

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG
Curso de Engenharia de Produção

ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS II

Camila Caroline Couto Moura
Guilherme Augusto Henrique Paiva
Heleno Júnior de Souza Nogueira
Izabela Pereira Martins
Kleber Gomes de Oliveira Menezes

Divinópolis, MG
08/09/2016

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG
Curso de Engenharia de Produção

ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS II
(Artigo – Medição de Pressão)

Camila Caroline Couto Moura
Guilherme Augusto Henrique Paiva
Heleno Júnior de Souza Nogueira
Izabela Pereira Martins
Kleber Gomes de Oliveira Menezes

Trabalho apresentado a prof. Jomar Teodoro Gontijo, responsável pela disciplina Engenharia de Automação de Processos Produtivos II, 8º período do curso de Engenharia de Produção - B, para obtenção parcial de créditos.

Divinópolis, MG
08/09/2016

Resumo

O objetivo desta pesquisa bibliográfica é abordar os conceitos de medição de pressão, bem como suas variações de unidade e suas aplicações. A medição e controle de pressão é a variável de processo mais usada na indústria de controle de processos nos seus mais diversos segmentos. Além disso, através da pressão é facilmente possível inferir uma série de outras variáveis de processo, tais como nível, volume, vazão e densidade. Ao expor essas definições, o presente artigo estuda através de pesquisas em livros e artigos científicos na área de Engenharia Elétrica e de Controle de Automação os principais métodos e modelos utilizados para a medição de pressão. Medidas de pressão são fundamentadas no princípio do manômetro ou na definição da deformação por pressão de um material sólido como cristal, tubo ou placa, portanto, a sua deformação obtida é convertida em um sinal elétrico ou em uma leitura mecânica. Assim, sensores e transdutores estão disponíveis no mercado, diferenciando entre si, por suas aplicações. Os mais conhecidos usualmente são sensores de tipo tubo Bourdon, tipo Diafragma, tipo Fole e transdutores tipo piezoelétrico, capacitivo e resistivo. Seus medidores estão ajustados em modo estático ou dinâmico.

Palavras-chave: Pressão, sensores, transdutores.

Resume

The purpose of this literature review is to address the pressure measurement concepts as well as their unit of variations and applications. The measurement and pressure control is the process variable most used in the process control industry in its various segments. Furthermore, through the pressure it is easily possible to infer a number of other process variables, such as level, volume, flow rate and density. By exposing these definitions, this paper studies through research in books and scientific papers in the field of Electrical Engineering and Automation Control the main methods and models used for measuring pressure. Pressure measurements are based on the principle of the manometer or the setting of the deformation by pressure of a solid material such as glass tube or plate thus obtained its deformation is converted into an electric signal or a mechanical reading. Thus, sensors and transducers are available, differing from each other by their applications. The best known are usually Bourdon tube -type sensors, type diaphragm, bellows type and transducer type piezoelectric, capacitive and resistive. Their meters are set in static or dynamic mode.

1 Introdução

Medição de pressão é considerado o mais importante padrão de medida, pois as medidas de vazão, nível, temperatura, densidade entre outros, podem ser realizadas utilizando-se esse princípio. Existem várias razões para se medir a pressão em um determinado processo, pois pode afetar, por exemplo, a qualidade do produto que depende de uma determinada pressão. A pressão também pode servir de padrão de segurança estipulando-se os níveis máximos e mínimos em um projeto.

Definida como a ação de uma força sobre uma superfície, na engenharia a pressão é um termo utilizado para determinar a força exercida por um fluido em uma superfície de um recipiente fechado e também possui a natureza de empuxo distribuído uniformemente sobre uma superfície plana.

Assim, a pressão (P) corresponde a uma força (F) dispersa por uma área (A), definida pela equação: $P = F/A$. Este artigo explora os principais métodos e princípios usados na medição de pressão.

2 Conceitos

2.1 Pressão atmosférica

Definida como a pressão exercida pela camada de moléculas de ar sobre a superfície, a pressão atmosférica aumentará se força exercida pelo ar aumenta em um determinado ponto. A pressão pode alterar de acordo com a variação de altitude, pois quanto maior a altitude menor será a pressão e quanto menor a altitude maior a pressão exercida pelo ar na superfície da terra. Assim como a altitude, as temperaturas também interferem na pressão atmosférica. Nas localidades onde apresentam maior aquecimento, a pressão tende a ser menor devido as moléculas de ar ficarem separadas uma das outras. Em contrapartida, quando o ambiente se resfria, a pressão diminui, pois, as moléculas de ar ficam mais agrupadas.

Utilizado como instrumento de medição da pressão o barômetro pode ser de dois tipos de uso corrente: os barômetros de mercúrio e os barômetros aneroides.

2.2 Pressão relativa positiva ou manométrica

A pressão relativa positiva ou manométrica (Gauge Pressures) é medida em relação à pressão atmosférica, tomada como unidade de referência. Ela é executada nos casos em que a pressão é superior a pressão atmosférica, ou seja, quando adquirir valor positivo. A pressão manométrica se dá pela diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica.

2.3 Pressão relativa negativa ou vácuo

A pressão relativa negativa ou vácuo é quando um sistema apresenta uma redução da pressão atmosférica. Ela é aplicada quando se assume valores negativos, ou seja, a pressão relativa medida é inferior à pressão atmosférica.

2.4 Diagrama comparativo das escalas

Figura 1 – Gráfico de Escalas de Pressão.



Gráfico de visualização das escalas efetiva (ou manométrica ou relativa) e a escala absoluta.

Fonte: http://images.slideplayer.com.br/7/1837857/slides/slide_14.jpg.

2.5 Pressão Diferencial

É a diferença entre 2 pressões, sendo representada pelo símbolo DP (Delta P). Essa diferença de pressão normalmente é utilizada para medir vazão, nível, pressão, etc. Quando qualquer ponto diferente do vácuo ou atmosfera é tomado como referência diz-se medir pressão diferencial, por exemplo, a pressão diferencial encontrada numa placa de orifício.

2.6 Pressão Estática

É o peso exercido por uma coluna líquida em repouso ou que esteja fluindo perpendicularmente a tomada de impulso. A pressão estática P é definida como sendo a razão entre força F, aplicada perpendicularmente a uma superfície de área A.

O princípio de Pascal diz que qualquer aumento de pressão no líquido será transmitido igualmente a todos os pontos do líquido. Esse princípio é usado nos sistemas hidráulicos, por

exemplo, freio de carros. Ou seja, as forças aplicadas têm intensidades proporcionais as áreas respectivas.

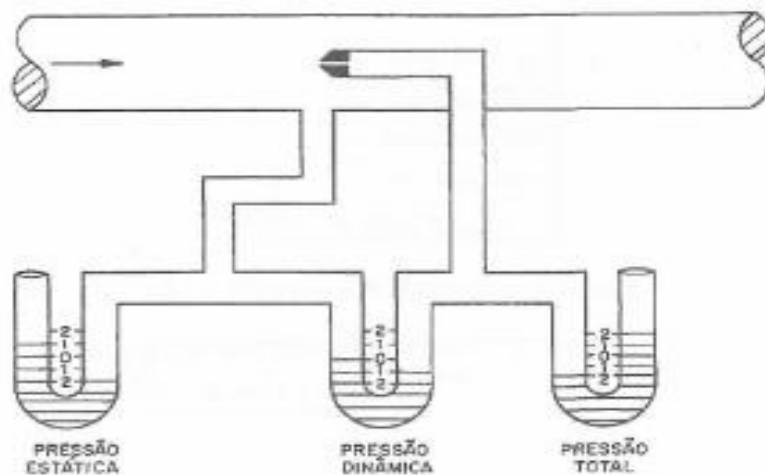
2.7 Pressão Dinâmica

Pressão dinâmica (ou cinética) é a pressão devida à velocidade de um fluido em movimento em um duto. Ela atua sobre a superfície de um orifício de pressão, colocado no sentido da corrente do fluido, aumentando a pressão estática de um valor proporcional ao quadrado da velocidade do fluido.

2.8 Pressão Total

É a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercidas por um fluido que se encontra em movimento. O tubo Pitot é um dos instrumentos que consegue medir as pressões estática, dinâmica e total.

Figura 2 – Tubo Pilot.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAet3QAH/medicao-pressao>.

2.9 Unidades de Pressão

Pelo sistema internacional SI, a unidade de pressão é o newton por metro quadrado N/m^2 , ou pascal Pa, tal que $1\text{N/m}^2 = 1\text{Pa}$. Com unidades derivadas do SI emprega-se o bar, sendo $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$ ou $0,1\text{ MPa}$. Existem várias outras unidades fora do SI, e as mais usuais são:

- atm (1 atm = 101325 Pa);
- Kgf/cm² (1 kgf/cm² = 0.9678411 atm = 98066.5 Pa);
- mmHg (760 mmHg = 1 atm);
- mCa (~10 mCa = 1 atm).

No sistema inglês, tem-se a libra por polegada quadrada lbf/in², ou simplesmente psi (1 atm = 14.69595 lbf/in²). Deve-se atentar para a diferença entre pressão absoluta psia e a manométrica psig.

Como existem muitas unidades de Pressão é necessário saber a correspondência entre elas, pois nem sempre na indústria temos instrumentos padrões com todas as unidades e para isto é necessário saber fazer a conversão.

Tabela 1 – Conversão de Pressão.

TABELA DE CONVERSÃO DE PRESSÃO								
De\Para	psi (lb/pol ²)	Atm	Kpa	mpa	mca (mH ₂ O)	mmgh (torr)	kgf/cm ²	bar
psi (lb/pol ²)	1	0,0680	6,8947	6,9x10 ⁻³	0,7043	51,715	0,0703	0,0689
Atm	14,695	1	101,3	0,1013	10,350	760,0	1,0332	1,013
Kpa	0,1450	0,0098	1	1x10 ⁻³	0,1021	7,500	0,0102	0,010
mpa	145,04	9,87	1000	1	102,15	7500,6	10,2	10
mca (mH ₂ O)	1,4198	0,0966	9,78	9,78x10 ⁻³	1	73,424	0,0998	0,0978
Mmhg (torr)	0,0193	0,0013	0,1333	1,33x10 ⁻⁴	0,0136	1	0,0013	0,0013
Kgf/cm ²	14,223	0,9678	98,06	98,06x10 ⁻³	10,018	735,56	1	0,9806
bar	14,504	0,9869	100	0,1	10,215	750,06	1,0197	1

Fonte: http://www.dipafer.com.br/tabela_pressao.png.

2.10 Dispositivos para medição de pressão

Todas as medidas de pressão são fundamentadas no princípio do manômetro ou na definição da deformação por pressão de um material sólido como cristal, tubo ou placa, portanto, a sua deformação obtida é convertida em um sinal elétrico ou em uma leitura mecânica.

Uma diversidade de sensores e transdutores de pressão está disponível no comércio. Sendo eles:

- *Sensor*: tipo tubo Bourdon, tipo diafragma, tipo fole dentre outros.
- *Transdutores*: tipo piezoelétrico, capacitivo, resistivo dentre outros.

As medidas de pressão podem estar em modo estático ou dinâmico.

O dispositivo de medição tem como objetivo mensurar a pressão e proteger consequentemente os maquinários, as pessoas. Enfim, controlar o processo, para que possa obter o produto dentro das especificações exigidas.

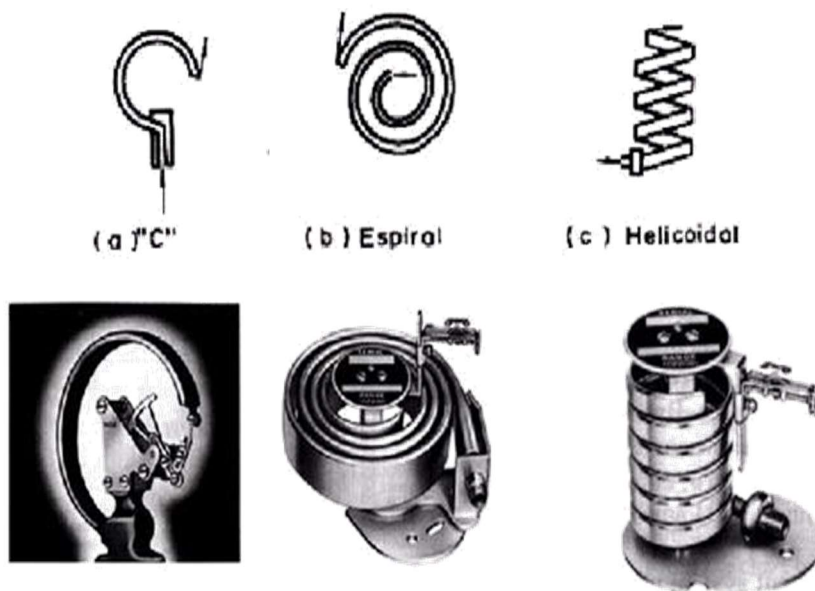
2.11 Tubo de Bourdon

O tubo de Bourdon é um instrumento medidor de pressão bastante utilizado nas indústrias, comércios, hospitais até mesmo em residências. Como seu funcionamento mecânico é limitado, o mesmo é utilizado para baixa pressão.

Seu princípio de funcionamento é fundamentado na curvatura em um tubo de secção elíptica, conectado uma das pontas na fonte de pressão e a outra no indicador.

Existem três tipos de manômetro de Bourdon, sendo eles tipo C, espiral e helicoidal. Os mesmos têm o princípio de funcionamento igual, mais, pode variar os aspectos e materiais. Isto varia a pressão e o fluido exercido no processo.

Figura 3 – Tubo tipo C, Espiral e Helicoidal.



Fonte: www.fem.unicamp.br/~hermini/ES746/aula_04.ppt.

2.11.1 Calibração

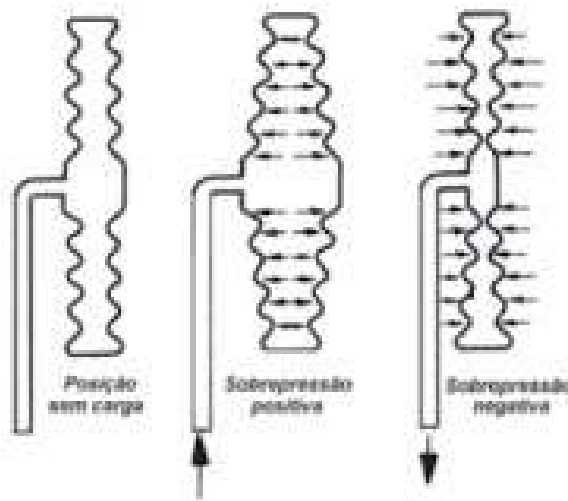
O modo mais importante de calibrar os manômetros é ajustar o zero, que é feito colocando-se o ponteiro no valor mínimo da escala com o tubo de Bourdon em estado de repouso, ou seja, pressão interna do tubo igual à pressão atmosférica. Neste caso, uma vez que este manômetro mede a pressão diferencial, o valor medido deve ser rigorosamente zero.

2.12 Membrana ou Diafragma

Diafragma é um disco circular utilizado para medir pressões geralmente de pequenas amplitudes. É uma membrana fina de material elástico, metálico ou não, que fica sempre oposta à uma mola.

É constituído por um disco de material elástico (metálico ou não), fixo pela borda. Uma haste fixa ao centro do disco está ligada a um mecanismo de indicação. Quando uma pressão é aplicada, a membrana se desloca e esse deslocamento é proporcional à pressão aplicada.

Figura 4 – Diafragma.



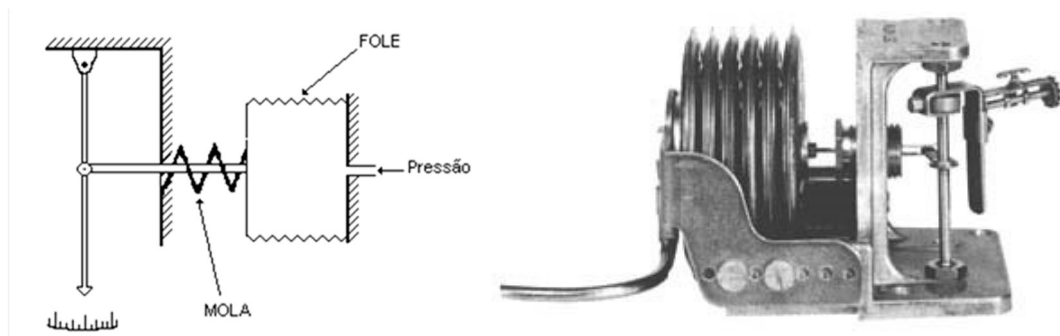
Fonte: http://www.asta.com.br/sites/default/files/formula_04.gif.

O diafragma geralmente é ondulado ou corrugado para aumentar sua área efetiva.

2.13 Fole

Fole é um dispositivo que possui ruga no círculo exterior e que tem a possibilidade de expandir-se e contrair-se em função de pressões aplicadas no sentido do eixo. Como a resistência à pressão é limitada, é usada para baixa pressão.

Figuras 4 e 5 – Dispositivo tipo Fole.



Fonte: www.icp3d.50webs.com.

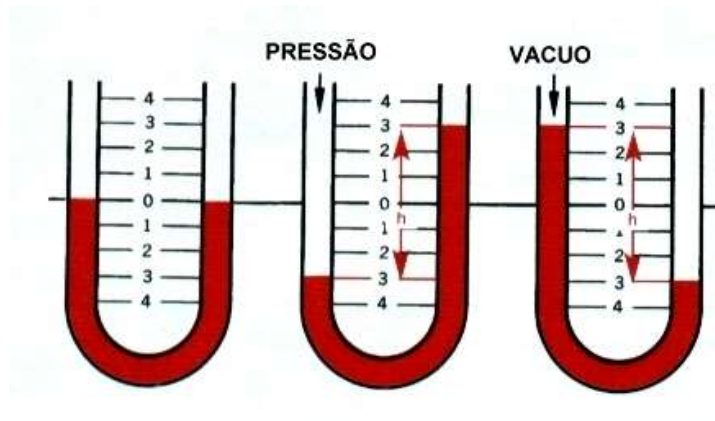
2.14 Coluna de Líquido

Consiste, basicamente, num tubo de vidro, contendo certa quantidade de líquido, fixado a uma base com uma escala graduada. As colunas podem ser basicamente de três tipos: coluna reta vertical, reta inclinada e em forma de “U”.

2.14.1 Manômetro Tipo Coluna em “U”

O tubo em “U” é um dos medidores de pressão mais simples entre os medidores para baixa pressão. É constituído por um tubo de material transparente (geralmente vidro) recurvado em forma de U e fixado sobre uma escala graduada.

Figura 6 – Manômetro Coluna “U”.

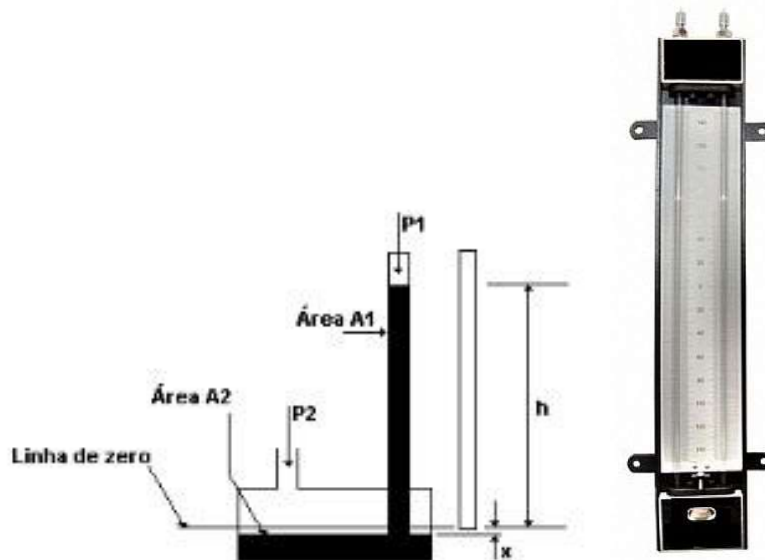


Fonte: <http://hygro-therm.com.br/fotos/zoom/MANOMETROSDECOLUNATECNICA01.jpg>.

2.14.2 Manômetro Tipo Coluna Reta Vertical

Nesse manômetro as áreas dos ramos da coluna são diferentes, sendo a pressão maior aplicada normalmente no lado da maior área.

Figura 7 – Manômetro Coluna Reta Vertical.



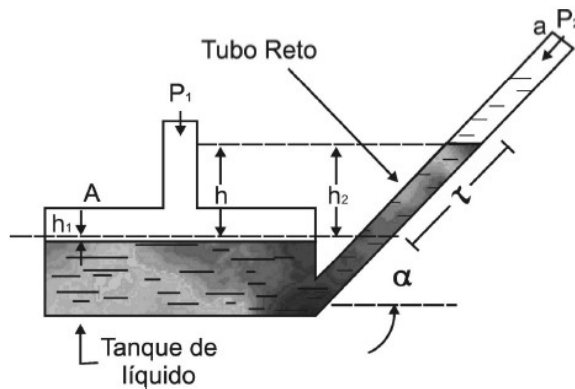
Fonte: <https://images.ssstatic.com/manometro-de-coluna-vertical.jpg>.

2.14.3 Manômetro Tipo Coluna Inclinada

Este manômetro é utilizado para medir baixas pressões na ordem de 50 mmH₂O. Sua construção é feita inclinando um tubo reto de pequeno diâmetro, de modo a medir com boa

precisão pressões em função do deslocamento do líquido dentro do tubo. A vantagem adicional é a de expandir a escala de leitura o que é muitas vezes conveniente para medições de pequenas pressões com boa precisão (+- 0,02 mmH₂O).

Figura 7 – Manômetro Coluna Inclinada.



Fonte: www.ebah.com.br.

2.15 Sensor Tipo Piezoelétrico

Define como medidor de pressão ou tensão utilizando a piezeletricidade, onde certos materiais pode gerar uma corrente elétrica, quando deformados.

2.15.1 Princípio de funcionamento

Piezeletricidade é a capacidade que alguns cristais naturais como quartzo e turmalina ou cristais sintetizados industrializados como cristais de fosfato de gálio, tende a gerar corrente elétrica em resposta da força mecânica exercida ao mesmo.

O efeito piezoelétrico é alterar, pois os cristais quando é sujeito a uma força externa são capazes de sofrer variações em seu aspecto.

Esta deformação é em torno de 0,1% em relação ao dimensionamento original nestes tipos de cristais. Estes dispositivos possuem grandes aplicações, tais como, a produção e detecção de som, geração de altas tensões e geração de frequência eletrônica.

Os sinais elétricos obtidos nos referidos sensores, cai rapidamente após a força aplicada pela primeira vez. Sendo assim, não adequado a utilizar do sensor para aplicações de forças estáticas.

O sensor piezoelétrico é excelente em mensurar as forças de curta duração, como impactos.

2.16 Sensor Tipo Strain Gauge ou Piezoresistivo

Baseia-se no princípio de variação da resistência de um fio, mudando as suas dimensões. Para variarmos a resistência de um condutor devemos analisar a equação geral da resistência:

$$R = (p \times L) / S$$

Onde:

R: Resistência do condutor

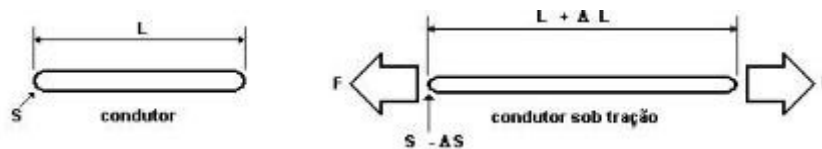
r: Resistividade do material

L: Comprimento do condutor

S: Área da seção transversal

A equação nos explica que a resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional à resistividade e ao comprimento e inversamente proporcional a área da seção transversal. A maneira mais prática de alterarmos as dimensões de um condutor é tracionarmos o mesmo no sentido axial como mostrado a seguir:

Figura 8 – Condutor sob tração.

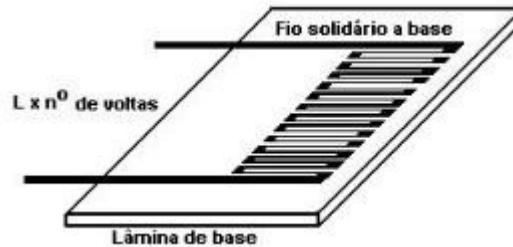


Fonte: www.ebah.com.br.

Seguindo esta linha de raciocínio, concluímos que para um comprimento L obtivemos DL, então para um comprimento 10 x L teríamos 10 x DL, ou seja, quanto maior o comprimento do fio, maior será a variação da resistência obtida e maior a sensibilidade do sensor para uma mesma pressão (força) aplicada. O sensor consiste de um fio firmemente colado sobre uma lâmina de base, dobrando-se tão compacto quanto possível.

Esta montagem denomina-se tira extensiométrica como vemos na figura a seguir:

Figura 9 – Modelo de Sensor Piezoresistivo.



Fonte:www.ebah.com.br.

Observa-se que o fio, apesar solidamente ligado a lâmina de base, precisa estar eletricamente isolado da mesma. Uma das extremidades da lâmina é fixada em um ponto de apoio rígido enquanto a outra extremidade será o ponto de aplicação de força.

Da física tradicional sabemos que um material ao sofrer uma flexão, suas fibras internas serão submetidas a dois tipos de deformação: tração e compressão.

Figura 10 – Deformação.

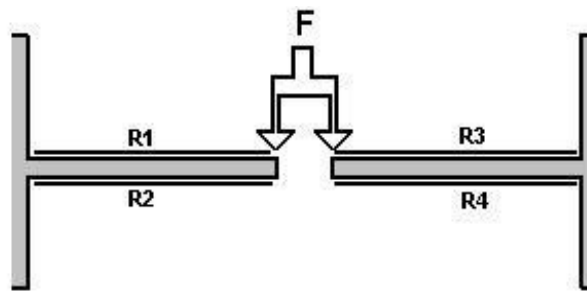


Fonte: www.ebah.com.br.

As fibras mais externas sofrem um alongamento com a tração, pois pertencem ao perímetro de maior raio de curvatura, enquanto as fibras internas sofrem uma redução de comprimento (menor raio de curvatura). Como o fio solidário à lâmina, também sofrerá o alongamento, acompanhando a superfície externa, variando a resistência total.

Visando aumentar a sensibilidade do sensor, usaremos um circuito sensível a variação de resistência e uma configuração conforme esquema a seguir. Notamos que a ligação ideal para um Strain Gauge com quatro tiras extensiométricas é o circuito em ponte de Wheatstone, como mostrado a seguir, que tem a vantagem adicional de compensar as variações de temperatura ambiente, pois todos os elementos estão montados em um único bloco.

Figura 11 – Circuito em ponte de Wheatstone.



Fonte: www.ebah.com.br.

2.17 Sensor Tipo Capacitivo

O sensor capacitivo é utilizado para detectar quaisquer objetos sem que haja um contato podendo detectar também objetos não metálicos. Seu desempenho se dá por meio de incidência de um campo elétrico que é ocasionado por cargas elétricas em sua face, formando um capacitor. Ao aproximar qualquer material líquido ou sólido à face do sensor, ele atuará como massa dielétrica (isolante) aumentando a capacitância. Por fim, o circuito eletrônico do sensor detecta a variação da capacitância e executa sua saída. Devido à alta precisão desses sensores, suas aplicações estão relacionadas à medição de precisão, conforme listadas abaixo:

- Medição de posicionamento com alta precisão;
- Medição de espessura;
- Testes de linha de produção/verificação de uniformidade nas dimensões dos mecanismos produzidos;
- Identificação da composição de certos materiais de diferentes permissividades;
- Aplicações gerais de sensores.

2.18 Sensor por Silício Ressonante

Os sensores que se baseiam na tecnologia dos semicondutores e sensores fabricados a partir de silício ressonante, têm maior precisão e estabilidade para os transmissores. O sensor possui uma capsula de silício colocado em um diafragma, onde é utilizada a diferença de pressão para vibrar com maior ou menos intensidade, com a finalidade que essa frequência esteja na mesma proporção da pressão aplicada.

Dois fatores que influenciam na ressonância do sensor são o campo magnético gerado pelo ímã permanente posicionado sobre o sensor e o segundo é o campo magnético gerado por uma corrente que é exercida sobre o sensor. A vibração do sensor se origina pela combinação do fator campo elétrico e campo magnético. O posicionamento dos diafragmas em locais distintos, um no centro e outro na extremidade, faz com que ocorra compressão e tração conforme o direcionamento do sentido da pressão.

Os sensores tipo silício ressonante possui as seguintes características:

- O transmissor de pressão de silício possuem maior precisão e estabilidade, pois a grandeza medida é a frequência, eliminando intermediações;
- A fabricação de sensores pequenos pela forma de encapsulamento;
- Pode ser lido na frequência de 90khz caso ocorra a ausência de ressonância;
- Tem possibilidade de medição em sentido oposto a medição de pressão diferencial, pressão estática e temperatura.

2.19 Pressão Absoluta

A pressão absoluta é a pressão total de certo ponto ou lugar, ou seja, é o somatório da pressão relativa manométrica e a pressão atmosférica.

$$P_{abs} = P_a + P_m$$

A sua determinação depende de diversos fatores que podem provocar um aumento de pressão no sistema. A pressão absoluta sempre é positiva ($P_{abs} \geq 0$), mas a pressão relativa pode ser positiva (em locais onde a pressão relativa será superior à pressão atmosférica), ou negativa (em locais onde a pressão relativa será inferior à pressão atmosférica).

Conclusão

Dentro dos limites oferecidos pela prática da revisão bibliográfica de livros, artigos, e sites de fontes confiáveis, no qual proporcionaram informações e dados relevantes e pertinentes os estudos de medição de pressão, pode-se concluir que ao retratar os conceitos de pressão, suas aplicações são primordiais na automação e no controle de processos. Os sensores e transdutores responsáveis por essas medições possuem várias aplicações como no controle de processos industriais, na refrigeração, no saneamento, na proteção de bombas, monitorar pressão de fluidos em canos, motores, sistemas hidráulicos ou na natureza, entre outros.

Pode-se afirmar que a utilização de sensores é muito vasta, podendo ter diversas aplicações conforme supramencionado e de acordo com o artigo descrito acima. O condicionamento do sinal pode ser consideravelmente fácil e também a implantação dos mesmos. A precisão de um transdutor e a faixa de aplicação vai depender da aplicação em específico. Sensores de princípio piezoresistivo são usados largamente devido a sua ótima resposta aos estímulos. Apesar de piezoelectricidade ser um conceito conhecido há mais de um século, ainda há um grande campo a ser explorado, pois pouco foi investido em termos de pesquisa, perante o grande benefício que esta tecnologia pode trazer. Assim, investimentos devem ser feitos, visando um conhecimento mais profundo da piezoelectricidade, para possíveis descobertas de novos materiais que contenham esta peculiaridade.

Assim sendo, este artigo que aborda os tipos de sensores disponíveis no mercado, pretende levantar as vantagens e as aplicações de cada tipo, a fim de demonstrar onde melhor serão aproveitados, além de demonstrar um segmento em que há uma grande possibilidade de crescimento de mercado visto que medir a pressão mostra-se ser uma tarefa que imprescindível na qualidade e no controle de processos.

Referências

A PRESSÃO ATMOSFÉRICA. Disponível em: <<http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/main063.htm>>. Acesso em: 27 de agosto de 2016.

APOSTILA DE INSTRUMENTAÇÃO – PETROBRAS. Disponível em: <[http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/Apostila%20de%20Instrumenta%e7%e3o%20-%20Petrobras\(2\).pdf](http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/Apostila%20de%20Instrumenta%e7%e3o%20-%20Petrobras(2).pdf)>. Acesso em 26 de agosto de 2016.

BEGA, Egídio A. (org.) et al. Instrumentação Industrial. Rio de Janeiro: Interciência/IBP, 2003.

DIAFRAGMA/FOLE. Disponível em: <<http://www.icp3d.50webs.com/sp7.htm>> Acesso em: 26 de agosto de 2016.

INSTRUMENTAÇÃO E PRESSÃO. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/SLIDES%20INSTRUMENTACAO%20PRESSAO.pdf>> Acesso em: 26 de agosto de 2016.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO EM FLUIDOS. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/medterm/areas/area-ii/pressao_mt.pdf> Acesso em: 31 de agosto de 2016.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAet3QAH/medicao-pressao>> Acesso em 31 de agosto de 2016.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO. Disponível em: <<https://aihcp.files.wordpress.com/2012/07/3-1-pc3b3s-pucpr-2-medic3a7c3a3o-de-pressc3a3o.pdf>> Acesso em: 31 de agosto de 2016.

MEDIDAS DE PRESSÃO ATMOSFERICA. Disponível em: <<http://wwwmecanicadosfluidos.blogspot.com.br/2010/10/medidas-de-pressao-atmosferica.html>>. Acesso em: 27 de agosto de 2016.

MEDIDORES DE PRESSÃO. Disponível em: <<http://image.slidesharecdn.com/medidores-1-110528151743-phpapp02/95/medidores-de-presso-6-p-2011-8-728.jpg?cb=1306597213>>

Acesso em: 31 de agosto de 2016.

MEDIDORES DE PRESSÃO. Disponível em: <<http://www.mecanicadosfluidos.blogspot.com.br/2010/10/tipos-de-medidores-de-pessao.html>>. Acesso em: 02 de setembro de 2016.

O QUE É PRESSÃO ATMOSFÉRICA. Disponível em: <http://www.globos.com.br/lib/site/o-que-e-pessao-atmosferica/>>. Acesso em 27 de agosto de 2016.

PRESSÃO ABSOLUTA E PRESSÃO MANOMÉTRICA. Disponível em: <https://lusoacademia.wordpress.com/2015/08/10/pessao-absoluta-e-pessao-manometrica/>> Acesso em: 27 de agosto de 2016.

PRESSÃO ABSOLUTA. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/instmed/Instrumentacao_Medidas_Grandezas_Mecanicas.pdf>. Acesso em: 02 de setembro de 2016.

SENSOR TIPO CAPACITIVO. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo>>. Acesso em: 29 de Agosto de 2016.

SENSOR TIPO PIEZOELÉTRICO. Disponível em: <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/634-o-que-e-um-sensor-piezoelétrico>>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.

SENSOR TIPO PIEZORESISTIVO. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Lucas_Ferreira_de_Souza.pdf>. Acesso em: 04 de setembro de 2016.

SENSOR TIPO STRAIN GAUGE. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/medicao-de-pessao-caracteristicas-tecnologias-e-tendencias>>. Acesso em: 02 de setembro de 2016.

SENSOR TIPO TUBO BOURDON. Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~instrumentacao/pressao/bourdon02.html>>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.

SHIGUE, Carlos; ABEL, Ana Maria da Silva; LUIZ, Sandro Galisteu. Sensores e Atuadores Piezoelétricos. Maio/2010. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de Lorena – EEL.

SILÍCIO RESSONANTE. Disponível em:
<http://controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_106/cv1.html>. Acesso em: 29 de Agosto de 2016.

TIPOS DE MEDIDORES DE PRESSÃO. Disponível em:
<<http://wwwmecanicadosfluidos.blogspot.com.br/2010/10/tipos-de-medidores-de-pressao.html>> Acesso em: 26 de agosto de 2016.