



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) **PI0902282-1 A2**



(22) Data de Depósito: 13/07/2009
(43) Data da Publicação: 13/04/2010
(RPI 2049)

(51) *Int.Cl.:*
G01B 7/02 (2010.01)

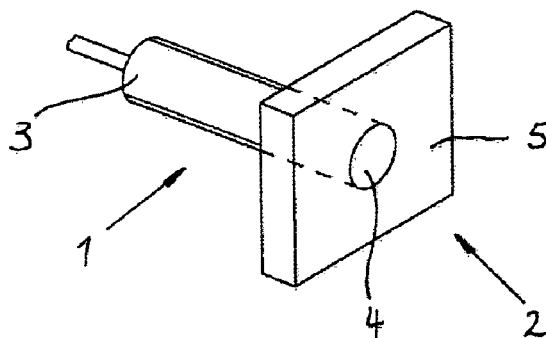
(54) Título: **SENSOR DE PROXIMIDADE INDUTIVO PARA MONTAGEM EMBUTIDA E MÉTODO PARA PROJETAR O MESMO**

(30) Prioridade Unionista: 15/07/2008 EP 08 405180.4

(73) Titular(es): Optosys S.A.

(72) Inventor(es): Charles Rhême, Marc de Huu, Peter Heimlicher, Philippe Venier

(57) Resumo: SENSOR DE PROXIMIDADE INDUTIVO PARA MONTAGEM EMBUTIDA E MÉTODO PARA PROJETAR O MESMO. A presente invenção refere-se a um sensor de proximidade indutivo para embutimento em uma placa de montagem de aço doce (2), compreendendo um invólucro com uma parede frontal (16) de material sintético, formando uma face de monitoramento (4) em uma extremidade frontal do invólucro, um oscilador (10) compreendendo uma bobina do sensor (7) com um núcleo (9), feito de um material com uma permeabilidade magnética relativa maior do que 1, tipicamente uma ferrita, que é disposto dentro do invólucro atrás da parede frontal, de modo que um lado aberto do núcleo (9) é dirigido no sentido da face de monitoramento (4), para direcionar o campo magnético da bobina no sentido de um alvo (6), em frente da face de monitoramento (4), um elemento metálico cilíndrico oco (3) disposto perpendicular à face de monitoramento (4) e circundando o núcleo (9), e um circuito de medida (11) para medir uma atenuação do oscilador (10), devido às correntes parasitas. O núcleo (9) é circundado radialmente por uma camada metálica com uma baixa resistividade elétrica inferior a $15\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e com uma espessura inferior a $40\mu\text{m}$ para aperfeiçoar a capacidade de embutimento do sensor. Alternativamente, essa camada metálica fina pode ser omitida, se a resistividade elétrica do elemento metálico (3) for ajustada a um valor na faixa de $15\mu\Omega\cdot\text{cm}$ A $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"SENSOR DE PROXIMIDADE INDUTIVO PARA MONTAGEM EMBUTIDA E MÉTODO PARA PROJETER O MESMO"**.

A presente invenção refere-se a um sensor de proximidade indutivo para embutir em uma placa de montagem metálica de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1 ou 9 e a um método para projetar o mesmo.

Os sensores de proximidade compreendem um oscilador RLC com uma bobina de sensor, cujo campo magnético gera correntes parasitas em um alvo. A perda de potência provocada por essas correntes parasitas representa uma carga, que atenua crescentemente o oscilador, na medida em que a distância entre o sensor e o alvo é reduzida.

A medida para a taxa, na qual um oscilador dissipa a sua energia armazenada, é o fator de qualidade Q , que é 2π vezes a razão da energia armazenada para a energia dissipada por ciclo. O fator de qualidade máxima $Q_{\max}$ do sistema oscilante de um sensor de proximidade indutivo é medido no estado não-embutido do sensor e na ausência do alvo. Em operação, o fator de qualidade Q deprecia devido às perdas de correntes parasitas na placa de montagem e/ou em um alvo. A normalização do fator de qualidade Q para o fator de qualidade máxima $Q_{\max}$, um fator de qualidade relativa Q_{rel} , é definida como se segue:

$$Q_{\text{rel}} = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (1)$$

Se nenhum corpo influenciando o campo está presente no meio físico do sensor, Q é igual a $Q_{\max}$ e, portanto, Q_{rel} é igual a 1. O que foi mencionado com relação ao fator de qualidade Q antes se aplica também ao fator de qualidade relativa Q_{rel} : deprecia devido ao fato de que a dissipação de energia por ciclo é aumentada pelas perdas de correntes parasitas na placa de montagem e/ou no alvo. O grau dessa depreciação é a medida para a atenuação do oscilador:

$$\text{Atenuação} = 1 - Q_{\text{rel}} = \frac{Q_{\max} - Q}{Q_{\max}} \quad (2)$$

O circuito do sensor compreende um circuito de medida disposto para gerar um sinal de saída, que é uma função dessa atenuação.

Uma distinção é feita entre os sensores de proximidade indutivos de comutação e analógicos. O circuito de medida de uma chave de proximidade é disposto para comutar o sinal de saída de um estado para outro, tão logo a atenuação atinja um limiar de referência, que é também chamado limiar operacional nesse contexto, enquanto que o circuito de medida de um sensor de proximidade analógico é disposto para gerar um sinal de saída, que, para atenuações excedendo um limiar de referência, é uma função monotônica da atenuação do oscilador.

A superfície externa de um invólucro do sensor compreende uma fase de monitoramento, na qual o campo magnético da bobina do sensor é dirigido por meio de um núcleo. A distância alvo é a distância dessa face de monitoramento para o alvo, e o alcance do sensor é o valor no qual a distância alvo precisa ser reduzida (por aproximação do alvo para a face de monitoramento), para produzir uma variação do sinal de saída do sensor. O alcance do sensor assim definido é chamado distância operacional, se o sensor for uma chave de proximidade. O alcance especificado na folha de dados de um sensor é chamado o alcance nominal. O alcance efetivo de um sensor pode se desviar do seu alcance nominal, devido às tolerâncias de manufatura, por exemplo.

Como uma base para a medida e a especificação do alcance do sensor, o padrão internacional IEC 60947-5-2 define o tamanho e o material do alvo a ser usado. O alvo padrão é uma placa quadrada de aço doce, com uma espessura de 1 mm e um comprimento lateral que é igual ao diâmetro da face de monitoramento ou três vezes o alcance nominal do sensor, o que for maior.

O alcance de um sensor de proximidade indutivo e sua capacidade de embutimento são relacionados ao contrário. Quanto maior a distância alvo, menores são as perdas de correntes parasitas no alvo, resultando em um maior impacto das perdas de correntes parasitas na placa de montagem na quantidade total de perdas de correntes parasitas que é determinante para atenuação do oscilador.

Para aumentar o alcance de um sensor, o seu limiar de referên-

- cia é reduzido. Na tabela apresentada a seguir, a distância operacional nominal de chaves de proximidade capazes de embutimento, como especificado no padrão IEC 60947-5-2, que é atingível com um limiar de referência de aproximadamente 35 por cento, é comparada à distância operacional medida do estado dimensionado correspondentemente das chaves de proximidade da técnica, caracterizada por um limiar de referência de apenas 10 por cento:

Tamanho do sensor	Distância operacional	
	Padrão IEC	limiar de 10%
M5	-	1,2 mm
M8	1 mm	2,2 mm
M12	2 mm	3,7 mm
M18	5 mm	6,5 mm
M30	10 mm	13,0 mm

Tabela 1

- Nessa tabela, o tamanho dos sensores é especificado pelo diâmetro de uma luva rosqueada externamente, formando o invólucro dos sensores.

- Um sensor de proximidade de longo alcance é caracterizado por um limiar de referência de 10 por cento ou menos. Por redução do limiar de referência abaixo de 10 por cento, sensores com um alcance ainda mais longo podem ser obtidos. Os sensores de longa distância com um limiar de referência inferior a 5 por cento são conhecidos na técnica. Com base nos valores na coluna direita da tabela acima, o alcance nominal $S_{\min}$ de um sensor de longa distância pode ser determinado aproximadamente usando a fórmula:

$$S_{\min} = 0,14 + 0,114 * d^{1.4} \quad (3)$$

- na qual d é o diâmetro externo da luva do invólucro do sensor em milímetros e $S_{\min}$ é o alcance do sensor em milímetros.

Os sensores de longo alcance usuais não são inteiramente capazes de ser embutidos em uma placa de montagem de aço, porque a atenuação provocada pela placa de montagem no estado embutido quase que

coincide com, ou excede o, limiar de referência do sensor, tornando, em particular, qualquer sensor de proximidade do tipo de comutação inoperante.

Para atenuar a influência da placa de montagem, o uso de uma saia de blindagem circundando a bobina e o núcleo, para impedir que o campo do sensor atinja a placa de montagem, é sugerido no pedido de patente alemã DE 3438998 A1. Uma camada metálica, projetada para agir como uma blindagem contra um campo magnético alternado, é pelo menos tão espessa quanto da profundidade da crosta do material da camada na frequência de oscilação do campo, e, de preferência, mais espessa. A profundidade da crosta de um material pode ser calculada como:

$$\text{profundidade da crosta} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}} \quad (4)$$

em que:

ρ é a resistividade do material em ($\Omega \cdot m$);

f é a frequência angular do campo em [Hz];

μ_0 é a permeabilidade do espaço livre em [N/A^2]; e

μ_r é a permeabilidade magnética relativa do material.

Por exemplo, a profundidade da crosta de cobre, a uma frequência de 1 MHz, é 66 μm . A frequência operacional dos sensores com uma bobina de sensor tendo um núcleo é, de preferência, acima de 50 kHz, para atingir uma longa distância operacional, mas é geralmente abaixo de 1 MHz e, portanto, uma camada de cobre circundando o núcleo deve ser ainda mais espessa, para agir como uma blindagem.

É um objetivo da presente invenção aperfeiçoar a capacidade de embutimento de sensores de proximidade, sem afetar adversamente os seus alcances de sensor.

Esse objetivo é alcançado por um sensor de proximidade capaz de ser embutido, de acordo com a reivindicação 1 ou 9, e um método para projetar esse sensor, de acordo com a reivindicação 13 ou 14.

Os aspectos preferidos da invenção são especificados nas reivindicações dependentes.

A invenção é descrita em detalhes a seguir em conjunto com as

concretizações preferidas representadas nos desenhos em anexo.

A figura 1 mostra, em uma vista em perspectiva, um sensor de proximidade indutivo montado rente a uma placa de montagem.

A figura 2 mostra uma representação esquemática de uma disposição compreendendo um sensor montado em uma placa de montagem de acordo com a figura 1 e um alvo em frente do sensor.

A figura 3 mostra um gráfico do fator de qualidade relativa Q_{rel} do oscilador de um sensor, como mostrado na figura 2, em função da distância alvo x .

A figura 4 mostra uma disposição compreendendo um sensor, uma placa de montagem e um alvo, definindo a geometria de um modelo para simulação FEM.

A figura 5 mostra o diagrama da perda de corrente parasita calculada pela simulação do Método de Elementos Finitos (FEM) de um sensor com uma geometria de acordo com a figura 4.

A figura 6 mostra em uma escala ampliada a vista seccional longitudinal da parte frontal de um sensor de proximidade indutivo.

A figura 7 mostra a parte frontal de uma concretização alternativa do sensor de acordo com a figura 6.

A figura 1 mostra um sensor de proximidade indutivo 1 montado em uma placa de montagem 2. O invólucro do sensor consiste, substancialmente, em uma luva cilíndrica 3 feita de metal não-ferromagnético, que é rosqueada no seu lado externo e aparafusada em um furo atravessante rosqueado correspondentemente da placa de montagem 2, de modo que uma face de monitoramento 4 do invólucro, que é perpendicular ao eixo da luva, fica rente à superfície frontal 5 da placa de montagem 2. O termo montado rente é usado como um sinônimo para embutido a seguir e implica que o furo atravessando a placa de montagem não fica maior próximo à superfície frontal 5 da placa de montagem, de modo que nenhum espaço é proporcionado em torno de uma parte frontal do sensor 1.

A figura 2 é uma representação esquemática de uma disposição compreendendo uma chave de proximidade indutiva 1, montada em uma

placa de montagem 2 de acordo com a figura 1, e uma placa de alvo 6, montada disposta na parte frontal da sua face de monitoramento 4. O sensor tem um circuito elétrico e um circuito magnético, que são representados separadamente. O circuito elétrico com a bobina do sensor 7 é mostrado como um diagrama de blocos, enquanto que o circuito magnético é representado pelas linhas de campo magnético 8 e diferentes corpos de material expostos ao campo magnético, isto é, um núcleo em vaso aberto 9 da bobina do sensor 9, uma luva do invólucro 3 circundando radialmente esse núcleo 9, a placa de montagem 2 e o alvo. Esses corpos são mostrados em vista seccional em um plano de corte pela parte intermediária da luva 3, que é cilíndrica e de seção transversal circular. O circuito elétrico e o circuito magnético são ligados pela bobina do sensor 7.

O circuito elétrico, também chamado circuito do sensor, compreende um oscilador RLC 10, cujo componente indutivo L é formado pela bobina do sensor 7 e pelo núcleo 9 dessa bobina. O núcleo 9 consiste em um material com uma permeabilidade magnética relativa maior do que 1, tipicamente, uma ferrita. O campo magnético da bobina do sensor gera correntes parasitas no alvo 6, e a perda de potência provocada por essas correntes parasitas representa uma carga que atenua crescentemente o oscilador 10, na medida em que a distância entre a face de monitoramento 4 e o alvo 6, que é referida como a distância alvo x, é reduzida.

O circuito do sensor compreende ainda um circuito de medida 11 e um circuito de saída 12. O circuito de medida 11 é projetado para medir a atenuação do oscilador, com base em uma quantidade elétrica que é uma função monotônica dessa atenuação. Dependendo do projeto eletrônico do oscilador, essa quantidade pode ser a amplitude do oscilador ou a corrente de saída de, por exemplo, um amplificador de realimentação do oscilador. O circuito de medida compreende uma unidade de transformação de sinal 14, que pode ser precedida por um retificador 13. A unidade de transformação de sinal 14 de um sensor de proximidade é um comparador, disposto para comparar a atenuação com um limiar de referência predeterminado, que é também chamado limiar operacional nesse contexto. Em oposição a isso, a

4 unidade de transformação de sinal 14 de um sensor de proximidade analógi-
co tem uma função de transferência projetada para gerar um sinal de saída
do circuito de medida, que é uma função linear da distância alvo x para valo-
res entre zero e a distância na qual a atenuação corresponde ao limiar de
5 referência.

O sinal de saída da unidade de transformação de sinal 14 é con-
dicionado pelo circuito de saída 12, para formar um sinal de saída do sensor,
que é disponibilizado no lado de fora do invólucro por meio de um conduto
de sinal.

10 A distância alvo x , na qual um alvo de tamanho padrão, como
definido acima, atenua o oscilador ao limiar de referência predeterminado,
define o alcance do sensor. O alcance de um sensor do tipo de comutação é
também chamado distância operacional.

A figura 3 mostra o gráfico da atenuação relativa do oscilador
15 Q_{rel} em função da distância alvo. O limiar de referência de um sensor de lon-
go alcance é acima da linha de 90%. Nesse ponto operacional, a curva é um
tanto plana, de modo que mesmo uma pequena atenuação provocada pela
placa de montagem tem um impacto significativo no alcance do sensor. Não
obstante, o projeto de um sensor de proximidade de longo alcance capaz de
20 ser embutido em uma placa de montagem metálica (usualmente, uma placa
de montagem de aço doce) é possível, porque a geometria e a resistividade
elétrica dos elementos condutores, que circundam radialmente o núcleo da
bobina do sensor, podem ser adaptadas de tal modo que o alcance do sen-
sor embutido na placa de montagem é alinhado com o alcance do sensor
25 não-embutido (o alcance do mesmo sensor sem a placa de montagem).

Quanto maior a precisão desse alinhamento, melhor é a capaci-
dade de embutimento do sensor. Para que um sensor de proximidade induti-
vo seja considerado capaz de ser embutido, o seu alcance no estado embu-
tido não deve diferir significativamente do seu alcance no estado não-
30 embutido. Uma diferença de mais de 30 por cento entre o primeiro e o último
é considerada significativa. De preferência, essa diferença não deve exceder
20 por cento e, particularmente, essa diferença não deve exceder 10 por

cento.

Um elemento condutor pode formar parte do invólucro ou ser disposto dentro dele. Usualmente, um dos elementos condutores circundando o núcleo da bobina do sensor é uma luva metálica 3 do invólucro. Outros
5 elementos podem incluir camadas metálicas aplicadas na superfície interna e/ou na superfície externa dessa luva, ou um ou mais elementos, que são interpostos radialmente entre o núcleo e a luva.

Os elementos circundando radialmente o núcleo são elementos que ficam do lado de fora do núcleo na direção radial e que ficam próximos
10 ao núcleo na direção axial, de modo que são expostos, pelo menos parcialmente, ao campo magnético da bobina do sensor no estado embutido e/ou não-embutido do sensor. Isso inclui elementos que, na direção axial, ficam parcial ou inteiramente em frente do núcleo, porque o núcleo dirige o campo magnético no sentido da extremidade frontal do invólucro. Ao contrário, a
15 geometria de uma parte posterior da luva 3, que não fica exposta ao campo magnético e não conduz correntes parasitas, não tem qualquer influência nas perdas de correntes parasitas na disposição sensor - alvo. É, portanto, suficiente se uma parte frontal da luva, representando um elemento metálico cilíndrico oco circundando o núcleo, for considerada como um elemento ele-
20 tricamente condutor circundando o núcleo. De uma maneira geral, alguma coisa situada atrás da extremidade posterior do núcleo na direção axial pode ser ignorada.

Todos os elementos condutores circundando o núcleo são radialmente mais finos do que a profundidade da crosta dos seus respectivos
25 materiais na frequência operacional do oscilador, de modo que não agem como uma blindagem. Se a espessura radial de um elemento condutor não for constante, essa regra se aplica para o ponto mais fino desse elemento. Por exemplo, a espessura de uma luva de invólucro rosqueada internamente é a sua espessura no ponto mais profundo da rosca nesse contexto.

30 A figura 4 mostra um sensor 1 embutido em uma placa de montagem 2. O invólucro do sensor consiste substancialmente em uma luva metálica cilíndrica 3 com uma rosca no seu lado externo. Uma extremidade

frontal da luva 3 é fechada por uma tampa de fechamento plástica 15. A face de monitoramento 4 na extremidade frontal do invólucro é a superfície externa do fundo 16 de uma tampa plástica 15, que forma uma parede frontal 16 do invólucro. A face de monitoramento 4 fica rente à extremidade frontal da luva 3. O núcleo em vaso aberto 9 da bobina do sensor 7 é disposto dentro da luva atrás da parede frontal 16, e o seu lado aberto é dirigido no sentido da face de monitoramento 4, de modo que o campo magnético da bobina do sensor 7 é dirigido no sentido do alvo 6, em frente da face de monitoramento 4. Nesse exemplo, o único elemento eletricamente condutor, circundando radialmente o núcleo 9, dentro do espaço delimitado pela superfície externa do invólucro é uma parte frontal da luva 3. Essa estrutura é usada para sensores de diferentes tamanhos, até pelo menos o diâmetro de luva M50.

Um método de adaptar adequadamente os elementos condutores por meio de simulações FEM vai ser apresentado a seguir. O alcance do sensor embutido é alinhado com o alcance do mesmo sensor no seu estado não-embutido, se, em uma disposição consistindo no sensor 1, um alvo 6 no alcance nominal do sensor S_n , em frente da sua face de monitoramento 4 e em uma placa de montagem 2, na qual o sensor está embutido (como mostrado, por exemplo, na figura 4), a placa de montagem 2 pode ser removida sem afetar a quantidade total de perdas de correntes parasitas. Para verificar se essa condição é satisfeita, as perdas de correntes parasitas na disposição são determinadas usando simulações FEM.

No modelo para a simulação dessa disposição, cada corpo no circuito magnético é especificado por sua geometria, permeabilidade e resistividade elétrica. O alvo padrão é uma placa de aço doce quadrada, que tem uma espessura de 1 mm e cujos lados medem três vezes o alcance nominal do sensor S_n . A especificação da geometria da luva pode ser limitada a uma parte frontal da luva e, de preferência, inclui a geometria exata da sua rosca, para obter resultados exatos. Outros parâmetros, que necessitam ser especificados para a simulação FEM, são o número de enrolamentos da bobina do sensor, a frequência operacional do oscilador e a intensidade de uma corrente de bobina (constante) ou uma voltagem de bobina e a resistência

da bobina.

Com base nesse modelo de simulação, a quantidade total de perdas de correntes parasitas na disposição é calculada numericamente por meio de simulação FEM. A simulação é conduzida para a disposição, incluindo a placa de montagem, e para a mesma disposição sem a placa de montagem, e a diferença na perda de corrente parasita total é determinada. Se essa diferença não for próxima a zero, uma propriedade de um elemento condutor, circundando o núcleo, é ligeiramente modificada na sua especificação no modelo de simulação, e a simulação é repetida para calcular de novo a diferença na perda de corrente parasita total entre as situações com e sem a placa de montagem. Uma vez que nesse exemplo a luva metálica é o único elemento condutor circundando o núcleo, a propriedade que é modificada incrementalmente é, de preferência, a sua resistividade elétrica. Observando-se a evolução dessa diferença, devido às variações incrementais feitas na resistividade da luva, essa resistividade pode ser ajustada a um valor no qual a diferença em perda de corrente parasita total com e sem a placa de montagem é próxima de zero.

Esse é o caso quando a perda de corrente parasita total é igual com ou sem a placa de montagem. No circuito elétrico, a perda de corrente parasita total pode ser representada como uma resistência equivalente no circuito equivalente paralelo da bobina do sensor. Desse ponto de vista, a resistividade do metal da luva é adaptada de tal modo que a resistência equivalente percebida pela bobina nas disposições com e sem a placa de montagem é igual.

A figura 5 mostra uma representação gráfica de valores das perdas de correntes parasitas P_{tot} , calculadas para uma disposição de acordo com a figura 4, com um sensor de tamanho M8 tendo um alcance nominal S_n de 3 mm, para diferentes valores da resistividade elétrica ρ_s da luva 3 do invólucro. Os pontos pretos representam os valores para o estado não-embutido (sem a placa de montagem) e os círculos abertos representam os valores para o estado embutido (com a placa de montagem) do sensor. A perda de potência no núcleo é considerada como sendo constante e peque-

na, de modo que representa meramente um deslocamento, que foi omitido para simplificar o cálculo. Há uma interseção nos gráficos representando as perdas de correntes parasitas totais com e sem a placa de montagem. No ponto dessa interseção, o metal da luva tem uma resistividade elétrica de 18 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. Se um metal com essa resistividade for usado para formar a luva de um sensor, como especificado no modelo usado para a simulação, o seu alcance, quando embutido em uma placa de montagem de aço doce, é perfeitamente alinhado com o seu alcance no estado não-embutido.

Esse método de projetar um sensor de proximidade, para embutimento em uma placa de montagem metálica, provou ser particularmente útil para o projeto de sensores de longo alcance, que são caracterizados por um limiar de referência igual ou inferior a 10 por cento, ou por um alcance nominal excedendo o alcance mínimo na fórmula (3) acima.

Uma vez que o metal da luva precisa ser selecionado para sua resistividade elétrica, esse metal pode não ser de inércia química suficiente para algumas aplicações, e um revestimento da superfície externa da luva com um metal diferente, tal como cromo, pode ser necessário. Esse revestimento representa um elemento adicional de material condutor circundando o núcleo, que precisa ser especificado no modelo de simulação FEM para a determinação da resistividade necessária da luva.

Se a parte frontal de uma luva de invólucro for o único elemento condutor, circundando o núcleo de um sensor, além de um revestimento protetor de um material adequado, tal como cromo, que pode ser aplicado à superfície externa da luva, a resistividade do metal da luva não-ferromagnético, necessária para alinhamento das perdas de correntes parasitas totais, com e sem a placa de montagem, fica em uma faixa entre 15 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ e 50 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$. Um metal desse tipo típico é uma liga contendo cobre, níquel e zinco.

Esses, bem como outros valores de resistividade indicados neste documento, se referem ao respectivo material a uma temperatura de 20°C.

A figura 6 mostra a parte frontal de outra concretização de um

sensor de proximidade indutivo. A bobina do sensor 7, o seu núcleo 9 e a geometria do invólucro compreendendo a luva metálica 3 são idênticos àqueles do sensor mostrado na figura 4, com a exceção de que um revestimento 18 é aplicado à superfície interna da luva, em uma parte frontal do mesmo. A luva 3' consiste em um metal não-ferromagnético, com uma resistividade elétrica que é mais alta do que o valor determinado para uma perfeita capacidade de embutimento do sensor, de acordo com o método descrito com referência às figuras 4 e 5 acima. Uma luva feita de aço inoxidável é preferivelmente usada para sua inércia química. A resistividade elétrica excessiva da luva pode ser compensada por aplicação do revestimento 18, que consiste, de preferência, também em um metal não-ferromagnético, cuja resistividade é mais baixa do que aquela do metal da luva.

Dependendo do material, geometria e disposição exata do revestimento 18, a diferença entre os alcances do sensor, nos estados embutido e não-embutido, é positiva ou negativa, e há exatamente uma espessura de revestimento na qual essa diferença é zero. A simulação FEM pode ser usada como explicado com referência à figura 4 acima, para determinar essa espessura. Nesse caso, as propriedades, que são preferivelmente alteradas entre os ciclos de simulação individuais, são as propriedades do revestimento 18, isto é, a sua espessura ou a sua resistividade elétrica.

Independentemente do material da luva, uma espessura de revestimento de $40\text{ }\mu\text{m}$ é considerada como sendo um máximo para sensores de qualquer tamanho usual, até pelo menos M50, se a resistividade elétrica do revestimento estiver abaixo de $15\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$. De um modo geral, quanto mais fino for o revestimento, mais baixa é a resistividade elétrica que o material precisa estar, para alinhar os alcances do sensor nos seus estados embutido e não-embutido. Uma espessura de revestimento de $30\text{ }\mu\text{m}$ é considerada como sendo uma máxima, se a resistividade elétrica do material do revestimento estiver abaixo de $10\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$ (exemplo: latão) e uma espessura de revestimento de $20\text{ }\mu\text{m}$ é considerada como sendo uma máxima, se a resistividade elétrica do material do revestimento estiver abaixo de $5\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$ (exemplos: cobre, alumínio, ouro). A espessura efetiva do revestimento me-

tálico é abaixo dos valores máximos aplicáveis e não precisa ser determinada com base nas particularidades do respectivo sensor, de preferência, de acordo com o método descrito com referência à figura 4 acima.

Não é significativo que as abordagens para a otimização da capacidade de embutimento de um sensor de proximidade, de acordo com os exemplos da figura 4 (sem o revestimento metálico 18) e da figura 6 (com o revestimento metálico 18), sejam baseadas no mesmo princípio físico: os elementos eletricamente condutores circundando o núcleo da bobina do sensor são ajustados de modo que a quantidade total de perdas de correntes parasitas, distribuídas no meio do alvo, placa de montagem e elementos condutores do invólucro do sensor, no estado montado, é igual às perdas de correntes parasitas incorridas sem a placa de montagem no estado não-embutido. Em particular, o revestimento metálico 18 não tem a função de uma blindagem. De fato, um revestimento metálico blindando efetivamente a placa de montagem da bobina do sensor e do núcleo não pode agir como um meio para ajustar a distribuição de perdas de correntes parasitas, de acordo com a invenção. Portanto, a espessura do revestimento metálico 18 é preferivelmente inferior à metade da profundidade da crosta do material de revestimento na frequência operacional do oscilador, e, particularmente, inferior a 30% dessa profundidade de crosta. Como mencionado antes, essa frequência operacional é preferivelmente acima de 50 kHz, para garantir uma distância operacional suficientemente longa do sensor.

A figura 7 mostra a parte frontal de um sensor, que é similar àquela mostrada na figura 6. A diferença básica é que o revestimento metálico 18 não é aplicado à superfície interna da luva, mas, em vez disso, à superfície interna de uma parede circunferencial 17 da tampa plástica 15, que se estende para um vão entre a luva 3 e o núcleo 9. Outra diferença é que a tampa plástica 15 se projeta ligeiramente sobre a extremidade frontal da luva metálica 3.

Muitas variações e modificações são possíveis dentro dos espíritos e âmbito da invenção.

Em vez do revestimento 18, 18", um filme metálico fino pode ser

usado.

O revestimento 18, 18", ou filme, pode ser disposto em outras posições, de preferência, em algum lugar entre o núcleo e a luva, incluindo as possibilidades de dispor o revestimento ou filme na superfície interna da luva (como mostrado na figura 6), ou em uma superfície radialmente externa do núcleo.

A superfície na qual o revestimento ou filme (a camada metálica fina) é aplicado é, de preferência, substancialmente cilíndrica, mas desvios da forma cilíndrica, tal como uma superfície portadora em forma de cone, resultando em uma forma cônica de um revestimento metálico depositado nessa superfície, são também possíveis.

Em vez do núcleo em forma de vaso, um núcleo em forma de E ou um núcleo em forma de U pode ser usado. Um aspecto comum dessas formas de núcleo é que são abertos em um lado, de modo que direcionam o campo magnético da bobina do sensor basicamente em uma direção.

Nas concretizações de acordo com a figura 4 ou 6, a tampa 15 pode ser prescindida, e uma resina sintética pode ser usada para fechar a luva 3 na sua extremidade frontal. Nesse caso, uma camada de resina cobrindo o núcleo forma a parede frontal do invólucro.

Em vez de uma luva rosqueada 3, uma luva metálica com uma superfície externa lisa pode ser usada. A forma da seção transversal da luva metálica 3 não é necessariamente circular. Por exemplo, uma luva metálica ou forma externa quadrada - cilíndrica pode ser usada.

Finalmente, um invólucro sintético pode ser usado em vez da luva metálica 3. Nesse caso, o núcleo 9 é circundando por um elemento metálico cilíndrico oco, disposto dentro do invólucro sintético, perpendicular à face de monitoramento 4. Um elemento metálico em forma anular é suficiente para a finalidade da invenção, e esse elemento metálico pode ser combinado com uma camada metálica do mesmo modo como descrito para o elemento metálico em forma de luva, com referência à figura 6.

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor de proximidade indutivo (1) para embutimento em uma placa de montagem metálica (2), compreendendo um invólucro com uma parede frontal (16) de material sintético, formando uma face de monitoramento (4) em uma extremidade frontal do invólucro, um oscilador (10) compreendendo uma bobina do sensor (7) com um núcleo (9), consistindo em um material com uma permeabilidade magnética relativa maior do que 1, tipicamente uma ferrita, que é disposto dentro do invólucro atrás da parede frontal (16), de modo que um lado aberto do núcleo (9) é dirigido no sentido da face de monitoramento (4), para direcionar o campo magnético da bobina no sentido de um alvo (6), em frente da face de monitoramento (4), um elemento metálico cilíndrico oco disposto perpendicular à face de monitoramento (4) e circundando o núcleo (9), e um circuito de medida (11) para medir uma atenuação do oscilador (10), devido às correntes parasitas, caracterizado pelo fato de que o núcleo (9) é circundado radialmente por uma camada metálica (18, 18''), com uma resistividade elétrica inferior a $15 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ e com uma espessura inferior a $40 \mu\text{m}$.

2. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a camada (18, 18'') consiste em metal não-ferromagnético.

3. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a camada (18, 18'') é disposta entre o elemento metálico e o núcleo.

4. Sensor de proximidade de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o elemento metálico é uma luva metálica (3) e o núcleo (9) é disposto dentro dessa luva (3).

5. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a parede frontal é o fundo (16) de uma tampa do invólucro (15), uma parede circunferencial (17) da tampa (15) se estende para um vão entre a luva (3', 3'') e o núcleo (9), e a camada (18'') é disposta na superfície interna dessa parede (17).

6. Sensor de proximidade de acordo com qualquer uma das rei-

vindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que a camada (18, 18") é um revestimento metálico.

5 7. Sensor de proximidade de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que a espessura da camada (18, 18") é inferior à metade da profundidade da crosta do material da camada, na frequência operacional do oscilador (10), e, de preferência, inferior a 30% dessa profundidade da crosta.

10 8. Sensor de proximidade de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o circuito de medida (11) é disposto para mudar um sinal de saída do circuito do sensor, tão logo a atenuação exceda um limiar de referência predeterminado correspondente a uma atenuação de 0,1 (10 por cento) ou menos.

15 9. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que a espessura da camada metálica (18, 18") é adaptada de modo que, para um alvo de aço doce (6), a distância entre a face de monitoramento (4) e o alvo (6), na qual a atenuação provocada por correntes parasitas corresponde ao limiar de referência no estado embutido do sensor, difere da mesma distância no estado não-embutido do sensor por 30 por cento no máximo e, de preferência, por 20 por cento no máximo.

20 10. Sensor de proximidade indutivo (1) para embutimento em uma placa de montagem metálica (2), compreendendo um invólucro com uma parede frontal (16) de material sintético, formando uma face de monitoramento (4) em uma extremidade frontal do invólucro, um oscilador (10) compreendendo uma bobina do sensor (7) com um núcleo (9), consistindo
25 em um material com uma permeabilidade magnética relativa maior do que 1, tipicamente uma ferrita, que é disposta dentro do invólucro atrás da parede frontal (16), de modo que um lado aberto do núcleo (9) é dirigido no sentido da face de monitoramento (4), para direcionar o campo magnético da bobina no sentido de um alvo (6), em frente da face de monitoramento (4), um elemento metálico cilíndrico oco disposto perpendicular à face de monitoramen-
30 to (4) e circundando o núcleo (9), e um circuito de medida (11) para medir uma atenuação do oscilador (10), devido às correntes parasitas, caracteriza-

do pelo fato de que o elemento metálico (3) consiste em um metal não-ferromagnético, com uma resistividade elétrica de $15 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ a $50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$.

11. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o elemento metálico é uma luva metálica (3) e o núcleo (9) é disposto dentro dessa luva (3).

12. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 10 ou 11, caracterizado pelo fato de que o circuito de medida (11) é disposto para mudar um sinal de saída do circuito do sensor, tão logo a atenuação exceda um limiar de referência predeterminado correspondente a uma atenuação de 10 por cento ou menos.

13. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a resistividade elétrica da parte da luva, circundando o núcleo (9), é adaptada de modo que, para um alvo de aço doce (6), a distância entre a face de monitoramento (4) e o alvo (6), na qual a atenuação provocada por correntes parasitas corresponde ao limiar de referência no estado embutido do sensor, difere da mesma distância no estado não-embutido do sensor por 30 por cento no máximo e, de preferência, por 20 por cento no máximo.

14. Método para projetar um sensor de proximidade, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que, em uma disposição compreendendo o sensor (1) e um alvo de aço doce (6), disposto a uma distância fixa em frente da face de monitoramento (4) do mesmo, a atenuação do oscilador (10) é determinada no estado embutido do sensor (1) e no estado não-embutido do sensor (1), e se a atenuação determinada não for a mesma em ambos os estados, então a espessura da camada metálica (18, 18'') é ajustada por um incremento, e essas etapas são repetidas uma ou mais vezes para determinar uma espessura da camada (18, 18''), na qual a atenuação no estado embutido é substancialmente igual à atenuação no estado não-embutido.

15. Método para projetar um sensor de proximidade, como definido em qualquer uma das reivindicações 10 a 13, caracterizado pelo fato de que, em uma disposição compreendendo o sensor (1) e um alvo de aço do-

- ce (6), disposto a uma distância fixa em frente da face de monitoramento (4) do mesmo, a atenuação do oscilador (10) é determinada no estado embutido do sensor (1) e no estado não-embutido do sensor (1), e se a atenuação determinada não for a mesma em ambos os estados, então a resistividade elétrica do elemento metálico, circundando o núcleo (9), é ajustada por um incremento, e essas etapas são repetidas uma ou mais vezes para determinar uma resistividade elétrica do dito elemento metálico, na qual a atenuação no estado embutido é substancialmente igual à atenuação no estado não-embutido.
- 5

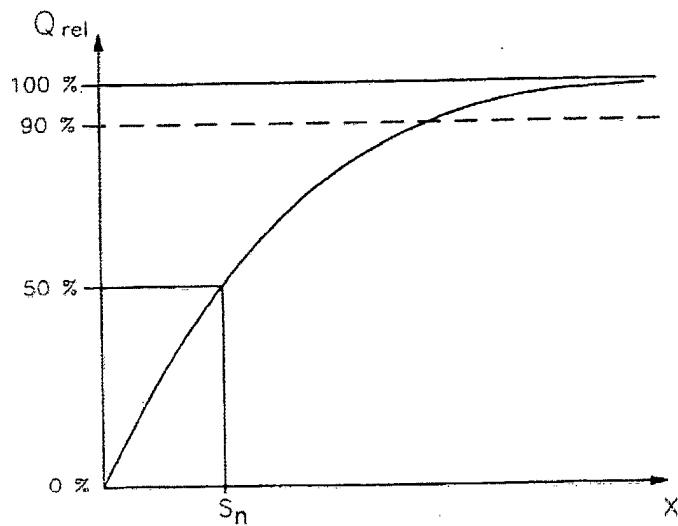
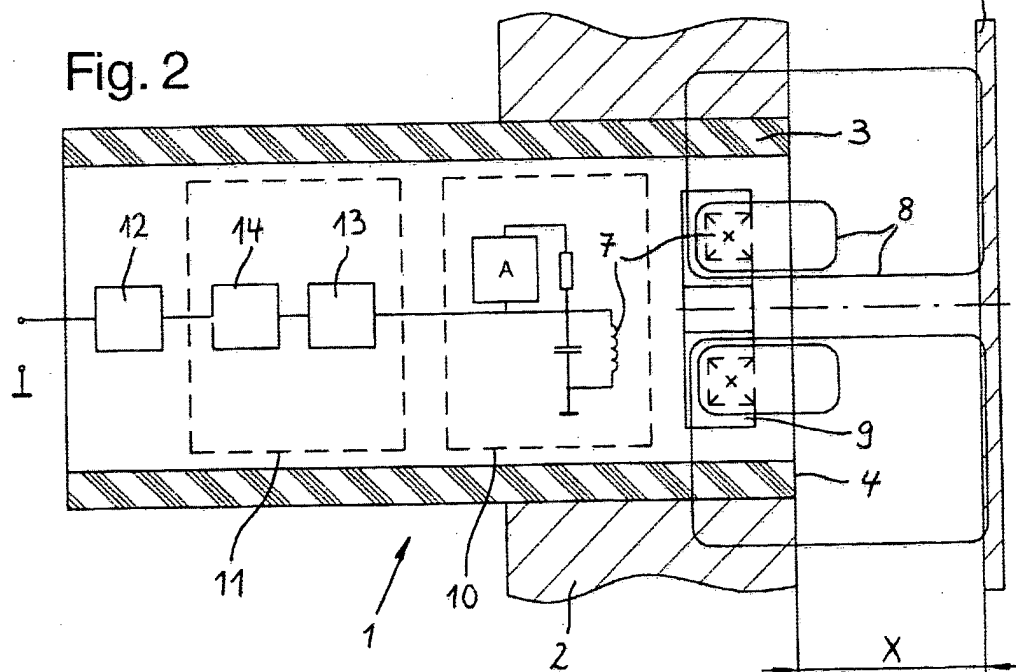
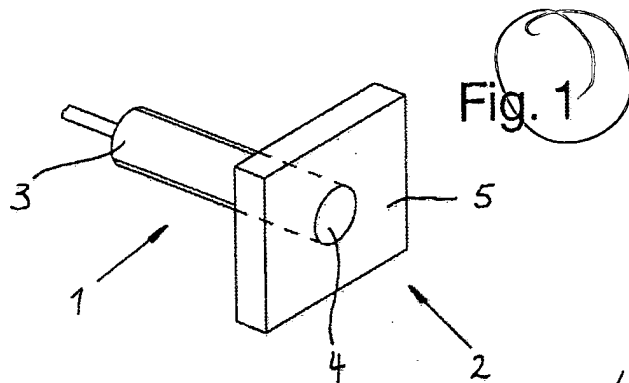


Fig. 3

Fig. 4

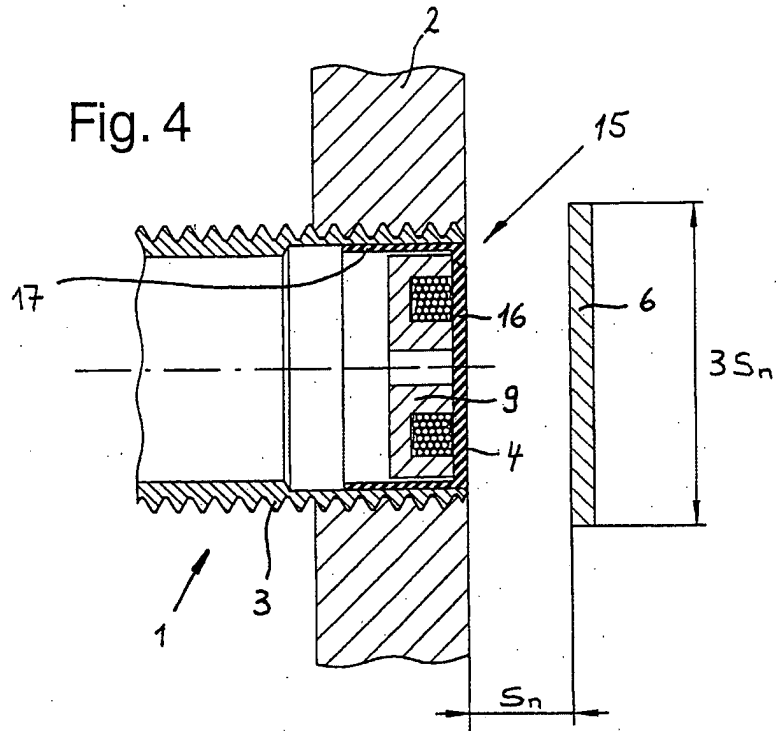


Fig. 5

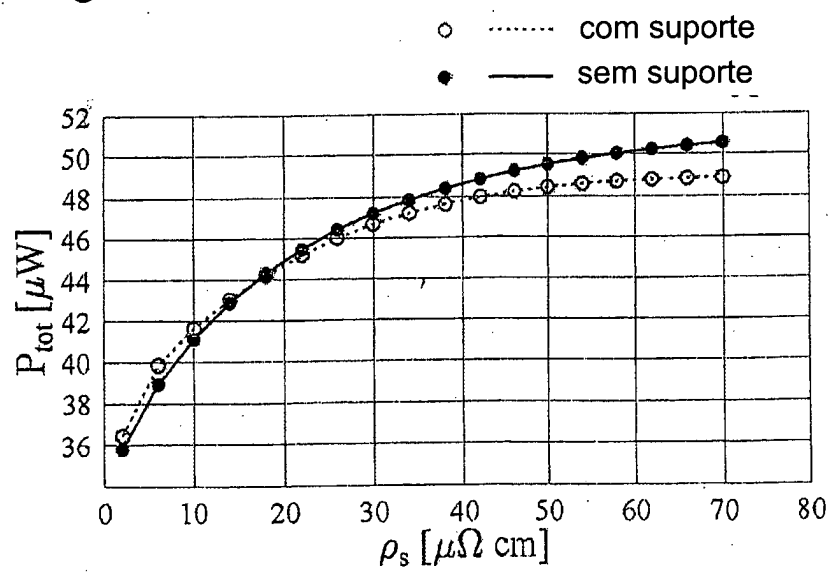


Fig. 6

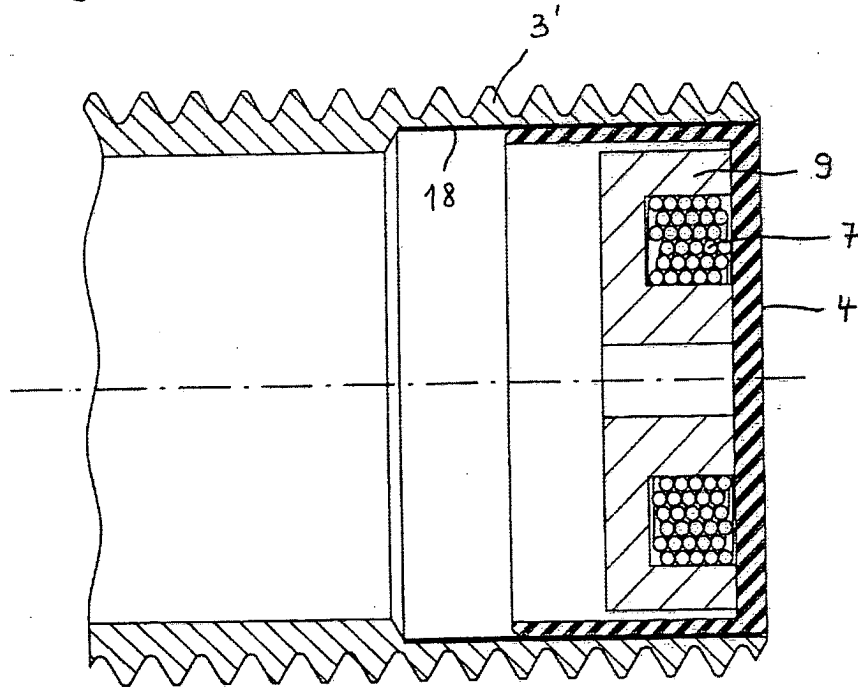
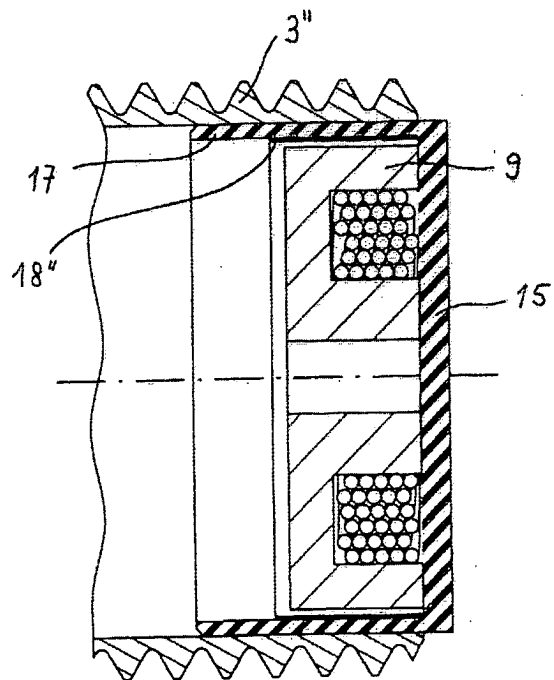


Fig. 7



RESUMO

Patente de Invenção: **"SENSOR DE PROXIMIDADE INDUTIVO PARA MONTAGEM EMBUTIDA E MÉTODO PARA PROJETAR O MESMO"**.

A presente invenção refere-se a um sensor de proximidade indutivo para embutimento em uma placa de montagem de aço doce (2), compreendendo um invólucro com uma parede frontal (16) de material sintético, formando uma face de monitoramento (4) em uma extremidade frontal do invólucro, um oscilador (10) compreendendo uma bobina do sensor (7) com um núcleo (9), feito de um material com uma permeabilidade magnética relativa maior do que 1, tipicamente uma ferrita, que é disposto dentro do invólucro atrás da parede frontal, de modo que um lado aberto do núcleo (9) é dirigido no sentido da face de monitoramento (4), para direcionar o campo magnético da bobina no sentido de um alvo (6), em frente da face de monitoramento (4), um elemento metálico cilíndrico oco (3) disposto perpendicular à face de monitoramento (4) e circundando o núcleo (9), e um circuito de medida (11) para medir uma atenuação do oscilador (10), devido às correntes parasitas. O núcleo (9) é circundado radialmente por uma camada metálica com uma baixa resistividade elétrica inferior a $15 \mu\Omega.\text{cm}$ e com uma espessura inferior a $40 \mu\text{m}$, para aperfeiçoar a capacidade de embutimento do sensor. Alternativamente, essa camada metálica fina pode ser omitida, se a resistividade elétrica do elemento metálico (3) for ajustada a um valor na faixa de $15 \mu\Omega.\text{cm}$ a $50 \mu\Omega.\text{cm}$.