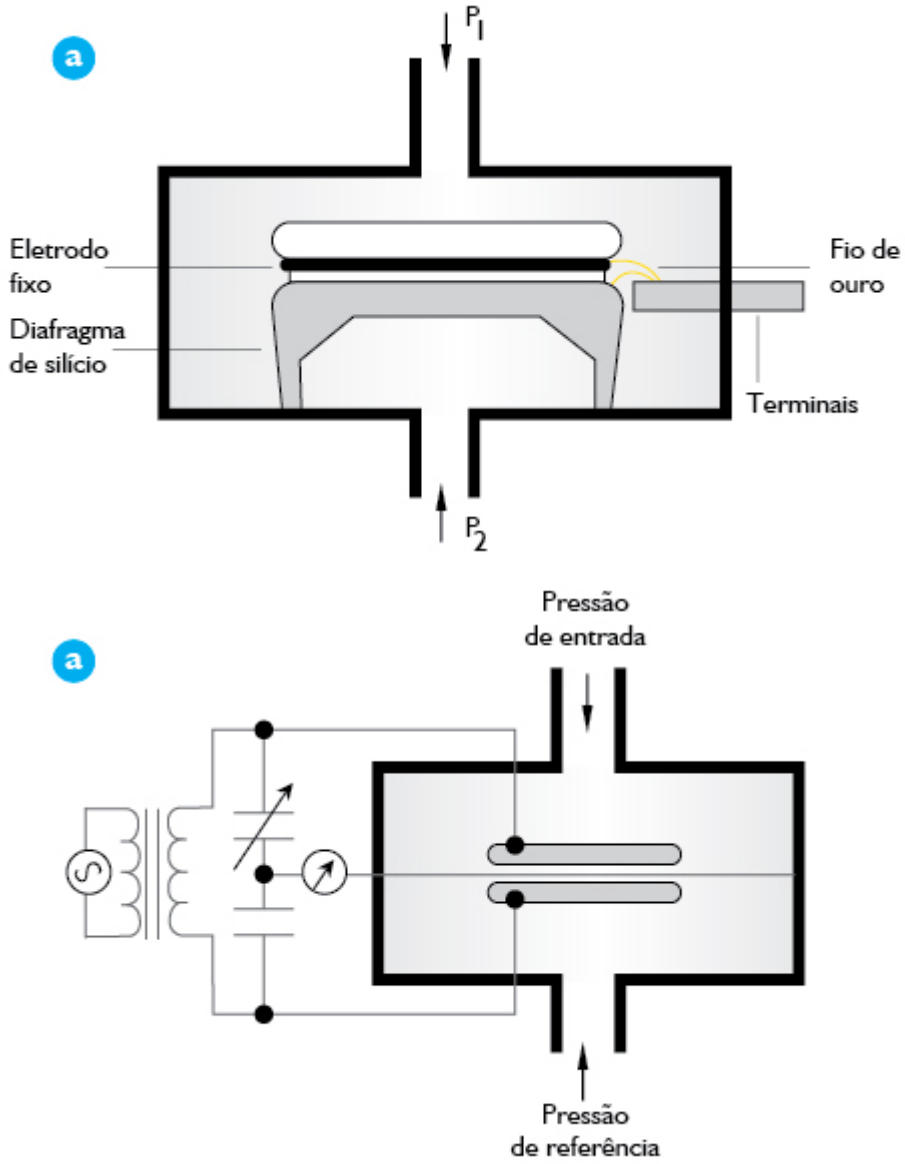
É o sensor mais utilizado em transmissores de pressão. Nele, um diafragma de medição se move entre dois diafragmas fixos. Entre os diafragmas fixos e o móvel existe um líquido de enchimento que funciona como um dielétrico. Como um capacitor de placas paralelas é constituído por duas placas paralelas separadas por um meio dielétrico, ao sofrer o esforço de pressão o diafragma móvel (que vem a ser uma das placas do capacitor) altera sua distância em relação ao diafragma. Isso provoca modificação na capacitância de um circuito de medição, gerando a medição de pressão. Para que ocorra a medição, o circuito eletrônico é alimentado por um sinal AC através de um oscilador e é modulada a frequência ou a amplitude do sinal, em função da variação de pressão, para se ter a saída em corrente ou digital. Como líquido de enchimento utiliza-se normalmente a glicerina ou o fluor-oil.

Figura 03 - Detalhes internos de um sensor de pressão capacitivo: (a) simples; (b) diferencial.



Fonte: McMillan (1999).

Figura 04 - (a) Construção interna de um sensor capacitivo; (b) esquema simplificado de um circuito para condicionamento.



Fonte: McMillan (1999).

O vídeo indicado pelo link a seguir detalha o princípio de funcionamento do sensor capacitivo como medidor de pressão. A aplicação desse dispositivo em um transmissor industrial de medida de pressão é mostrada em detalhe.

Trasmissores de Pressão SMAR
Fonte:https://www.youtube.com/watch?v=mn6GO6jZiDI
Acesso em: 2 set. 2013.

Sensores ativos

Entre os sensores ativos mais utilizados em aplicações de medição de pressão estão os piezelétricos, pelas suas características.

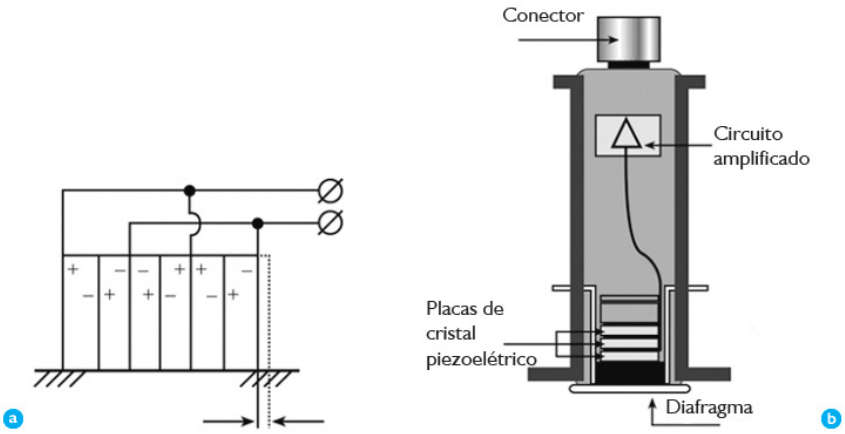
Cristal piezelétrico

O cristal piezelétrico é um elemento sensor de pressão eletrônico, que gera uma milivoltagem em função da pressão mecânica aplicada. Na prática, ele é pouco usado em medições industriais devido ao seu alto custo. Ele é tipicamente usado em agulhas de toca-discos.

A medição de pressão utilizando este tipo de sensor se baseia no fato de os cristais assimétricos, ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico, causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo.

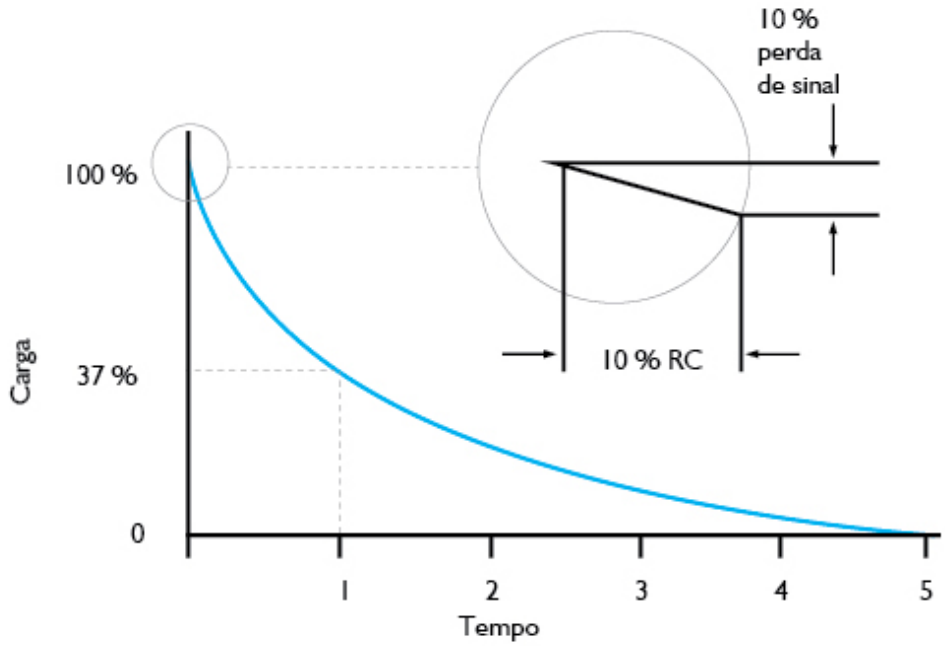
A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, sendo essa relação linear o que facilita sua utilização. Outro fator importante para sua utilização está no fato de se utilizar o efeito piezelétrico de semicondutores, reduzindo ,assim, o tamanho e peso do transmissor, sem perda de precisão.

Figura 05 - (a) Pilha de sensores piezelétricos; (b) esquema de um sensor piezelétrico para medição de pressão.



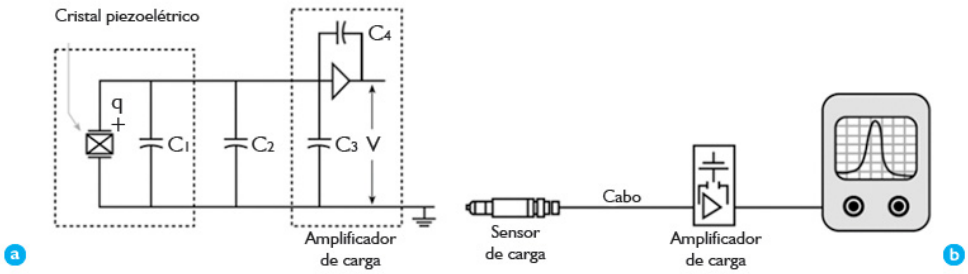
Fonte: McMillan (1999).

Figura 06 - (a) Pilha de sensores piezelétricos; (b) esquema de um sensor piezelétrico para medição de pressão.



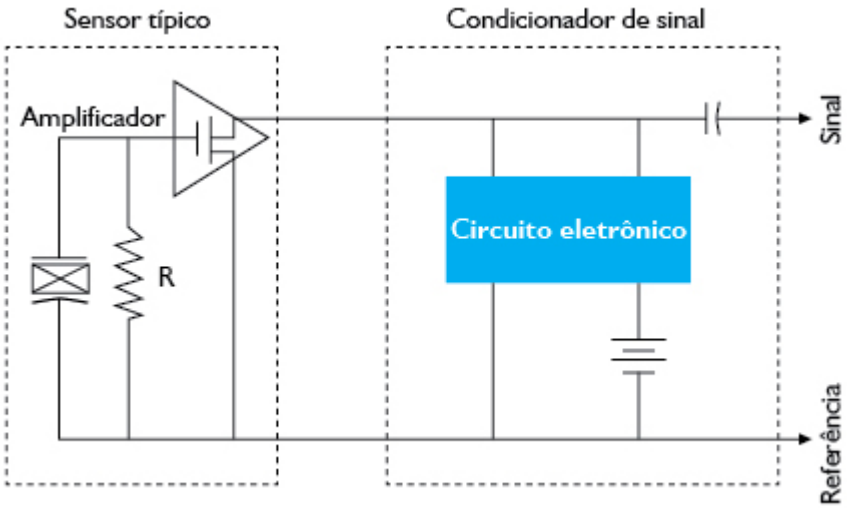
Fonte: McMillan (1999).

Figura 07 - (a) Esquema elétrico de um sensor de pressão piezelétrico com amplificador de carga; (b) sistema de medição completo.



Fonte: McMillan (1999).

Figura 08 - Esquema elétrico de um sensor de pressão piezelétrico com amplificador embutido.



Fonte: McMillan (1999).

Atividade 02

1. Mencione um exemplo de sensor ativo e um passivo para medir pressão.
2. Qual a principal diferença entre um sensor passivo e ativo?
3. Quais são as vantagens do sensor piezelétrico sobre o sensor capacitivo para medir pressão?

Clique aqui, para a ver as respostas.

Respostas

1. Cristal piezelétrico (ativo) e Sensores capacitivos (passivo).
2. O sensor ativo é aquele que gera uma milivoltagem sem necessitar de nenhuma polarização ou alimentação. O sensor eletrônico passivo é aquele que varia a resistência, capacitância ou indutância em função da pressão aplicada. Ele necessita de uma tensão de alimentação para funcionar.

3. A medição de pressão utilizando este tipo de sensor se baseia no fato de os cristais assimétricos, ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico, causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo.

   A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, sendo essa relação linear o que facilita sua utilização. Outro fator importante para sua utilização está no fato de se utilizar o efeito piezelétrico de semicondutores, reduzindo ,assim, o tamanho e peso do transmissor, sem perda de precisão.

Seleção do Sensor

Para selecionar um sistema de pressão, deve-se:

1. Determinar função desejada, indicação local ou remota, registro, controle, proteção e alarme.
2. Determinar faixa de pressão de trabalho, valor máximo, amplitude de faixa composta e pressão absoluta ou relativa.
3. Consultar tabela de elementos, selecionando o tipo e o material tecnicamente adequado e economicamente vantajoso.
4. Considerar a natureza do fluido do processo e comparar o que é mais vantajoso: usar elemento sensor de material especial não corrosivo (obviamente mais caro) ou usar elemento sensor padronizado e selo especial. Considerar, neste caso, os custos da instalação do selo, a segurança e a manutenção.

Acessório selo químico

As funções principais de um selo são as de:

1. Proteger o fluido de processo de congelamento e endurecimento, em razão das variações de temperatura.

2. Isolar materiais de processo venenoso, tóxico, corrosivo ou mal cheiroso do sensor de pressão, que é de material de construção padrão, não compatível com o fluido do processo.

3. Evitar que fluidos viscosos e sujos entrem e entupam o elemento detector de pressão.

As características do líquido de selagem devem ser:

1. Líquido não compressível, para transmitir a pressão.

2. Pequeno coeficiente de temperatura.

3. Baixa viscosidade, para operar mesmo em baixas temperaturas.

4. Quimicamente estável, mesmo em altas temperaturas.

Figura 09 - Selos de pressão.

Fonte: Instrumentação – Marco Antônio Ribeiro – 8a Edição – 1999 Tek –Treinamentos Lta.

As três partes principais de um selo padrão são as seguintes:

1. **Recipiente superior** – deve ser colocado em contato com o líquido de selagem e em atmosfera não corrosiva, de material padrão e não especial. Às vezes possui um parafuso para enchimento do selo.

2. **Cápsula de diafragma** – deve estar cheia com líquido de selagem e em contato com o fluido corrosivo do processo (por isso deve ser de metal resistente à corrosão ou revestido de Teflon® ou KEL-F®). A parte superior e a cápsula podem ser removidas sem desconectar a parte inferior, possibilitando ao operador limpar o conjunto sem reencher a unidade.

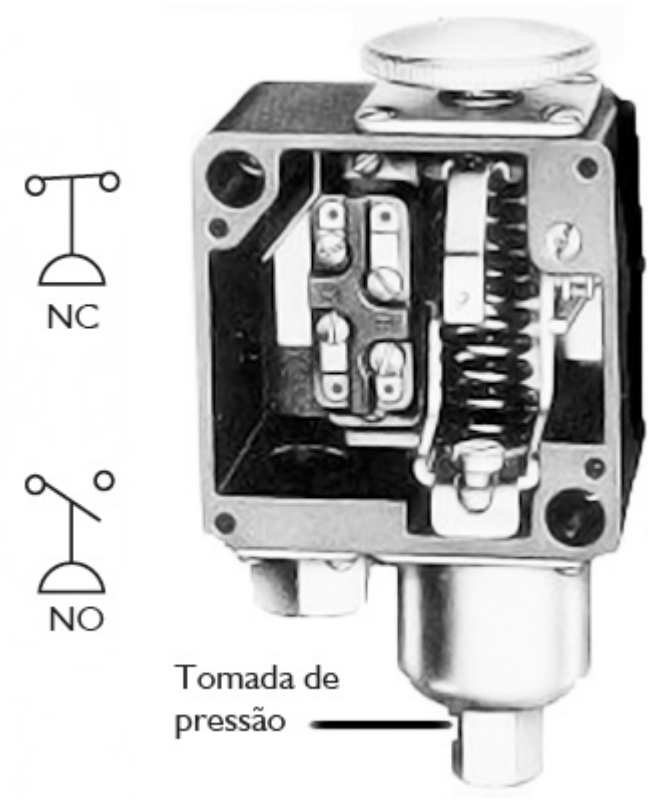
3. **Recipiente inferior** – deve estar em contato direto com o fluido do processo e ser de metal ou plástico resistente à corrosão. Pode haver uma conexão para permitir a purga contínua ou intermitente do fluido.

Os selos podem ser soldados, aparafusados ou flangeados nas linhas de processo.

Pressostato

O pressostato é uma chave elétrica acionada pela pressão, usada para energizar ou desenergizar circuitos elétricos, como uma função da relação entre a pressão de processo e um valor ajustado pré-determinado.

Figura 10 - Pressostato.



Fonte: Instrumentação – Marco Antônio Ribeiro – 8a Edição – 1999 Tek –Treinamentos Lta.

Os pressostatos são disponíveis para detectar pressão absoluta, composta, manométrica ou diferencial, com precisões típicas de ±0,5% da amplitude de faixa. O conjunto de chaveamento elétrico pode ser de chaves a mercúrio ou microchaves mecânicas liga-desliga. As chaves de mercúrio não contêm partes mecânicas móveis e devem ser usadas em lugares livres de vibrações e montadas em nível.

A faixa ajustável é a faixa de pressão dentro da qual o ponto de ajuste pode ser referido. O ponto de ajuste é a pressão que atua a chave para abrir ou fechar um circuito elétrico. O pressostato pode atuar em seu ponto de ajuste pelo aumento da pressão ou pela sua diminuição.

As características elétricas de um pressostato típico são: 115 V, com correntes de 0,3 a 10 A, em corrente contínua ou alternada.

Padrões de calibração

Os padrões industriais para calibração de pressão dependem da faixa medida, desde vácuo médio (10^{-1} mmHg) até 10^{3} MPa. Para pressões na faixa de 10^{-1} a 10^{-3} mmHg, o indicador de vácuo McLeod é o padrão. Para pressões menores que 10^{-3}, usam-se técnicas especiais envolvendo vazão através de sucessivos orifícios precisos e o manômetro McLeod.

Bomba padrão de peso morto

O manômetro ou bomba de tempo morto opera suportando um peso (força), conhecido por meio de uma pressão agindo sobre uma área conhecida. Isso satisfaz a definição de um padrão primário baseado em massa, comprimento e tempo. Os pesos para um dado instrumento de teste são normalmente identificados em termos de pressão, em vez de peso.

Figura 11 - Bomba de peso morto.

Fonte: Instrumentação – Marco Antônio Ribeiro – 8a Edição – 1999 Tek –Treinamentos Lta.

O manômetro a pistão, ou peso morto, é usado como padrão para a calibração de manômetros industriais. O instrumento a ser calibrado é ligado a uma câmara cheia de fluido, cuja pressão pode ser ajustada por uma bomba ou válvula. A câmara também se liga com um pistão vertical em que vários pesos padrão são aplicados. A pressão é lentamente aumentada até que o pistão e os pesos pareçam flutuar, no ponto em que a pressão manométrica do fluido é igual ao peso morto suportado pelo pistão, dividido por sua área. Para maiores precisões tomam-se cuidados especiais, como: diminuição do atrito entre o pistão e o cilindro, diminuição da área entre o cilindro e o pistão, correção dos efeitos da temperatura, correção dos efeitos de deslocamento (*buoyancy*) do ar e do meio da pressão, condições da gravidade local e diferenças das alturas.

O método do peso morto só poderia medir pressões acima da pressão correspondente ao peso morto colocado (pressão de tara). Esta dificuldade é superada através de um arranjo físico especial.

A bomba de peso morto também depende da aceleração da gravidade. Para um trabalho preciso, a gravidade sob a qual a bomba está sendo usada como padrão deve ser considerada. Se uma bomba de peso morto e a massa padrão de 1 kilograma são transportados ao redor do mundo, a pressão gerada em cada ponto da terra variará com a variação da aceleração da gravidade. O mesmo se aplica a unidades como altura de coluna líquida. A força no fundo de cada coluna é

proporcional à altura, densidade e aceleração da gravidade. A variação da aceleração da gravidade em redor do mundo é aproximadamente de 0,1%. Isto pode ser desprezível em muitas aplicações práticas, porém, quando se tem transmissores com precisão especificada de 0,25%, devem ser considerados os efeitos da diferença da gravidade induzida.

A bomba de peso morto permite calibrações na faixa de 10^4 a 5 x 10^6 Pa (0,1 a 50 bar) até 2 x 10^5 a 10^8 Pa (2,0 a 1000 bar), com incertezas da ordem de 0,03% da pressão indicada, com dados certificados, fornecidos e rastreáveis e com o laboratório nacional. Com cuidado, ela pode manter sua precisão durante longo período de tempo.

Coluna líquida em U

Para padrão de pressão pequena, principalmente para calibração de instrumentos de medição de vazão e nível, utiliza-se o manômetro de coluna em U. O uso da coluna líquida para a medição de pressão se baseia no princípio de que uma pressão aplicada suporta uma coluna líquida contra a atração gravitacional. Quanto maior a pressão, maior a coluna líquida suportada.

A unidade de pressão da coluna líquida é o comprimento. Mesmo que o comprimento não seja reconhecido pelas normas ISO como unidade de pressão, por uma questão de conveniência e tradição, ele ainda é muito usado para medir pequenas pressões.

A área da seção transversal do tubo não afeta a medição e, por isso, pode ser não uniforme. Em um determinado local, com g constante e conhecido, a sensitividade depende somente da densidade do fluido. Água e mercúrio são os líquidos mais usados: a água por ser o mais disponível e o mercúrio por ter uma altíssima densidade e, como consequência, implicar em pequenas alturas de coluna.

Figura 12 – Colunas e manômetro digital de precisão.
Fonte: Instrumentação – Marco Antônio Ribeiro – 8a Edição – 1999 Tek –Treinamentos Lta.

Para melhorar a precisão, devem ser considerados os seguintes parâmetros:

1. Expansão da escala graduada.
2. Valor exato do g local.
3. Não verticalidade do tubo.
4. Dificuldades na leitura do menisco do líquido formado pela capilaridade.
5. Densidade do fluido cuja pressão está sendo medida. Isto ainda depende da temperatura e da pressão. No caso de gases, depende também do conteúdo da umidade.

Para trabalho de alta precisão, todos esses fatores devem ser considerados. Tipicamente, para uma coluna d'água:

1. Uma diferença de temperatura de 16 ^{o}C varia o fator de conversão para pascal de 0,18%.
2. Diferenças devidas à gravidade são de cerca de 0,1%.
3. O fator devido à densidade do ar é de 0,12%.

Com tais cuidados, pode-se ter precisão de até 0,01 mmHg. Quando se usa coluna d'água para medir pressões diferenciais em altas pressões estáticas (ordem de 100 atmosferas), o erro devido ao desprezo da densidade do ar é da ordem de 10%.

O manômetro da coluna U pode ter várias formas para aumentar sua precisão, como manômetro com poço, com escala inclinada e com micrômetro.

Manômetro de precisão

Em instrumentação, é também comum usar manômetros para calibrar outros manômetros. A ANSI, por exemplo, classifica os manômetros em oito classes de precisão.

O manômetro mais preciso (classe ANSI A4) tem precisão de 0,1% do fundo de escala. Eles têm diâmetro de 12” ou de 16” e, necessariamente, devem ter grande tamanho físico para possibilitar a leitura de 0,1%. Estes manômetros têm compensação de temperatura e devem ser manuseados com cuidado para preservar a precisão. Quando usando manômetros de faixa pequena com líquido como meio de pressão, o efeito da altura líquida entre a fonte de pressão e o interior do manômetro deve ser considerado. Esses são chamados de manômetros de precisão de laboratório.

O manômetro com classe A3 é calibrado para uma precisão de 0,25% do fundo de escala. Ele tem diâmetro de 6”. Geralmente não tem compensação de temperatura e deve ser usado em temperaturas próximas a 23 °C. É chamado de manômetro de teste.

Figura 13 - Manômetro padrão (Wallace & Tierner).

Fonte: Instrumentação – Marco Antônio Ribeiro – 8a Edição – 1999 Tek –Treinamentos Lta.

O manômetro com classe A2, precisão de 0,5% do fundo de escala, diâmetro de 4 1/2” e sem compensação de temperatura é chamado de manômetro de processo. É usado para a medição contínua do processo.

Outros manômetros, com classes A1, A, B, C e D, têm precisões respectivas de 1%, 1-2%, 2-3%, 3-4% e 5% do fundo de escala. Quanto maior a precisão do manômetro, maior é o seu custo, mais cuidado requer em seu manuseio e maior frequência de recalibração é necessária para manter sua precisão. Os manômetros de pior precisão geralmente são substituídos, quando quebrados, em vez de serem consertados.

O uso de manômetro de alta precisão, com bourdon como padrão secundário ou de teste, é conveniente e prático. Ele deve ter um certificado indicando o erro real, de modo que se possa aplicar a correção adequada. Porém, ele é sujeito ao desgaste e requer calibrações frequentes.

Atividade 03

---

1. Descreva o procedimento básico de calibração de um medidor de pressão.
2. Descreva o funcionamento de uma bomba padrão de peso morto.
3. Porque é necessária a calibração periódica dos instrumentos?

Clique aqui, para a ver as respostas.

Respostas

1. Um medidor de pressão pode ser calibrado através da comparação da pressão indicada no mesmo e a pressão indicada por um outro instrumento calibrado e de maior precisão (ao menos uma precisão 4 vezes maior), através da pressão gerada por um peso morto, com valores padrões para várias escalas ou através da altura da coluna líquida em manômetros de coluna líquida.

2. O instrumento a ser calibrado é ligado a uma câmara cheia de fluido, cuja pressão pode ser ajustada pela bomba ou válvula. A câmara também se liga com um pistão vertical em que vários pesos padrão são aplicados. A pressão é lentamente aumentada até que o pistão e os pesos pareçam flutuar, no ponto em que a pressão manométrica do fluido é igual ao peso morto suportado pelo pistão, dividido por sua área.

3. Para que se possa garantir a precisão das medições realizadas por tais instrumentos em um processo. Durante o seu funcionamento, tais instrumentos sofrem desgastes, o que pode acarretar em variações nas suas medições. Diferenças nas medições podem ocasionar perdas tanto de produtos, como de lucros e em casos piores, podem gerar falhas e ocasionar acidentes.

Vídeos

O vídeo a seguir apresenta formas de calibração de medidores de pressão.

Video 01 - Vídeo aula de calibração de manômetros.
Fonte:https://www.youtube.com/watch?v=ouNPB6lx2NU.

Video 02 - Cómo calibrar un manómetro in situ.
Fonte:https://www.youtube.com/watch?v=Cymx7V2zr4o.

Acesso em: 2 set. 2013.

Leitura Complementar

A leitura das páginas sugeridas explana basicamente o que foi visto nesta aula. Elas contemplam, de forma breve, a importância sobre metodologia de medidores de pressão, definindo alguns termos pertinentes a essa área, assim como outras terminologias.

<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/mecanica/pdf/manDigital.pdf>;

<http://www.isavale.org.br/palestras/padroes_para_calibracao_de_pressao.pdf>. Acesso em: 2 set. 2013.

Esta segunda página apresenta de forma detalhada conceitos sobre calibração sugeridos pelo fabricante WIKA, um dos maiores fabricantes de instrumentos de pressão.

Resumo

Esta aula apresentou os sensores passivos e ativos mais utilizados para medir a variável pressão, mostrando suas principais características. Também vimos alguns elementos auxiliares, como os selos químicos, utilizados para proteger o instrumento de líquidos altamente corrosivos, que podem danificar o correto funcionamento do mesmo. Foram mostrados alguns procedimentos de calibração, que utilizam equipamentos como a balança de peso morto.

Autoavaliação

Exercícios de simbologia.

1. Explique a diferença entre sensores passivos e ativos.
2. Explique como funcionam os sensores de pressão tipo:
    a. Capacitivos

b. Piezelétrico

c. Resistivo

3. Explique o funcionamento da bomba de peso morto como um instrumento de calibração de medidores de pressão.

4. Quais são os critérios de seleção de um instrumento de medir pressão?

Clique aqui, para a ver as respostas.

Respostas

1. O sensor ativo é aquele que gera uma milivoltagem sem necessitar de nenhuma polarização ou alimentação. O sensor eletrônico passivo é aquele que varia a resistência, capacitância ou indutância em função da pressão aplicada. Ele necessita de uma tensão de alimentação para funcionar.

2. a. Nos sensores capacitivos um diafragma de medição se move entre dois diafragmas fixos. Entre os diafragmas fixos e o móvel existe um líquido de enchimento que funciona como um dielétrico. Como um capacitor de placas paralelas é constituído por duas placas paralelas separadas por um meio dielétrico, ao sofrer o esforço de pressão o diafragma móvel (que vem a ser uma das placas do capacitor) altera sua distância em relação ao diafragma. Isso provoca modificação na capacitância de um circuito de medição, gerando a medição de pressão. Para que ocorra a medição, o circuito eletrônico é alimentado por um sinal AC através de um oscilador e é modulada a frequência ou a amplitude do sinal, em função da variação de pressão, para se ter a saída em corrente ou digital.

   b. A medição de pressão utilizando este tipo de sensor se baseia no fato de os cristais assimétricos, ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico, causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo. A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, sendo essa relação linear o que facilita sua utilização.

c. Utilizando fitas extensiometrica (ou strain gage), essas são fixadas adequadamente nas faces de um corpo que será submetido ao esforço de tração ou compressão e que tem sua seção transversal e seu comprimento alterado, devido ao esforço imposto ao corpo. Essas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de wheatstone, ajustado e balanceado para condição inicial. Após obter os valores de resistência da fita modificada com a pressão, o circuito sofre desbalanceamento proporcional à variação de pressão.

3. O instrumento a ser calibrado é ligado a uma câmara cheia de fluido, cuja pressão pode ser ajustada pela bomba ou válvula. A câmara também se liga com um pistão vertical em que vários pesos padrão são aplicados. A pressão é lentamente aumentada até que o pistão e os pesos pareçam flutuar, no ponto em que a pressão manométrica do fluido é igual ao peso morto suportado pelo pistão, dividido por sua área.

4. Quais são os critérios de seleção de um instrumento de medir pressão?

    - Determinar função desejada, indicação local ou remota, registro, controle, proteção e alarme.
    - Determinar faixa de pressão de trabalho, valor máximo, amplitude de faixa composta e pressão absoluta ou relativa.
    - Consultar tabela de elementos, selecionando o tipo e o material tecnicamente adequado e economicamente vantajoso.
    - Considerar a natureza do fluido do processo e comparar o que é mais vantajoso: usar elemento sensor de material especial não corrosivo (obviamente mais caro) ou usar elemento sensor padronizado e selo especial. Considerar, neste caso, os custos da instalação do selo, a segurança e a manutenção.

Referências

CASSIOLATO, C. **Medição de pressão: tudo o que você precisa conhecer.** [s.l.]: Smar Equipamentos Industriais. [2004]. p. 2-6. Disponível em: <http://www.profibus.org.br/files/artigos/Artigo_Pressao_Cesar_Cassiolato_CI_2008.pdf>. Acesso em: 2 set. 2013.

DUNN, W. C. **Introduction to instrumentation, sensors, and process control**. Norwood: Artech House, 2006. p. 99-114.

FUNDAMENTOS da instrumentação. Disponível em: <https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/fi>. Acesso em: 12 jan. 2013.

McMILLAN, G. K. **Process/industrial instruments and controls handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999. p. 4.48-4.54.

PESSA, R. **Instrumentação básica para controle de processo: manual de treinamento.** [s.l.]: SMAR, 2004. p. 3.1-3.7. Disponível em: <ftp://ftp.unilins.edu.br/adriano/ETL/AUT%20e%20CONTROLE/automacao_smar.pdf>. Acesso em: 2 set. 2013.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. 8. ed. São Paulo: Tek –Treinamentos Lta, 1999.