

Instrumenta o e Sensores

Aula 08 - Sensores de Nível - parte II

Apresentação

Na aula passada foi introduzida a variável de processo nível. Vimos algumas definições básicas e aplicações e apresentamos a primeira parte dos instrumentos de medição de nível. Nesta aula daremos continuidade à apresentação desses instrumentos, tentando sempre ilustrá-los por meio de imagens e vídeos, para que o aluno se sinta familiarizado com tais instrumentos.

Objetivos

- Conhecer os vários tipos de instrumentos empregados na medição de nível.
- Compreender o princípio de funcionamento dos medidores de nível abordados.

Medição de Nível - parte II

Diante de uma diversificada gama de processos e produtos, haverá sempre um medidor de nível mais indicado para uma determinada aplicação. Assim, faz-se necessário um estudo detalhado da aplicação para determinar qual medidor utilizar. No entanto, os medidores vistos até agora não são suficientes para cobrir essa variedade de aplicações. Daremos então continuidade à apresentação dos medidores de nível, destacando seus princípios de funcionamento, aplicações, vantagens e desvantagens.

Medição de nível por métodos indiretos

Nesta seção daremos continuidade aos métodos necessários para mensurar uma segunda variável para se indicar o nível.

Medidor de nível do tipo borbulhador

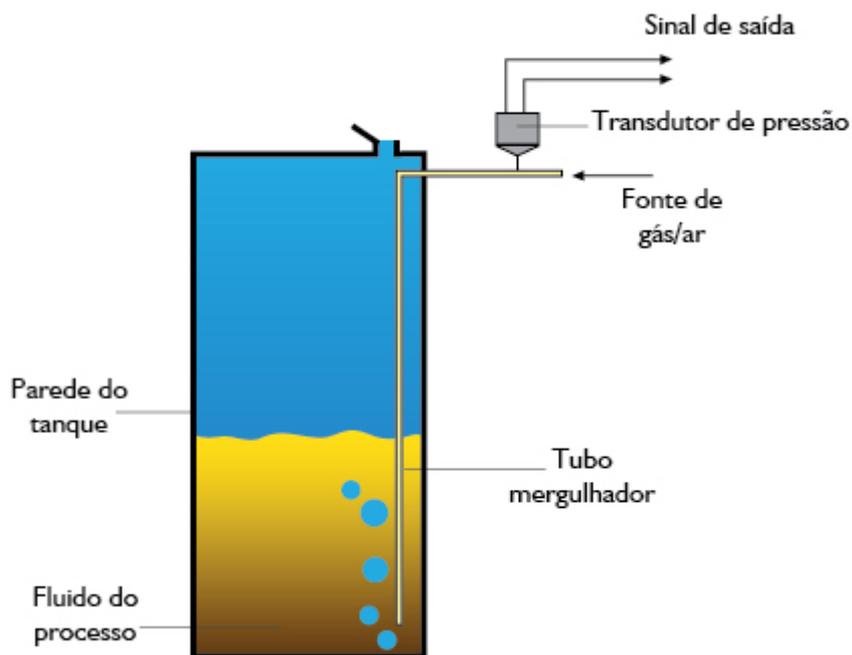
Esse tipo de medidor permite a detecção de nível de qualquer líquido a distância. Dessa forma, esse tipo de medidor se torna uma alternativa imediata para a medição do nível de líquidos corrosivos, viscosos ou contaminados, sem que haja contato com o medidor e, portanto, evitando qualquer risco ao operador.

O sistema borbulhador é composto de um medidor/indicador de pressão, uma válvula agulha e um suprimento de ar ou gás com uma pressão pelo menos 20% superior à máxima pressão exercida pela coluna de líquido quando o reservatório estiver completamente cheio. O tubo borbulhador deve ser instalado verticalmente no tanque com a sua extremidade inferior mais próxima possível do nível zero do tanque. A outra extremidade do tubo deve estar ligada à fonte de ar regulada e ao medidor de pressão. O fornecimento de ar no tubo borbulhador é regulado de maneira que a pressão do ar na extremidade inferior do tubo seja ligeiramente maior que a pressão hidrostática exercida pela coluna de líquido. Esse ajuste é

possível através da regulagem da válvula agulha até o momento em que seja perceptível a liberação de uma pequena quantidade de bolhas na extremidade inferior do tubo.

Considerando uma baixa vazão de ar e a densidade do fluido uniforme, a pressão medida é diretamente proporcional à altura da coluna de líquido no tanque. Na prática, o indicador é ajustado para indicar diretamente o nível de líquido, e se o tanque tiver um formato uniforme é possível ajustar o medidor para indicar o volume. A Figura 1 mostra um medidor de nível com um borbulhador.

Figura 01 - Medidor de nível com borbulhador



O link abaixo apresenta o princípio de funcionamento do medidor de nível com borbulhador:

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=KJhfEFhDjpo>.

Medidor de nível por pesagem

O sistema medidor de nível por pesagem infere a medida do nível baseada no peso do reservatório (silo) e no seu conteúdo. A pesagem é feita por meio de células de carga instaladas na base de sustentação ou em pontos de apoio da estrutura do reservatório. Essas células de carga podem ser hidráulicas ou elétricas (*strain-gauges*). Assim, à medida que o reservatório vai sendo preenchido com o material do processo, a carga ou peso que atua sobre essas células vai aumentando. Mas, para que se tenha o peso apenas da substância armazenada, o peso do reservatório vazio é "anulado", dando uma leitura zero no indicador. No entanto, apesar desse método fornecer o peso do material contido no reservatório, é necessário fornecer a massa específica desse material para que se possa inferir corretamente o seu nível.

Esse método apresenta uma grande vantagem quando a substância do processo se encontra turbulenta ou agitada. Pois nessas condições, dificilmente uma interface poderia ser detectada, o que causaria erro de leitura caso se utilizassem medidores que indicassem o nível baseado nessas interfaces. As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, aplicações do medidor de nível por pesagem e tipos desse medidor encontrados no comércio.



Figura 2 – Exemplos de medição de nível por pesagem.

Fontes: (a) <<http://bextra.com.br/pesagem-de-tanques-silos-e-moegas>>;

(b) <<http://bextra.com.br/pesagem-de-tanques-silos-e-moegas>>;

(c) <<http://hermanfleuren.fm.alibaba.com/>>;

(d) <<http://www.samhing.com.hk/batch.htm>>.

Acesso em: 12 ago. 2013.



Figura 3 – (a) Células de cargas comerciais hidráulica; (b) elétrica (resistiva).

Fontes: (a) <http://www.noshok.com/emarketing/spanish_versions/press_release/20120126-force/20120126-force.html>;

(b) <<http://www.nat-ir.com/Category.aspx?lid=2&cid=18>>.

Acesso em: 12 ago. 2013.

Vídeo sobre medidor de nível por pesagem:

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=cQYyoZdwud4>. Acesso em: 27 mar. 2013.

Medidor de nível capacitivo

São medidores cujo princípio de funcionamento se baseia no efeito capacitivo de dispositivos elétricos capazes de armazenar energia. Nesse caso, os dispositivos são os capacitores, capazes de armazenar uma carga e mantê-la até que sejam descarregados.

Importante mencionar acerca do funcionamento de um capacitor para que a compreensão desse método de medição se torne mais clara.

Um capacitor, como pode ser visto na Figura 4, é formado por duas placas (ou hastes) capazes de armazenar cargas elétricas, separadas uma da outra por um material isolante chamado "dielétrico". Ao se conectar uma fonte de energia a essas placas, os elétrons são atraídos de uma placa e se armazenam na outra, resultando em duas placas com cargas opostas. Como dito anteriormente, os capacitores são capazes de manter essa carga armazenada até que eles sejam completamente descarregados. A quantidade de carga que um capacitor é capaz de armazenar depende basicamente de três fatores: a área dessas placas, a distância entre elas e o tipo de dielétrico utilizado. A equação abaixo formaliza matematicamente essa dependência:

$$C = k \times \epsilon_0 \times \frac{A}{d}$$

Sendo:

C a capacitância;

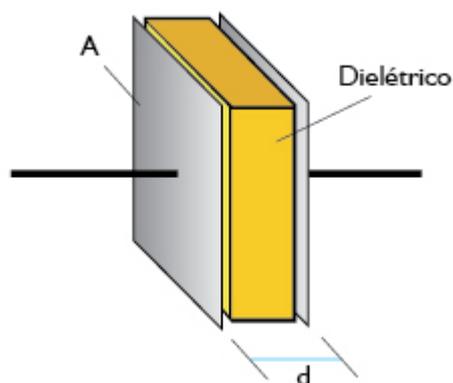
ϵ_0 a constante de permissividade do vácuo;

k é a constante dielétrica (sempre maior que 1 para materiais que não sejam o vácuo);

A a área das placas e;

d a distância entre essas placas.

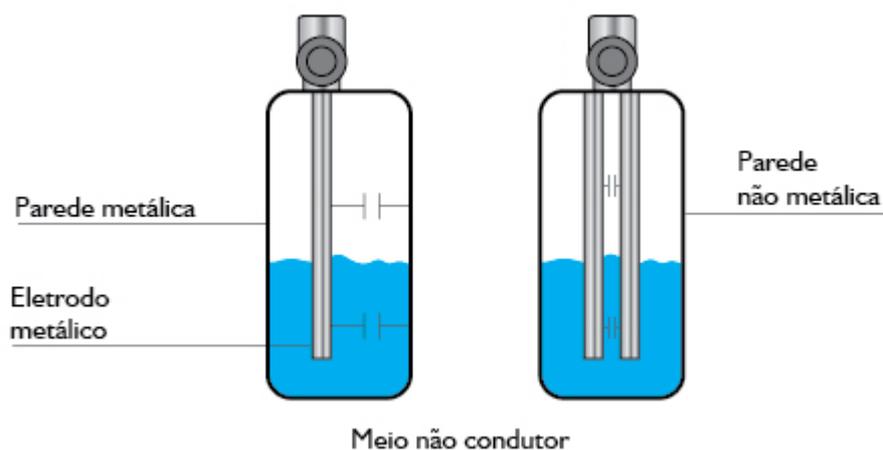
Figura 04 - Estrutura de um capacitor.



Fonte: <http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/o-que-um-dieletrico.htm>. Acesso em: 12 ago. 2013.

No caso do instrumento industrial, o capacitor é formado de forma que uma das placas é representada por uma sonda e a outra pela parede do próprio reservatório. Porém, quando a carcaça do reservatório não é metálica, utiliza-se outra sonda em vez da parede. O dielétrico é o próprio ar ou a substância armazenada no reservatório. A Figura 5 ilustra um tanque cujo nível está sendo medido através desse instrumento.

Figura 05 - Medição de nível por variação da capacitância.



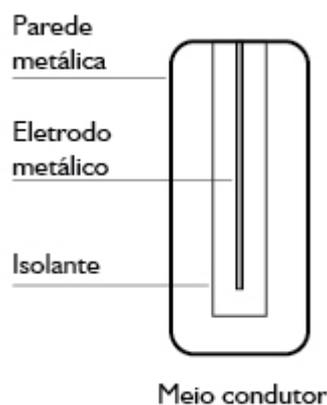
Fonte: adaptado de Balbinot e Brusamarello (2011).

O dielétrico varia com o nível do reservatório e essa variação produz uma alteração na capacitância, proporcional a esse nível. Assim, é possível deduzir o valor do nível a partir da medição das variações na capacitância.

Em aplicações onde as substâncias são condutoras de corrente elétrica, a sonda (eletrodo) deve ser revestida com um material isolante como, o teflon. Nesse caso, a constante dielétrica desse material isolante deve ser levada em consideração nos cálculos. No entanto, se a substância for isolante os eletrodos podem estar em contato direto com ela. Então, quando o nível varia, ocorre a variação da constante dielétrica que, por sua vez, causa a variação do valor de capacitância. Lembrando que, se a substância for isolante, a parede do reservatório pode servir como uma das placas do capacitor.

A **Figura 6** mostra um caso em que se utiliza um revestimento isolante nos eletrodos.

Figura 06 - Eletrodos revestidos com material isolante.



Fonte: adaptado de Balbinot e Brusamarello (2011).

Os medidores capacitivos podem também ser utilizados como detectores de nível, fornecendo medidas pontuais. Para isso, os sensores, que são eletrodos, devem ser instalados horizontalmente em locais estratégicos do reservatório, de forma que se conheça a distância entre eles. Assim, esses eletrodos podem ser conectados a diversos dispositivos através dos seus terminais, possibilitando a execução de variadas funções, como o acionamento de alarmes, o controle de nível, a mudança de faixa e nível etc.

Como visto, os medidores de nível por variação da capacitância podem ser utilizados tanto para medições contínuas de nível quanto para medições pontuais. Como vantagens desse medidor podemos citar a simplicidade de projeto e a baixa manutenção. Já a sua desvantagem está relacionada com a temperatura, pois ela afeta diretamente a constante dielétrica. Um aumento da temperatura normalmente

causa uma redução na constante dielétrica e a alteração da constante pode causar erro na medição do nível. Em casos como esse é necessário uma compensação na temperatura.

Medidor de nível por ultrassom

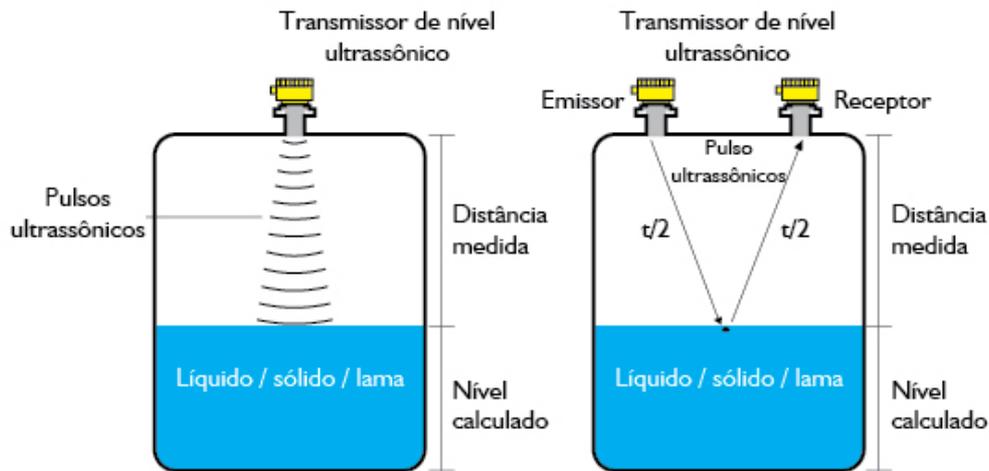
Os instrumentos de nível ultrassônicos operam pelo princípio básico da utilização de ondas sonoras para determinar o nível de um determinado produto, seja líquido ou sólido. A frequência dos sinais enviados por esses instrumentos variam de 20 a 200 kHz.

Os transmissores de nível por ultrassom são compostos, basicamente, por um ou dois transdutores piezoelétricos. Quando esse transdutor atua como transmissor, um sinal elétrico excita esse transdutor, fazendo-o gerar uma onda mecânica (ultrassom). Todavia, quando atua como receptor, o transdutor recebe uma onda mecânica e converte-a em um sinal elétrico. Nessa configuração, a medição é feita utilizando os dois módulos: transmissor e receptor. Uma segunda alternativa utiliza o transdutor associado a um transceptor (*transceiver*). Nesse caso, o transdutor que envia também recebe o sinal ultrassônico.

Juntos, o transmissor e o receptor operam para determinar o tempo que um sinal ultrassônico transmitido e o seu eco refletido levam para fazer uma viagem completa entre o transdutor e a superfície da substância cujo nível será mensurado.

Como exemplo, veja a Figura 7, a qual um desses transdutores é instalado na superfície do tanque. Esse transdutor direciona uma rajada de ondas em direção à superfície do material que se deseja medir o nível. O cristal piezoelétrico, dentro do transdutor, converte os sinais elétricos em energia sonora, que se propaga e forma ondas com uma frequência estabelecida (frequência de ultrassom) e com velocidade constante, em um determinado meio. Os ecos dessas ondas retornam ao transdutor, que realiza alguns cálculos para converter a distância percorrida por essas ondas em uma medida de nível do tanque. Essa distância percorrida pelas ondas é determinada com base no intervalo de tempo entre o momento do envio das ondas e o instante em que o eco delas chega ao transdutor, sendo esse intervalo proporcional à distância entre o transdutor e a superfície da substância armazenada no reservatório.

Figura 07 - (a) Transmissor de nível ultrassônico com transceptor; (b) Transmissor e receptor em módulos separados.



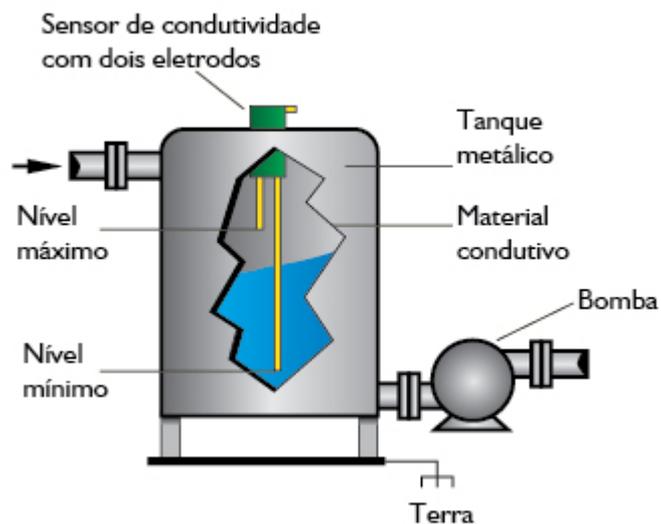
Fonte: Autoria Própria

Medidor de nível por condutividade

A capacidade de condução de corrente elétrica de um determinado material é a base para a determinação do nível. Esse método é normalmente empregado para medições pontuais de nível de líquidos com uma determinada condutividade. Por terem uma maior utilização em medições pontuais, o uso desses medidores se limitam à detecção e ao controle *on off* de nível em reservatórios e dispositivos de alarme.

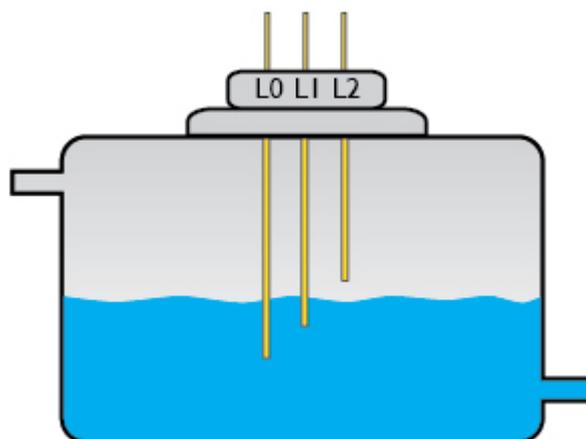
Uma forma comum de implementar esse método é mostrada na Figura 8, na qual dois eletrodos espaçados são instalados no tanque. Um deles se estende até o nível mínimo e o outro é posicionado de forma que a sua extremidade mais baixa fique localizada na marca do nível mais alto. Em outras palavras, o nível máximo é detectado quando a substância condutora atingir um nível que deixe os dois condutores submersos. Caso sejam utilizados apenas dois eletrodos faz-se necessário o aterramento do reservatório. No entanto, com a adição de um terceiro eletrodo elimina-se essa necessidade de referência ao potencial de terra, ver Figura 9.

Figura 08 - Medidor de nível por condutividade com dois eletrodos.



Fonte: http://automationwiki.com/index.php?title=Conductivity_Level_Sensors. Acesso em: 12 ago. 2013.

Figura 09 - Medidor de nível por condutividade com três eletrodos.



Fonte: Balbinot e Brusamarello (2011).

Apesar de ser simples e barato, esse método possui algumas desvantagens: a substância do processo precisa ser condutora e só é possível medir níveis pontuais, apesar de ser possível instalar vários eletrodos em diferentes alturas. A Figura 10 ilustra alguns medidores de nível comerciais.

Figura 10 - Fotografia de medidores de nível capacitivos comerciais.



Fonte: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/electrode-67316-7.html>. Acesso em: 12 ago. 2013.

Medidor de nível por vibração

Esses medidores foram desenvolvidos para detectar o nível e não para medir continuamente o valor desse nível. Assim, podemos dizer que eles atuam como chaves de nível, como vimos no caso das boias e flutuadores.

Para que apresentem um comportamento vibratório, esse detector é equipado com um garfo (isso mesmo, um garfo) com dois dentes simétricos, preso por uma membrana e por cristais piezoelétricos. A **Figura 11** mostra um detector de nível por vibração.

Figura 11 - Medidores comerciais de nível por vibração.



Fonte: http://www.ema-electronic.com/product_en.asp?anclass=25
<http://www.toshbrocontrols.com/products/vibrating-fork-level-switch.asp>. Acesso em: 12 ago. 2013.

Durante a operação, o cristal piezoelétrico estimula esse garfo a vibrar em sua frequência de ressonância quando o meio for o ar. Ao entrar em contato com o meio líquido ou sólido, decorrente do aumento do nível dentro do reservatório, a frequência e a amplitude da vibração de alteram. Essa alteração é, então, detectada, processada e convertida em um sinal comutador (um pulso, sinal digital) que é transmitido para um alarme de nível alto ou baixo, para um sistema de controle de nível, para o acionamento de uma bomba etc. A Figura 12 ilustra algumas aplicações com esse medidor.

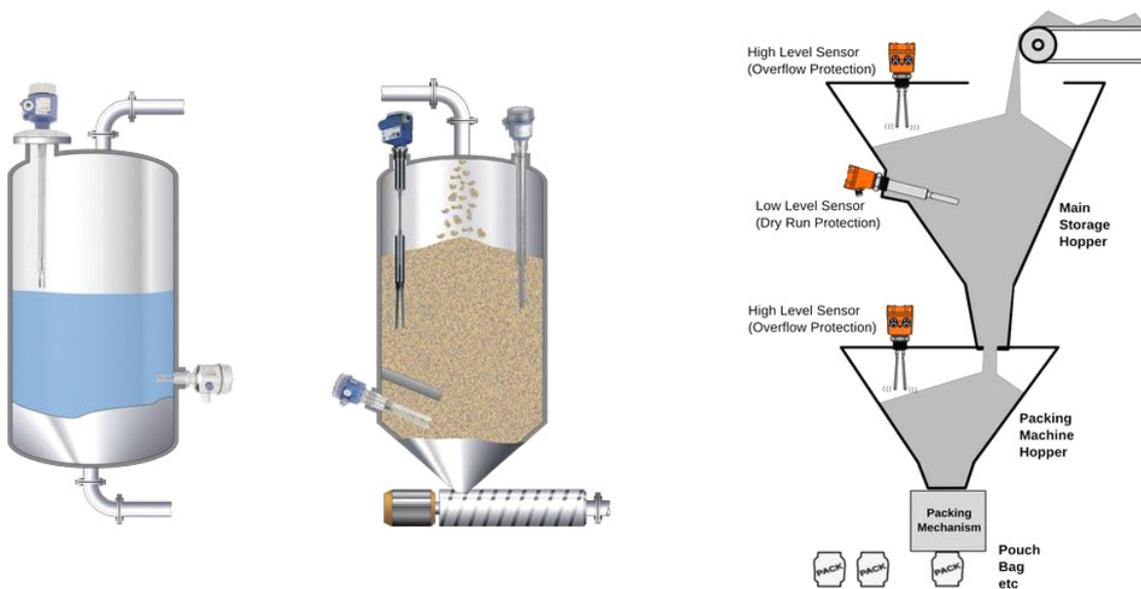


Figura 12 – Exemplos de aplicação do medidor de nível por vibração.

Fontes: <<http://www.us.endress.com/eh/sc/america/us/en/home.nsf/#products/~level-measurement-principle-vibration-liquids>>; <<http://www.de.endress.com/eh/sc/europe/>>; <<http://www.trumen.in/applications.php>>.

Acesso em: 12 ago. 2013.

Sensores de nível por vibração podem ser utilizados em líquidos, sólidos e lama. Entretanto, quando utilizados em sólidos granulados "molhados", o movimento vibratório tende a criar cavidades nesses granulados. Se isso ocorrer, o sensor pode confundir essa cavidade com um espaço vazio – como se o nível estivesse abaixo da linha do medidor, resultando em uma falsa leitura.

Essa técnica de medição, no entanto, é bastante adequada para líquidos com alta viscosidade e também não é afetada quando o fluido do processo apresenta espuma ou gases. Quanto ao medidor, ele se caracteriza por ter um tamanho reduzido e ser bastante robusto, podendo ser montado em qualquer posição sem que seja necessário calibrá-lo.

Vídeo sobre medidor de nível por vibração:

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=27vmT-NQzbM>

Acesso em: 30 mar. 2013.

Medidor de nível por radar

Os sensores por *radio detection and ranging* (radar) têm o seu princípio de funcionamento baseado na detecção de ecos de sinais de rádio. De acordo com Balbinot e Brusamarello (2011), essa tecnologia teve suas primeiras aplicações na década de 30, nos serviços militares, para a detecção de aeronaves, além disso a utilização desse método na medição de nível em indústrias químicas, petrolíferas, alimentícias, entre outras, ultrapassa os 50 anos.

Os sinais de rádio utilizados na medição de níveis de tanques são ondas eletromagnéticas com frequências típicas entre 3 e 30 GHz. Valores de frequência nessa faixa possibilitam a utilização de antenas com tamanho reduzido, facilitando, assim, a instalação do instrumento.

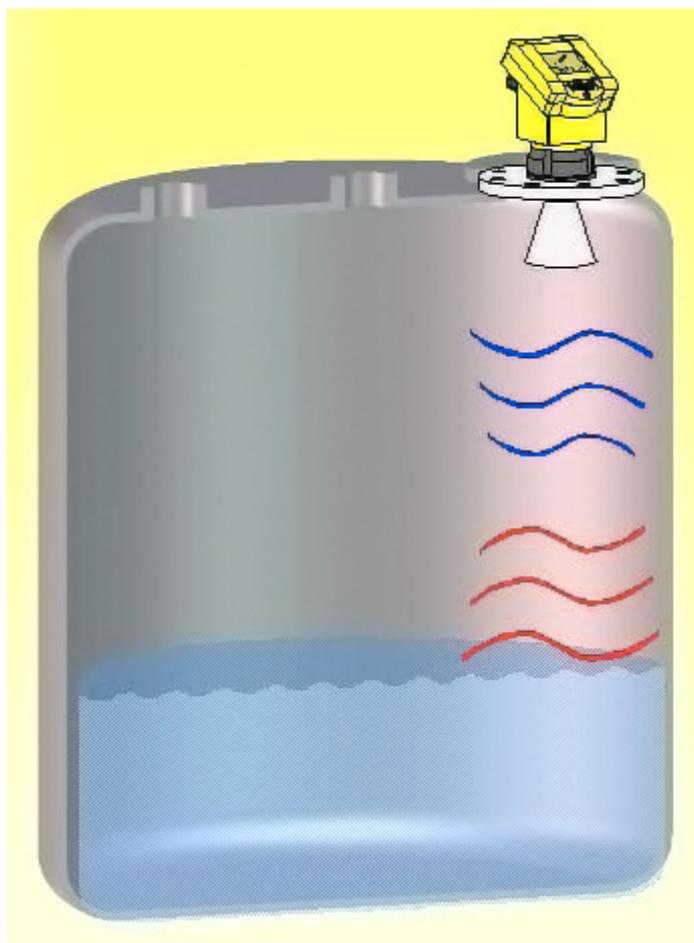
O Vídeo abaixo ilustra como a frequência pode influenciar o comportamento dos radares.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=GwuRUVOSc9w>

Acesso em: 12 ago. 2013.

Esses tipos de sensores são utilizados principalmente na medição contínua de níveis, sem que haja contato com o produto que se deseja fazer a medição. O seu princípio de funcionamento baseia-se na emissão, reflexão e recepção de um sinal radar. No entanto, existem dois métodos de radares utilizados na medição de nível. A Figura 13 mostra a utilização de um radar para a medição de nível.

Figura 13 - Medição de nível através de um medidor radar.



Fonte: http://artic.ac-besancon.fr/reseau_stl/ftp_stl/poissenot%20niveaux/mesureparradar.htm.

Acesso em: 30 mar. 2013.

No primeiro deles, chamado de radar por pulso (no qual pulso descontínuo é enviado) o princípio de funcionamento é muito semelhante ao do ultrassom. Em ambos os métodos a medição do nível é feita com base no período de tempo entre a emissão e recepção do sinal (pulso), pois, como sabemos, esse tempo é proporcional à distância entre o sensor e a substância e, portanto, ao nível dessa substância.

Como os sinais de radar, que são ondas eletromagnéticas, têm propriedades idênticas a da luz visível, dentre elas a de se propagar à velocidade de $3 \times 10^8 m/s$, o tempo medido entre a emissão e recepção do sinal é muito curto. Segundo Balbinot e Brusamarello (2011), instrumentos desse tipo não conseguem grandes precisões, pois falsos sinais de retorno são comuns devido à dificuldade de se calcular tempos dessa ordem de grandeza (da ordem de picossegundos, 10-12).

No outro tipo de radar, um sinal contínuo de frequência variável é emitido pela antena do sensor em direção à superfície do material cujo nível se deseja medir. Esses sinais, ao incidirem sobre a superfície, são refletidos, sendo captados pela antena do sensor como sinais de eco. No entanto, em vez de se analisar o tempo de deslocamento, o receptor avalia a diferença de frequência entre o sinal enviado e o sinal refletido.

Para que o medidor por radar apresente resultados coerentes de medição de nível, o material que se deseja medir tem que ter a capacidade de refletir os sinais de radar (eletromagnéticos). Essa característica de reflexão está relacionada a duas grandezas: à constante dielétrica e à condutividade do produto. Então, produtos que sejam condutores e que possuam constantes dielétricas maiores que 1,8 refletem bem as ondas eletromagnéticas do sensor radar. O vácuo, que tem constante dielétrica 1, não tem capacidade de refletir tais ondas. Portanto, quanto maior a constante dielétrica e a condutividade da substância, maior será a sua capacidade de refletir os sinais de radar.

Outra categoria de radar é a dos radares de onda guiada. Essa classe de medidores se mostra como uma alternativa para os casos em que a instalação do radar "convencional" não é apropriada (por exemplo, quando há reflexões dos sinais nas partes internas do reservatório, ou seja, falsos ecos).

Os radares de onda guiada utilizam o mesmo princípio do radar convencional, isto é, utilizam pulsos eletromagnéticos para medir nível, diferenciando-se pelo uso de uma sonda guia de ondas.

O uso desse guia viabiliza sinais de menor intensidade, diminuindo, neste caso, a potência requerida para geração desses sinais. O fato de o sinal ser concentrado em torno de um guia de ondas faz com que a medição seja pouco afetada pelos obstáculos dentro do tanque, pela proximidade ou pela presença de turbulência e espumas. Além disso, como o guia de onda determina o foco da energia emitida e refletida, o radar de onda guiada possui uma eficiência bem mais elevada do que o radar sem o guia. Outra vantagem desse tipo de radar é a possibilidade de se medir materiais com constantes dielétricas $\leq 1,4$. Existem três tipos de guias de onda: a coaxial, a dupla e a simples.

Os vídeos abaixo apresentam aplicações do medidor de nível por radar:

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=DwNty7DjZhE>

Acesso em: 30 mar. 2013.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=z-9JvFC2L7A>

Acesso em: 30 mar. 2013.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Qc9Ni5-YsxY>

Acesso em: 30 mar. 2013.

Atividade 01

1. Um tanque feito para armazenar água possui uma altura total de 15 m e que nele foi instalado um medidor ultrassônico. Sabe-se que o som viaja a uma velocidade de aproximadamente 340 m/s e que o tempo medido entre a geração do som e o seu eco refletido foi de 0,04 s. Determine o nível de água contida nesse tanque. E se fosse utilizado um sensor por radar ou laser, qual seria o tempo entre a geração do sinal de radio ou luz laser e seu eco?

Para verificar suas respostas, [clique aqui](#).

Respostas

1. $d = v \times t$

Onde:

d é a distância;

v é a velocidade e;

t é o tempo.

Como o tempo medido é o tempo de ida do som do instrumento até a superfície e o tempo da sua volta até o instrumento, então se divide o tempo por 2 para se obter a distância. Sendo assim:

$$d = 340 \times \frac{0,04}{2} = 6,8 \text{ m}$$

Mas essa distância é do transmissor medidor de nível à superfície do líquido. Logo, o nível será obtido subtraindo essa distância do tamanho do reservatório. Logo:

$$\text{Nível} = 15 - 6,8 = 8,2 \text{ m}$$

No caso da utilização do radar ou laser, a distância percorrida é a de 6,8 m e a velocidade da luz e das ondas eletromagnéticas é a mesma, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, logo:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{6,8}{3 \times 10^8} \cong 2,267 \times 10^{-8} \text{ s} = 22,67 \text{ ns}$$

Transmissores de nível a *laser*

O princípio de funcionamento desse medidor é semelhante ao do medidor ultrassônico, uma vez que ambos se baseiam no tempo de viagem de uma onda.

No caso do medidor a *laser*, uma fonte na parte superior do reservatório emite um feixe de laser na direção da substância que se deseja medir. Esse feixe é, então, refletido pela substância e detectado na superfície. Então, para que seja possível calcular o nível, faz-se necessário calcular o tempo que o feixe de *laser* leva para ir até a substância e voltar. Com essa informação podemos calcular a distância entre o sensor e a substância e, conseqüentemente, o nível. A distância entre o sensor e a substância é calculada multiplicando-se a metade do tempo medido pela velocidade do feixe do *laser*.

Ao contrário da tecnologia dos medidores de nível por radar, a tecnologia empregada nos medidores de nível a laser não depende da constante dielétrica do material. Além disso, o feixe de laser emitido não diverge muito, isto é, praticamente não apresenta dispersão. Essa característica, além de possibilitar a medição em locais com área bastante reduzida (onde outros sensores não poderiam ser aplicados), também elimina a possibilidade de falsos ecos do sinal emitido.

Apesar de ser um medidor bastante preciso, ele apresenta algumas desvantagens. Poeira, sujeira, fumaça ou outros revestimentos no transmissor ou receptor podem comprometer a propagação do feixe de laser. Outra desvantagem, inerente a esse medidor, é o seu valor elevado. A Figura 14 nos mostra um exemplo desse medidor e como ele é instalado em um reservatório para uma medição correta.

Figura 14 - (a) Transmissor de nível tipo *laser*; (b) sua instalação.



Fonte: <http://scint.tradeindia.com/laser-level-transmitter-972607.html>
<http://www.sensorsmag.com/files/sensor/nodes/2004/1067/fig9.gif>. Acesso em: 18 ago. 2013.

Vídeo sobre medidor de nível a *laser*:

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=JQrhFWuVQ18>
Acesso em: 30 mar. 2013.

Leitura Complementar

Blog “Controle e Automação”

<<https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/mvp>>. Acesso em: 30 mar. 2013. Leitura do tópico 2.2, “Medição de Variáveis de Processo: Nível”.

Blog com excelente material, partindo desde a apresentação das aulas (slides) até a resolução dos exercícios (slides). Tudo isso disponível para download.

Livro “Instrumentação e Fundamentos de Medidas” - volume 2, Alexandre Balbinot e Valner João Brusamarello. Leitura das páginas 278 à 291.

Apresenta, de forma detalhada, conceitos sobre medição de nível, os métodos abordados nessa aula e outros não abordados, de forma ilustrativa e completa.

Resumo

Nesta aula finalizamos a abordagem da variável de processo nível. Apresentamos os demais métodos de medidas, bem como os instrumentos associados a esses métodos, apresentando algumas de suas vantagens e desvantagens.

Autoavaliação

1. Explique o funcionamento do medidor de nível por pesagem.
2. Descreva o princípio de funcionamento dos medidores de nível capacitivos e como utilizá-los para medições contínuas e medições pontuais.
3. Como funcionam os medidores de nível por condutividade?

4. Qual a diferença entre os medidores de nível por condutividade com dois eletrodos e aqueles que possuem mais de dois?
5. Diferencie o funcionamento do medidor de nível por ultrassom do medidor por *laser*.
6. Quais são os dois tipos de antenas empregadas na medição de nível por radar? Explique o funcionamento de cada uma delas.

Para verificar suas respostas, [clique aqui](#).

Respostas

1. Explique o funcionamento do medidor de nível por pesagem.

O sistema medidor de nível por pesagem infere a medida do nível baseada no peso do reservatório (silo) e no seu conteúdo. A pesagem é feita por meio de células de carga instaladas na base de sustentação ou em pontos de apoio da estrutura do reservatório. Essas células de carga podem ser hidráulicas ou elétricas (strain-gauges). Assim, à medida que o reservatório vai sendo preenchido com o material do processo, a carga ou peso que atua sobre essas células vai aumentando. Mas, para que se tenha o peso apenas da substância armazenada, o peso do reservatório vazio é "anulado", dando uma leitura zero no indicador. No entanto, apesar desse método fornecer o peso do material contido no reservatório, é necessário fornecer a massa específica desse material para que se possa inferir corretamente o seu nível.

2. Descreva o princípio de funcionamento dos medidores de nível capacitivos e como utilizá-los para medições contínuas e medições pontuais.

São medidores cujo princípio de funcionamento se baseia no efeito capacitivo de dispositivos elétricos capazes de armazenar energia. Um capacitor é formado por duas placas (ou hastes) capazes de armazenar cargas elétricas, separadas uma da outra por um material isolante chamado "dielétrico". A quantidade de carga que um capacitor é capaz de armazenar depende basicamente de três fatores:

a área dessas placas, a distância entre elas e o tipo de dielétrico utilizado. No caso do instrumento industrial, o capacitor é formado de forma que uma das placas é representada por uma sonda e a outra pela parede do próprio reservatório (ou por outra sonda no caso de uma parede não metálica). O dielétrico é o próprio ar ou a substância armazenada no reservatório. O dielétrico varia com o nível do reservatório e essa variação produz uma alteração na capacitância, proporcional a esse nível. Assim, é possível deduzir o valor do nível a partir da medição das variações na capacitância de forma contínua. No caso de medições pontuais, as sondas devem ser instaladas horizontalmente, nos pontos desejados (estratégicos) do reservatório, de forma que se conheça a distância entre eles. A medida que o nível sobe e toca nas sondas, ativa tais capacitores indicando que chegou aquele nível (aquele ponto no tanque).

3. Como funcionam os medidores de nível por condutividade?

Dois eletrodos espaçados são instalados no tanque. Um deles se estende até o nível mínimo e o outro é posicionado de forma que a sua extremidade mais baixa fique localizada na marca do nível mais alto. Em outras palavras, o nível máximo é detectado quando a substância condutora atingir um nível que deixe os dois condutores submersos. Caso sejam utilizados apenas dois eletrodos faz-se necessário o aterramento do reservatório. No entanto, com a adição de um terceiro eletrodo elimina-se essa necessidade de referência ao potencial de terra.

4. Qual a diferença entre os medidores de nível por condutividade com dois eletrodos e aqueles que possuem mais de dois?

No caso da utilização de apenas dois eletrodos faz-se necessário o aterramento do reservatório. Nesse caso, só se é possível medir se dois níveis foram alcançados, o mínimo e o máximo. No entanto, com a adição de um terceiro eletrodo (ou de mais) elimina-se essa necessidade de referência ao potencial de terra e assim, é possível realizar mais medições de níveis.

5. Diferencie o funcionamento do medidor de nível por ultrassom do medidor por laser.

Ambos possuem um princípio de funcionamento semelhante, o cálculo do tempo que uma forma de energia gerada leva para sair do transmissor, chegar à superfície da substância a qual se deseja medir o nível e retornar (através do eco) ao transmissor. A diferença reside em que no medidor por ultrassom utiliza-se ondas sonoras (que variam em frequência de 20 a 200kHz) para determinar o nível de um determinado produto, seja líquido ou sólido. No caso do laser, uma fonte na parte superior do reservatório emite um feixe de laser na direção da substância que se deseja medir.

6. Quais são os dois tipos de antenas empregadas na medição de nível por radar? Explique o funcionamento de cada uma delas.

As antenas curtas e as guias de onda. No caso das antenas curtas, o funcionamento pode se basear na medição do tempo de transmissão e reflexão do eco (como no ultrassom e no laser) do sinal gerado pelo transmissor (o que exige um instrumento com leitura muito rápida) ou na defasagem da frequência (no caso da frequência variável gerada pelo transmissor). No caso da onda guiada, o princípio de funcionamento é o mesmo (medição de tempo ou de defasagem das frequências), mas a onda eletromagnética é guiada por esta sonda, que determina o foco da energia emitida e refletida, possuindo uma eficiência bem mais elevada do que o radar sem o guia. São utilizados três tipos de guias de onda: a coaxial, a dupla e a simples.

Referências

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. p. 270-291. 2 v.

BEGA, E. A. et al. **Instrumentação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 143-206.

CHAVES, C. R. **Curso de formação de operadores de refinaria: instrumentação básica.** Curitiba: Petrobras, 2002. p. 49-54.

DUNN, W. C. **Introduction to instrumentation, sensors, and process control.** Norwood: ArtechHouse, 2006. p. 85-97.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações.** 5. ed. São Paulo: Érica, 2005. p. 129-145.

Resumo

Nesta aula, vimos outras famílias de medidores de vazão, apresentação dos seus princípios de funcionamento, bem como algumas aplicações.

Autoavaliação

1. Explique o princípio de funcionamento do medidor eletromagnético.
2. Cite os dois tipos de medidores ultrassônicos e explique o princípio de funcionamento de um deles.
3. Onde é aplicado o medidor por efeito Doppler?
4. Qual o princípio de funcionamento do medidor de vazão por ultrassom?
5. Explique o funcionamento do medidor de vazão por efeito Coriolis.
6. Cite dois tipos de medidores em canais abertos.
7. Explique o princípio de funcionamento do Vertedor.