



SENSORES CAPACITIVOS, ESPECIFICAÇÃO EM APLICAÇÕES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

ANDRADE FILHO, A. P^{1,2}, ANDRADE, T. M³

¹ Universidade Federal de Uberlândia – FEELT Faculdade de Engenharia Elétrica

² Universidade de Uberaba – Mestrado Profissional em Engenharia Química

³ Universidade Federal de Uberlândia – FEQ Faculdade de Engenharia Química

RESUMO - *O presente artigo tem o intuito de fornecer informações de relevada importância no processo de especificação correta de sensores capacitivos conforme as suas inúmeras aplicações tais como, mensuração de pressão, presença, umidade, detecção de proximidade, deslocamento, nível, composição de materiais dentre outras, tendo em vista os diversos fatores que influenciam no processo e na planta industrial tais como, interferências elétricas, poeira e outros sólidos em suspensão, além da dos fatores físicos, como a questão do cálculo da distância máxima de atuação do sensor para que haja ainda uma boa eficiência no processo de mensuração da grandeza, e dos fatores de correção inerentes a cada matéria em virtude de sua constante dielétrica, outros fatores como a frequência de atuação dos sensores e níveis de alimentação de energia e sinais de trabalho também serão analisados visto que no processo de instrumentação elétrica são de suma importância.*

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista as inúmeras necessidades de se mensurar grandezas físicas em processos industriais com elevada eficiência e exatidão, surge então a necessidade de se especificar corretamente um determinado tipo de sensor, suas características e particularidades para cada mensurando e processo, a fim de se obter a máxima precisão na obtenção dos valores reais a serem mensurados. Sendo assim um dos sensores mais utilizados na instrumentação de processos nos dias atuais são os *sensores capacitivos*, usados para a detecção sem contato de qualquer objeto (Fruett, 2012). Em contraste com os sensores indutivos, que detectam apenas objetos metálicos, os sensores capacitivos podem detectar também materiais não metálicos (Furukawa, 2007).

O princípio de funcionamento do sensor capacitivo baseia-se na geração de um campo elétrico, estabelecido por um oscilador controlado por capacitor (Helfrick e Cooper, 1994). A figura 01 ilustra a estrutura interna de um sensor capacitivo.

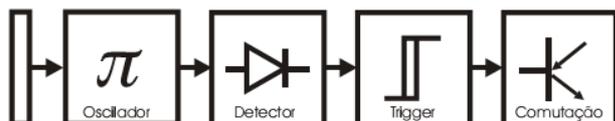


Figura 1: Estrutura interna de um sensor capacitivo



2. REVISÃO DA LITERATURA

O capacitor é formado por duas placas metálicas, carregadas com cargas elétricas opostas, montadas na face sensora, conforme apresentado na figura 02, de forma a projetar o campo elétrico para fora do sensor, formando assim um capacitor que possui como dielétrico o ar.

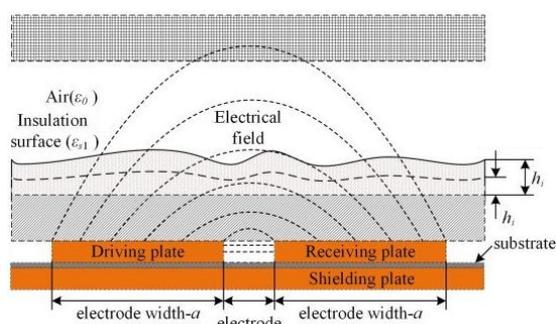


Figura 2: Campo elétrico no sensor

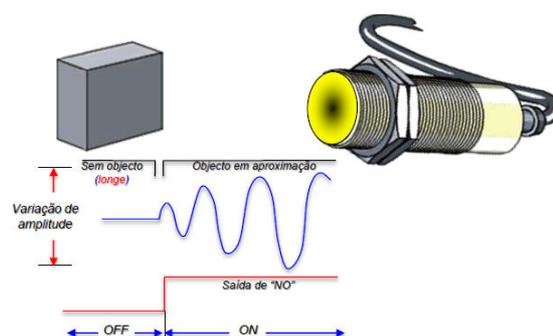


Figura 3: Variação do oscilador mediante detecção

A figura 03 ilustra um cenário em que um material se aproxima da face sensora, ou seja, do campo elétrico, o dielétrico do meio se altera, alterando também o dielétrico do capacitor frontal do sensor. Como o oscilador do sensor é controlado pelo capacitor frontal, quando aproximamos um material, a capacitância também se altera, provocando uma mudança no circuito oscilador, esta variação é convertida em um sinal contínuo, que comparado com um valor padrão, passa a atuar no estágio de saída. Os sensores capacitivos têm a capacidade de ajustar a sensibilidade ou o nível de limiar do oscilador.

Existem duas categorias de alvos em que os sensores capacitivos podem detectar, o primeiro sendo *condutivo* e o segundo *não condutivo*. Os alvos condutores incluem metal, água, sangue, ácidos, bases e água salgada. Esses alvos têm uma capacitância maior e a rigidez dielétrica dos alvos é imaterial. Ao lidar com alvos não condutores, existem três fatores que determinam a distância de detecção: *O tamanho da superfície ativa do sensor*, quanto maior a face de detecção, maior a distância de detecção; *As propriedades do material capacitivo do objeto alvo*, também chamadas de constante dielétrica, quanto maior a constante, maior a distância de detecção; *A área de superfície do objeto alvo a ser detectado*, quanto maior a área de superfície, maior a distância de detecção. Temperatura e velocidade do alvo também podem afetar na detecção. Materiais com alta constante dielétrica terão uma distância de detecção mais longa, portanto, materiais com alto teor de água, por exemplo, madeira, grãos, sujeira e papel afetarão a distância de detecção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Alguns aspectos devem ser avaliados quando desejamos utilizar um sensor capacitivo com melhor eficiência, tais como:



(Fs) *Face sensora* é a superfície onde emerge o campo elétrico; (Sn) *Distância sensora nominal teórica*, a qual utiliza um alvo padrão como acionador e não considera as variações causadas pela industrialização, temperatura de operação e tensão de alimentação. É a distância em que os sensores são especificados; (Su) *Distância sensora efetiva* considera as variações causadas pela temperatura de operação; (Sa) *Distância sensora operacional* que observamos na prática, sendo considerados os fatores de industrialização e um fator que é proporcional ao dielétrico do material a ser detectado. A figura 04 ilustra um típico sensor capacitivo.

A expressão matemática que define a capacitância é:

$$C = k \cdot \epsilon \cdot (A/D) \quad [1]$$

A - Área efetiva.

D - Distância de separação das placas.

K - Constante dielétrica do material.

ϵ - Permissividade elétrica no vácuo

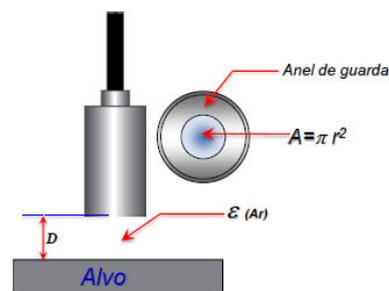


Figura 4 – Sensor Capacitivo

3.1 FATOR DE CORREÇÃO

O alcance é especificado pelo fabricante do sensor, entretanto existem fatores de correção que levam em conta as variações do material do alvo, material a ser detectado. Os fatores de correção para os sensores capacitivos são determinados segundo a constante dielétrica do material alvo (CARMO, e BIAGE, 2020). Materiais com constantes dielétricas altas são mais fáceis de detectar. A distância adequada depende do material do objeto a ser detectado, sendo:

$$S_u = F_{Temp.} \times S_n \times F_{Correção \text{ do mat.}} \quad [2]$$

Exemplo: Um sensor BC5-S18-AP4X, Turck para detectar um objeto de borracha, à 35°C.

$S_n = 10 \text{ mm};$

$F_c \text{ da Borracha} = 0,3$

$S_u = 0,95 \times 10 \times 0,3 = 2,85 \text{ mm.}$

3.2 ALVO PADRÃO

Para fins de calibração, o alvo padrão é um pedaço quadrado de aço macio de 1mm de espessura com comprimentos laterais semelhantes ao diâmetro da face sensora (Fs) ou três vezes a distância de comutação nominal, o que for maior.



O ajuste de sensibilidade pode ser efetuado afim de realizar um ajuste fino de sensibilidade na detecção, sendo que na maioria dos sensores o ajuste é executado atuando-se em um Capacitor variável que por sua vez altera a frequência do circuito oscilador que atua da detecção.

3.2 SENSORES ESPECÍFICOS PARA DIVERSAS APLICAÇÕES

Sensor de proximidade: Os sensores capacitivos de proximidade são úteis para contar objetos ou operar interruptores ou alarmes em resposta à posição de mecanismos controláveis. A aplicação e instalação são simples e deve haver precauções para manter uma distância razoável entre os sensores e entre um sensor e qualquer estrutura metálica da instalação.

Sensor de deslocamento: A capacitância é proporcional à área efetiva das placas e é inversamente proporcional à distância entre as placas. O deslocamento de uma ou ambas as placas, para mudar suas áreas efetivas, irá produzir um transdutor cuja capacitância é proporcional à posição ou deslocamento.

Sensor de pressão: Um diafragma cuidadosamente projetado para produzir movimento linear com variação de pressão pode ser usado para mover uma ou ambas as placas de um capacitor. As vantagens dos sensores capacitivos de pressão incluem alta sensibilidade, resposta rápida, boa resistência a atmosferas adversas, ausência de auto aquecimento e largas faixas de operação. As desvantagens incluem respostas não-lineares, erros de medição devidos a ruídos de capacitância e a necessidade de circuitos sofisticados.

Sensor de nível: Indica-se o sensor de nível capacitivo na mensuração de materiais que apresentem, no mínimo, 1,1 de constante dielétrica. Tal característica propicia a este sensor uma fácil aplicabilidade durante o processo de controle de materiais sólidos a granel, líquido com grande densidade e massas. O sensor de nível capacitivo deve trabalhar a uma temperatura que não supere 537°C, a fim de evitar problemas em seu mecanismo. Os Interruptores de nível são geralmente instalados através das paredes de tanque para detectar a presença ou a ausência do material armazenado em uma dada altura.

Sensor de umidade: As constantes dielétricas de sólidos isolantes podem ser mudadas pela umidade absorvida. A constante dielétrica da água é alta se comparada à maioria dos sólidos. A adição de pequenas quantidades de umidade pode produzir grandes mudanças na constante dielétrica. Dessa forma, pode-se detectar a quantidade de umidade em materiais através da inserção de eletrodos cilíndricos dentro do material a ser analisado.

Analizador de composição química: Apesar de não ser muito comum, medições capacitivas podem ser empregadas para medir a composição de pós ou líquidos dielétricos. Sua utilidade principal está em determinar as proporções relativas de uma mistura com dois materiais diferentes ou em discriminar entre duas substâncias diferentes.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se obter um resultado coerente e satisfatório deve-se questionar qual o objetivo da medição. Para o caso em que o nível de exatidão não é primordial, o que acontece em 90% dos casos, é partir para análise de cada tipo de tecnologia. Analisa-se todas as outras tecnologias para saber qual a melhor. Algumas considerações devem ser feitas a respeito da grandeza física ou mensurando em que se está utilizando o sensor capacitivo pois na maioria dos sensores as partes internas do sensor consistem em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída. Outro fator importante é que nos sensores capacitivos as distâncias de detecção são bastante reduzidas, e características como blindagem e histerese são muito importantes e serão avaliadas à seguir.

4.1 SENSORES CAPACITIVOS BLINDADOS X NÃO-BLINDADOS

Outra análise que devemos fazer é a respeito das blindagens dos sensores capacitivos pois esse fator afeta consideravelmente o desempenho do sensor. Os sensores de proximidade capacitivos blindados são mais indicados para a detecção de materiais de constantes dielétricas baixas (difíceis de detectar), devido a seu campo eletrostático altamente concentrado. Isto permite que eles notem alvos que sensores não-blindados ignoram. Entretanto, isto também os torna mais suscetíveis à comutação falsa devido ao acúmulo de sujeira ou umidade na face ativa do sensor.

Os sensores blindados são construídos com uma faixa de metal ao redor do sensor. Isso ajuda a direcionar o campo eletrostático para frente do sensor e resulta em um campo mais concentrado. As versões não-blindadas são equipadas com uma ponta de compensação que permite que o sensor ignore névoa úmida, poeira, pequenas quantidades de sujeira e pequenos respingos de óleo ou água que se acumulem no sensor. A ponta de compensação também torna o sensor resistente a variações da umidade ambiente. Versões não-blindadas são, portanto, uma melhor escolha para ambientes empoeirados e/ou úmidos.

As versões não-blindadas são também mais adequadas que as versões blindadas para uso com suportes plásticos para sensores, um acessório projetado para aplicações onde se faz a detecção de nível de líquido. O suporte é montado através de um furo num tanque e o sensor é inserido no receptáculo do suporte. O sensor detecta o líquido no tanque através da parede do suporte. Isto permite que o suporte sirva tanto para vedação do furo como para fixação do sensor. Os sensores não blindados não possuem uma faixa de metal ao redor do sensor e conseqüentemente possuem um menor campo eletrostático concentrado. Muitos modelos não blindados são equipados com pontas de compensação, as quais fornecem aumento na estabilidade para o sensor.

4.2 HISTERESE E PARÂMETROS DE OPERAÇÃO

Histerese é a diferença entre a distância a qual o sensor é ativado quando dele se aproxima o objeto, e a distância a qual é desativado quando dele se afasta o mesmo objeto, é calculada pelo percentual da distância de detecção nominal. A histerese é um parâmetro independente que não é uma constante e irá variar de sensor para sensor. Existem vários fatores que podem influenciar a histerese, incluindo temperatura, pressão atmosférica e umidade. Alguns parâmetros particulares dos sensores devem ser avaliados como:



Repetibilidade: É a variação na distância sensora nominal quando se procede duas ou mais comutações sucessivas, em condições idênticas.

Frequência máxima de operação: É o número de comutações que o sensor pode efetuar por segundo (Hz), dentro das condições ideais de operação e dimensões mínimas.

Sensibilidade: Taxa de mudança da saída em relação à entrada.

Linearidade: Medida da constância da taxa de saída com relação à taxa de entrada.

Faixa de medida: Diferença entre máximos e mínimos valores possíveis de medida.

Tempo de resposta: Tempo necessário para uma mudança na entrada ser observada na saída.

Resolução: Menor incremento observável na entrada.

Precisão: A diferença entre valores reais e os valores medidos.

5. CONCLUSÃO

Em virtude do estudo realizado, é possível afirmar que os sensores capacitivos devem ser cuidadosamente projetados e especificados em função do ambiente de operação, isolamento, e constante dielétrica do material a que está sendo exposto, além de outras minúcias mostradas no tópico de métodos. Fatores internos como a blindagem dos sensores capacitivos podem influir nos valores capitados pelos mesmos em função das inúmeras interferências presentes no ambiente de mensuração, fatores externos também podem gerar interferências nas medições principalmente se o ambiente onde o sensor estiver instalado estiver com índice de umidade elevado.

Nesse artigo procurou-se evidenciar os detalhes e as boas práticas de projeto e execução, em relação ao correto dimensionamento dos sensores capacitivos, uma vez que os mesmos são largamente utilizados nos processos de automação industriais, desta maneira, acredita-se que a contribuição para os profissionais da área os impactará de forma positiva e relevante.

6. REFERÊNCIAS

- FURUKAWA, **Transdutores Capacitivos: Sensores Tecnologias e Aplicações**, USP 2007.
- HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil LTDA, 1994. 324 p.
- FRUETT, **Sensores integrados em silício** UNICAMP – FEEC – DSIF, 2012
- CARMO, L.C.; BIAGE, M. **Calibração de sensores capacitivos para monitoramento de irrigação**. Revista Eletrônica Horizonte Científico, Uberlândia, v.1, n.1, p.1-23, 2002. <www.propp.ufu.br/revistaeletronica/edicao2002/C/CALIBRACAO.PDF>. Acesso em: 16 maio 2020.
-