

# Sensores Capacitivos e indutivos

Carla Silva Rocha Aguiar  
Heiji Inuzuka  
Leandro da Silva Lima

June 13, 2005

## 1 Introdução

Os sensores capacitivos permitem medir com grande precisão um grande número de grandezas físicas, tais como a posição, o deslocamento, a velocidade e a aceleração linear ou angular de um objeto; a umidade, a concentração de gases e o nível de líquidos ou sólidos; a força, o torque, a pressão e a temperatura; mas também detectar a proximidade de objetos, a presença de água e de pessoas, etc.

Hoje em dia existe uma grande variedade de aplicações que utilizam sensores capacitivos, de forma discreta ou integrada. Por exemplo, são bastante comuns os sensores capacitivos de pressão, de aceleração, de fluxo de gases ou líquidos, de umidade, de compostos químicos como o monóxido de carbono, dióxido de carbono, azoto, de temperatura, de vácuo, de nível de líquidos, de força, de deslocamento, etc., uns detectando as variações na espessura do dielétrico, outros na constante dielétrica. A detecção da variação da capacidade é geralmente efetuada através da medição da carga acumulada, por exemplo, através da aplicação de uma tensão constante, ou então indiretamente através da variação da frequência de oscilação ou da forma de onda à saída de um circuito, do qual o sensor é parte integrante.

Os sensores indutivos apresentados neste trabalho são sensores de aproximação. Estes sensores são caracterizados por detectarem a presença de obstáculos metálicos a partir da variação do fluxo magnético. Para que estes sensores tenham um funcionamento correto, é necessário que se tenha uma área, em volta do sensor, livre de qualquer material que causa inter-

ferência na medida. Estes sensores são destinados à detecção de peças metálicas. Eles também podem ser utilizados como sensores de fim de curso. Estes sensores são caracterizados pela frequência de comutação (maior número de vezes por segundo que a saída do sensor pode mudar de estado) e pelo tipo de saída (normalmente aberto-NA: saída que se fecha sempre que um objeto é detectado na área de detecção ativa; normalmente fechado-NF: saída que se abre sempre que um objeto é detectado na área de detecção ativa; NPN; PNP).

## 2 Sensores Capacitivos de pressão

Um sensor capacitivo é um condensador que exhibe uma variação do valor nominal da capacidade em função de uma grandeza não elétrica. Uma vez que um condensador consiste basicamente num conjunto de duas placas condutoras separadas por um dielétrico, as variações no valor nominal da capacidade podem ser provocadas por redução da área frente a frente e da separação entre as placas, ou por variação da constante dielétrica do material.

O elemento sensível é um par de placas que formam um capacitor (figura 1). Uma placa é fixada num diafragma cerâmico que se curva quando for aplicada uma pressão sobre ele. A outra placa é fixada, com uma rígida vedação de vidro, num substrato cerâmico que é invariável com mudanças de pressão (figura 2). Com a variação de pressão, o diafragma dobra e a distância entre as placas muda. Esse el-

emento cerâmico produz um capacitor variável, altamente confiável e estável. Para pressões mais altas são utilizados diafragmas mais grossos para uma maior resistência mecânica.

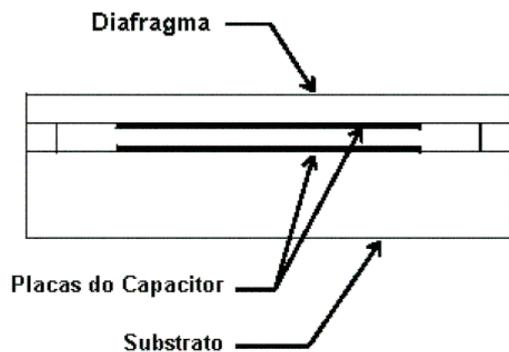


Figure 1: Esquema das placas do capacitor.

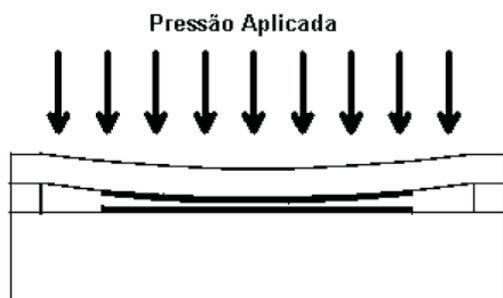


Figure 2: Pressão sendo aplicada sobre o diafragma.

## 2.1 Exemplos de alguns sensores capacitivos de pressão

### • Texas Instruments 2CP5 <sup>1</sup>

- Sensor capacitivo cerâmico
- Durável, design compacto;
- Baixo custo;
- Proteção contra sobre-tensão e curto circuito;

<sup>1</sup><http://www.ti.com/snc/pdf/2cp.pdf>

- Conector fêmea  $\frac{1}{4}$ ”;
- Temperatura de operação de -40 a 135°C;
- Voltagem de entrada: 4.5 a 5.5 Vdc;
- Voltagem de saída: 0.5 a 4.5 Vdc;
- Corrente de entrada máxima: 8 mA;
- Corrente de saída máxima: 2.5 mA;
- Aplicações:
  - \* Monitoramento da pressão do compressor de óleo;
  - \* Controle do ventilador de condensação;
  - \* Monitoramento da pressão de descarga e sucção.



Figure 3: Sensor Texas Instruments 2CP5.

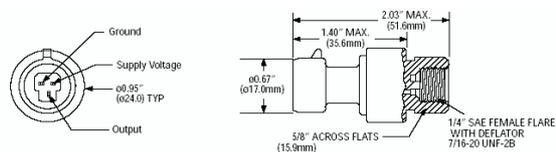


Figure 4: Sensor Texas Instruments 2CP5.

### Keller (series 41 X) <sup>2</sup>

- Além do sensor, inclui transmissor;
- Interface RS485;
- Conversor D/A;
- Tem como acessórios dois programas:
  - \* PROG30 para programar o transmissor;

<sup>2</sup><http://www.keller-druck.ch/picts/pdf/engl/41xe.pdf>

- \* READ30 para coletar dados com gráficos;
- Conector macho  $\frac{1}{4}$ ”;



Figure 5: Sensor Keller (series 41 X)



Figure 6: Sensor Keller (series 41 X)

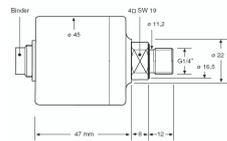


Figure 7: Sensor Keller (series 41 X)

### Sensor Vaisala BAROCAP®<sup>3</sup>

- Diafragma de silicone com 'gap' à vácuo;
- Alta acurácia;
- Excelente característica de histerese e repetibilidade;
- Mede pressão do ambiente em que se encontra;
- Aplicações:

<sup>3</sup>[http://www.vaisala.com/DynaGen\\_Attachments Att35704/Vaisala%20BAROCAP%C2%AE%20Sensor%20brochura%20maior](http://www.vaisala.com/DynaGen_Attachments_Att35704/Vaisala%20BAROCAP%C2%AE%20Sensor%20brochura%20maior)

- \* Medir pressão da cabine de aeronaves;
- \* Medir pressão de ambientes industriais de alto risco;
- \* Estações meteorológicas;



Vaisala BAROCAP® Sensors

Figure 8: Sensor Vaisala BAROCAP®

## 3 Sensores Capacitivos de posição

Sensores de proximidade capacitivos são projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças neste campo causadas quando um alvo se aproxima da face ativa. 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, como mostrado na figura 9.

Na ausência de um alvo, o oscilador está inativo. Quando o alvo se aproxima, ele aumenta a capacitância do circuito com a ponta de compensação. Quando a capacitância atinge um valor determinado, o oscilador é ativado, o que ativa o circuito de saída a faz com que ele comute seu estado (de "aberto" para "fechado" ou vice-versa). A partir desta distância de ativação, a capacitância do circuito varia linearmente à distancia do sensor ao objeto de interesse.

A capacitância do circuito com a ponta de compensação é determinada pelo tamanho do alvo, sua constante dielétrica e distância até a ponta. Quanto maior o tamanho e a constante dielétrica de um alvo,

mais este aumenta a capacitância. Quanto menor a distância entre a ponta e o alvo, maior a capacitância.

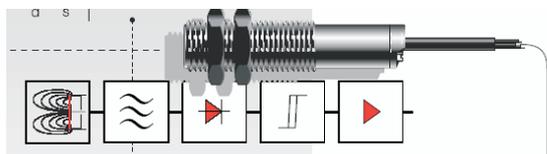


Figure 9: Princípio de operação do sensor capacitivo de posição: Ponta de compensação, oscilador, Filtro retificador e circuito de saída.

A escolha do melhor sensor capacitivo de posição depende do tipo de aplicação que este será inserido e o tipo de material o qual este sensor detectará a posição. Pode-se dividir os sensores capacitivos de posição em duas categorias principais: sensores capacitivos de posição blindados e não-blindados.

### 3.1 Sensores capacitivos de proximidade blindados e não-blindados

Os sensores blindados são construídos com uma faixa de metal ao redor do sensor. Isso ajuda a direcionar o campo eletrostático para a frente do sensor e resulta em um campo mais concentrado.

Isso faz com que estes sensores sejam 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.

A construção blindada permite que o sensor seja montado rente em um material sem causar uma falsa comutação. O fabricante PEPPERL and FUCHS possui uma linha de sensores blindados, variando como especificação o tamanho do sensor e a área da ponta capacitiva. A figura 11 mostra uma série de sensores deste fabricante.

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

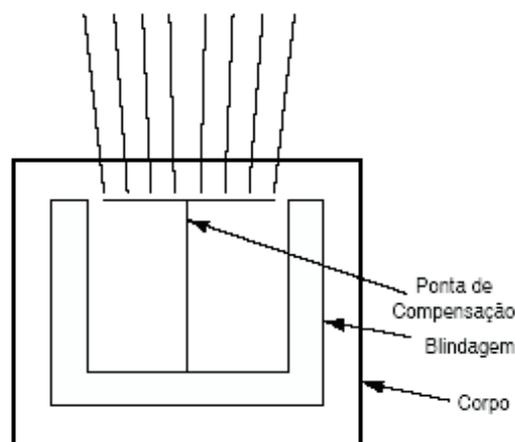


Figure 10: Princípio de operação do sensor capacitivo de proximidade blindado.

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.

O fabricante Balluf possui uma linha de sensores capacitivos de proximidade não blindados, indicados para diversas aplicações como detecção do nível de líquidos. A figura 13 mostra o sensor Balluf BCAW 030-NB-1-Y-03 e a figura 14 mostra o esquemático deste tipo de sensor na detecção de nível de líquidos.



Figure 11: Conjunto de sensores capacitivos de proximidade blindados do fabricante PEPPERL and FUCHS.

## 4 Sensores capacitivos de proximidade

### 4.1 Exemplos de alguns sensores capacitivos de proximidade e acessórios

- linha 875C 3 Fios, CC da Allen Bradley <sup>4</sup>
  - Proteção contra polaridade reversa;
  - Proteção contra curto-circuito e sobrecarga;
  - Corrente de carga de 200 mA;
  - Tensão de operação: 10 à 36 V;
  - Temperatura de operação de -25 à 70 °C;
  - Repetibilidade: < 10 %;
  - Histerese: < 20%;
- Sensores da marca IBS precision Engineering <sup>5</sup>
  - modelo de acordo com a forma e a área do sensor;

<sup>4</sup><http://www.ab.com/catalogs/C114-CA001A-PT-P/4capaive.pdf>

<sup>5</sup>[ibs-noncontact.uk.pdf](http://www.ibs-noncontact.uk.pdf)

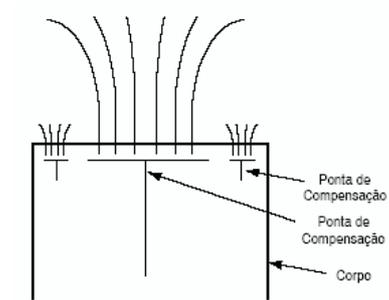


Figure 12: Princípio de operação do sensor capacitivo de proximidade não blindado.



Figure 13: Sensor capacitivo BCAW 030-NB-1-Y-03 da marca Balluf.

- sem contato;
- bandwidth acima de 20 kHz;
- calibrado na fábrica;
- resolução nanométrica;
- alta linearidade de entrada/saída;
- driver Accumeasure TM System1500<sup>6</sup>: driver de condicionamento de sinais de sensores capacitivos de proximidade
  - Alimentação: 100/120 ou 220/240 Vac;
  - Limite de corrente: 2 Amp;
  - Sinal de saída: 0 à 10 V;
  - Saída RS232;
  - saída Saída em BCD;

<sup>6</sup>[ibs-noncontact.uk.pdf](http://www.ibs-noncontact.uk.pdf)

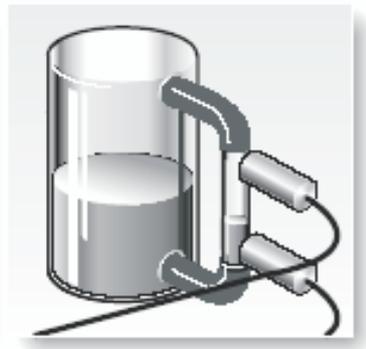


Figure 14: Aplicação de sensor capacitivo de proximidade não blindado na detecção do nível de líquidos.



Figure 15: Sensor capacitivo de proximidade da linha 875C 3 Fios da Bradley.

- Saída DB25
- Precisão: 0.05%;

## 5 Sensores Indutivos

O sensor consiste de uma bobina sobre um núcleo de ferrite, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída (figura 19). Quando um objeto metálico penetra no campo, a perda de energia ocasionada pelas correntes de fuga no objeto resulta numa amplitude de oscilação menor. O circuito de disparo então reconhece esta mudança específica de amplitude e, dependendo da magnitude da mudança, gera um sinal de comando para o circuito de saída.



Figure 16: Sensor capacitivo de proximidade do fabricante IBS precision Engineering.

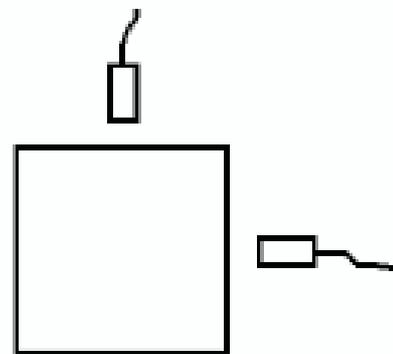


Figure 17: Sensor capacitivo de proximidade utilizado para micro posicionamento: sensor atua na região no qual a capacitância varia lineamente com a distância ao objeto.

O funcionamento do sensor (figura Y) é obtido com um campo eletromagnético constante, gerado na frente do sensor. Quando um objeto metálico (alvo), ferroso ou não-ferroso, entra no campo eletromagnético formado, são induzidas no objeto correntes de fuga. Estas correntes causam perdas na energia armazenada no campo. A intensidade das perdas de energia é percebida pelo sensor. Estes sensores precisam ser calibrados de acordo com o material a ser detectado.

A frequência de comutação é a velocidade máxima com que o sensor entrega pulsos individuais discre-



Figure 18: Driver Accumeasure TM System1500 que condiciona o sinal do sensor capacitivo de proximidade.

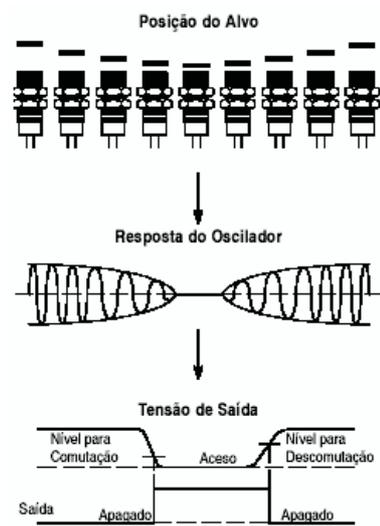


Figure 19: Componentes do sensor indutivo.

tos quando o alvo entra e sai do campo de detecção. Este valor é sempre dependente do tamanho do alvo, distância entre alvo e face ativa, velocidade do alvo e tipo de sensor.

## 5.1 Soluções de mercado

Existem inúmeros fabricantes deste tipo de sensor. Algumas soluções apresentadas por alguns destes fabricantes serão apresentadas a seguir.

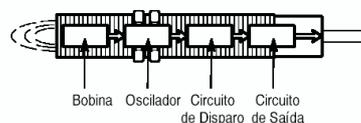


Figure 20: Princípio de funcionamento.

### 5.1.1 Instrutech Sensores Eletrônicos

A Instrutech Sensores Eletrônicos é uma empresa nacional que está a 20 anos no mercado. Esta empresa é especializada na fabricação de sensores para automação industrial, comercial e proteção humana. Ela utiliza tecnologia avançada com montagem automática em SMD e componentes de última geração. Esta empresa apresenta vários modelos de sensores indutivos, classificados em três categorias: Standard, Linha Curta e Linha Standard. O tipo de conexão utilizado por eles são: cabo standard, conector M12 ou engate para mangueira. A saída pode ser do tipo: DC PNP NA (normalmente aberta), DC PNP NF (normalmente fechada), DC NPN NA, DC NPN NF, AC NA, AC NF ou AC programável NA ou NF. Operam com tensão de entrada que variam de 10VDC a 30VDC ou 40VAC a 250VAC. A frequência de comutação varia de 15HZ a 2000HZ, dependendo do modelo. Estes sensores são utilizados como chaveadores eletrônico digital com acionamento por detecção de proximidade e alguns deles possuem proteção contra curto circuito.

### 5.1.2 Festo

A Festo é uma empresa multinacional com sede na Alemanha e que possui representação no Brasil. Esta empresa possui diversos componentes empregados em automação industrial. Entre os modelos de sensores utilizados para detecção de objetos destacam se os sensores indutivos. Estes sensores estão divididos em quatro categorias:

- SIEN** - Com distâncias de detecção padronizadas.
- SIEH** - Com distâncias de detecção maiores.
- SIEW** - Para tensão alternada.
- SIES** - Formatos especiais.

As principais vantagens destes sensores são:

- Grande durabilidade - Por não necessitar de contatos mecânicos para a detecção;
- Excelente precisão e garantia da supervisão;
- Altas frequências de comutação até 3000Hz;
- Com indicação através de Led;
- Insensível a trepidações;
- Totalmente lacrado podendo ser utilizado em ambientes agressivos;
- Versatilidade de formatos e formas de fixação;
- Facilidade de interface com os principais CLP'S.

Alguns modelos especiais apresentam as seguintes características:

- Saída analógica;
- Podem ser utilizados em ambientes de intenso campo magnéticos - ambientes de solda;
- Detecção de materiais não ferrosos sem redução da distância sensora;
- Linha econômica de plástico;
- Modelos de aço inoxidável para ambientes mais agressivos.

As figuras 21 e 22 ilustra alguns modelos de sensores indutivos da Festo.



Figure 21: Sensores indutivos da Festo.



Figure 22: Sensores indutivos da Festo.

### 5.1.3 Metaltex

A Metaltex é uma empresa nacional que oferece uma grande variedade de componentes eletro-eletrônicos e soluções completas também em Automação Industrial. Entre os produtos de Automação Industrial destacam se os sensores indutivos.

As características dos sensores indutivos da Metaltex são:

- o Distância de detecção de 1,5mm a 15mm;
- Alimentações CC (10VCC a 36VCC) ou CA(90VCA a 240VCA);
- Saídas NPN ou PNP, NA ou NF;
- Frequência de comutação variando entre 200HZ a 500Hz;
- Temperatura de operação varia de -25°C a 75°C.

Na figura 23 são apresentados dois modelos de sensores indutivos da Metaltex.



Figure 23: Sensores indutivos da Metaltex.

### 5.1.4 Siemens

A Siemens é uma empresa multinacional que possui representantes no mundo todo, inclusive no Brasil. Ela possui uma classe de sensores denominada BERO, dentre os sensores BERO, destacam-se os sensores indutivos. Estes sensores são indicados onde se deseja

detectar a presença ou aproximação de peças ou qualquer tipo de objeto metálico, podendo realizar contagem, medições de velocidade e outras aplicações. Os sensores BERO são robustos e apresentam elevada vida útil. A linha 3RG4 (figura T) tem sido extensamente aplicada em sistemas de automação dos níveis mais simples até os mais complexos, suportando ambientes onde é requerido alto grau de proteção.



Figure 24: Sensores indutivos BERO da linha 3RG4.

Estes sensores são utilizados em diversos segmentos como indústria automobilística, têxtil, de papel e celulose, impressão, processamento de plástico, linhas de montagem e diversas outras aplicações. Através da extensa gama de produtos, os sensores indutivos BERO podem atender a faixa de distância sensora de 0,6 a 75 mm em formatos cilíndricos ou cúbicos, conexão a 2, 3 e 4 fios, com conectores M8, M12 ou M18. Tensão de alimentação na faixa de 10 a 265 VCC ou 20 a 320 VCA e grau de proteção IP65, IP67 e IP68.

## 5.2 Aplicações

Algumas aplicações para os sensores indutivos estão ilustradas nas figuras a seguir.

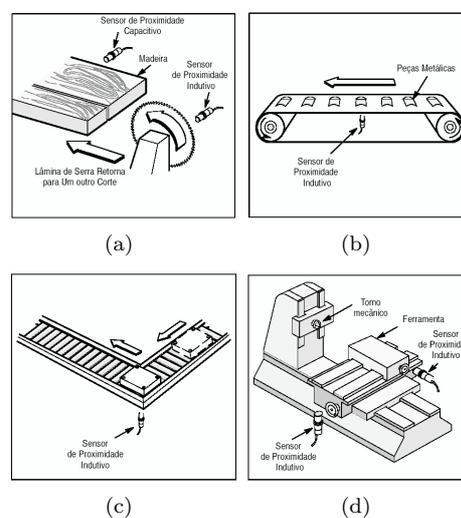


Figure 25: Aplicações com sensores indutivos de proximidade. a) indústria madeireira; b) esteira transportadora; c) linha de produção; d) peças e máquinas.