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

(21) BR 102016009261-2 A2

(22) Data do Depósito: 26/04/2016

(43) Data da Publicação: 22/11/2016

(54) Título: SENSOR DE PROXIMIDADE, SISTEMA DE SENSOR DE PROXIMIDADE, E, MÉTODO PARA DETERMINAR PROXIMIDADE

(51) Int. Cl.: G01D 5/241; G08C 17/04

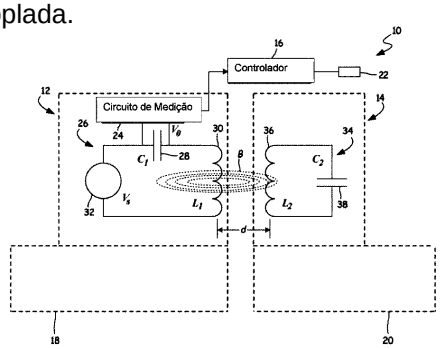
(30) Prioridade Unionista: 20/05/2015 US 14/717,460

(73) Titular(es): SIMMONDS PRECISION PRODUCTS, INC.

(72) Inventor(es): SCOTT FUSARE, Engenheiro, arquiteto e afins

(74) Procurador(es): KASZNAR LEONARDOS PROPRIEDADE INTELECTUAL

(57) Resumo: Um sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro. O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.



"SENSOR DE PROXIMIDADE, SISTEMA DE SENSOR DE PROXIMIDADE, E, MÉTODO PARA DETERMINAR PROXIMIDADE"

FUNDAMENTOS

[001] Dispositivos de detecção de proximidade são dispositivos que produzem uma saída com base na distância entre dois ou mais sensores ou objetos. Os sensores de proximidade, tipicamente contêm circuitos eléctricos que possuem uma porção de detecção de distância eléctrica, mecânica, ou óptica. Sensores eletromecânicos são muitas vezes utilizados para estabelecer contato entre dois objetos, tais como um interruptor de fim, e sensores elétricos são frequentemente usados quando uma medição de distância é desejada. Sensores de proximidade elétricos comumente incluem sensores de indução, que dependem de propriedades elétricas únicas de circuitos de indução para detectar a proximidade de um objeto alvo.

[002] Sensores de proximidade são predominantes em diversas indústrias, tais como de gestão de processos, automotivas e de aviação. Suas aplicações abrangem uma ampla variedade, de controle de tráfego a controle de ligação de atuação. Por exemplo, dispositivos de detecção de proximidade são uma parte integrante e indispensável de uma aeronave moderna. Conhecimento de que uma superfície móvel atingiu um local específico em sua viagem pode promover o funcionamento adequado e seguro dos vários sistemas da aeronave.

SUMÁRIO

[003] Numa modalidade, um sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor

e do segundo indutor um em relação ao outro . O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

[004] Em outra modalidade, um sistema de sensor de proximidade inclui um sensor de proximidade e um controlador. O sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro . O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada. O controlador está ligado ao circuito de medição para controlar um componente de sistema com base na saída de distância medida.

[005] Numa outra modalidade, um método de detecção de proximidade inclui a alimentação de um sensor ativo, a medição de uma resposta de frequência ressonante acoplada, e produzir uma saída de distância medida com base na resposta eléctrica. O sensor ativo é alimentado, o que inclui um circuito tanque ressonante ativo, e está magneticamente acoplado a um circuito tanque ressonante passivo de um alvo passivo. O acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo varia em função do deslocamento físico entre os circuitos ressonantes tanque ativos e passivos em relação um ao outro. Uma resposta de frequência ressonante acoplada é medida no circuito ativo, que é uma função do acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o

circuito tanque ressonante passivo. A saída de distância medida é produzida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[006] FIG. 1 é uma vista esquemática de um sistema de sensor de proximidade.

[007] FIG. 2 é um gráfico que ilustra a resposta de frequência versus o acoplamento magnético de um ressonador acoplado do sistema sensor de proximidade da FIG. 1.

[008] FIGS. 3A-3D são gráficos que ilustram a resposta no domínio de tempo versus o acoplamento magnético de um ressonador acoplado do sistema do sensor de proximidade da FIG. 1.

[009] FIG. 4 é uma vista esquemática de uma outra modalidade de um sistema de sensor de proximidade.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0010] FIG. 1 é uma vista esquemática do sistema de sensor de proximidade 10, que inclui o sensor ativo 12, alvo passivo 14, o controlador 16, primeira estrutura 18, segunda estrutura 20, e os componentes do sistema 22. O sensor ativo 12 inclui circuito de medição 24 e circuito tanque ressonante ativo 26. O circuito tanque ressonante ativo 26 inclui capacitor 28, indutor 30, e fonte de excitação 32. O alvo passivo 14 inclui circuito tanque ressonante passivo 34, o qual inclui indutor 36 e capacitador 38. Também mostrado na FIG. 1 são distância d, capacitância C_1, capacitância C_2, indutância L_1, indutância L_2, Voltagem de sinal de propulsor V_s, Voltagem de saída do sensor V_o, e campo magnético B.

[0011] Sensor ativo 12 está fisicamente conectado a primeira estrutura 18 por solda, rebites, parafusos, co-moldagem, ou outro meio de fixação. Além disso, o sensor ativo 12 pode estar dentro de um invólucro (não mostrado) o qual pode, então, estar fixado na primeira estrutura 18. Da mesma forma, alvo passivo 14 está fisicamente conectado a segunda estrutura

20 por solda, rebites, parafusos, co-moldagem, ou outro meio de fixação. Além disso, alvo passivo 14 pode estar dentro de um invólucro (não mostrado) que pode então estar fixado na segunda estrutura 20. Sensor ativo 12 e alvo passivo 14 são fixados a primeira estrutura 18 e segunda estrutura 20, respectivamente. No entanto, o sensor ativo 12 e o alvo passivo 14 podem mover-se relativamente um ao outro, da mesma forma que a primeira estrutura 18 e a segunda estrutura 20 podem mover-se em relação uma a outra. Distância *d* representa a distância física entre o indutor 30 e o indutor 36. Porque o indutor 30 é um componente do sensor ativo 12, que está ligado à primeira estrutura 18, a distância *d* entre indutores 30 e 36 podem ser facilmente correlacionada com outras distâncias, tal como uma distância entre o sensor ativo 12 e alvo passivo 14, e seus respectivos componentes. Num exemplo, a primeira estrutura 18 e a segunda estrutura 20 podem estar ligadas uma a outra, mas ainda livres para moverem-se em relação uma à outra, por exemplo, como partes de um conjunto de ligação.

[0012] Circuito de medição 24 pode ser fisicamente ligado a primeira estrutura 18 por solda, rebites, parafusos, co-moldagem, ou outro meio de fixação. Além disso, a medição 24 pode estar numa placa de circuito impresso comum com sensor ativo 12 ou pode de outro modo estar integrada no sensor ativo 12. Por exemplo, o circuito de medição 24 e circuito tanque ressonante ativo 26 pode estar dentro de um invólucro comum dentro do sensor ativo 12. Controlador 16 pode ser montado na primeira estrutura 18 ou na segunda estrutura 20; no entanto, em muitos exemplos, o controlador 16 pode ser montado fisicamente remotamente da primeira estrutura 18 e da segunda estrutura 20.

[0013] Capacitor 28 do circuito tanque ressonante ativo 26 é eletricamente ligado em série com o indutor 30 e com a fonte de excitação 32. Capacitor 28 tem uma capacitância C_1, e o indutor 30 tem uma indutância L_1. Fonte de excitação 32 produz uma voltagem de sinal de propulsor *V*s.

[0014] Capacitor 38 do circuito tanque ressonante passivo 34 está conectado com indutor 36 em paralelo. O condensador 38 tem uma capacitância C_2e indutor 36 tem uma indutância L_2. Capacitores 28 e 38 podem ser um capacitor de cerâmica, capacitor de filme, ou qualquer tipo de capacitor capaz de armazenar energia elétrica e ter suficiente fator de qualidade Q para operar eficazmente em um circuito ressonante. Indutores de 30 e 36 podem ser um indutor ferromagnético, um indutor de núcleo de ar, ou qualquer outro tipo de indutor que tem suficiente fator de qualidade Q para operar eficazmente num circuito ressonante. Fonte de excitação 32 pode ser uma corrente alternada (CA) de fonte de alimentação para a produção de um pulso de corrente ou de excitação.

[0015] Circuito tanque ressonante ativo 26 e os seus componentes criam um circuito em série ressonador ativo, também conhecido como um circuito tanque, ou circuito ressonante, ou circuito sintonizado. Circuito tanque ressonante passivo 34 e seus componentes criam um circuito ressonante paralelo passivo, também conhecido como um circuito tanque, circuito ressonante, ou circuito sintonizado.

[0016] Circuito de medição 24 está ligado ao circuito tanque ressonante ativo 26 através do capacitor 28. Circuito de medição 24 mede a voltagem de saída do sensor V_o. Circuito de medição 24 também é ligado eletricamente ao controlador 16, que adicionalmente liga-se eletricamente aos componentes do sistema 22. Os componentes de sistema 22 podem ser qualquer componente de sistema capaz de ser movido ou articulado. Por exemplo, a primeira estrutura 18 e a segunda estrutura 20 podem ser componentes do sistema 22.

[0017] Na operação de uma modalidade, a fonte de excitação 32 envia uma corrente ao capacitor 28, o qual armazena carga e, finalmente, descarrega a corrente para o indutor 30. O indutor 30, em resposta, cria o campo magnético B, que oscila em resposta à corrente alternada. Fonte de excitação

32 fornece energia contínua para o circuito tanque ressonante ativo 26 criando oscilações contínuas de campo magnético *B* na frequência natural de circuito tanque ressonante ativo 26, criando ressonância.

[0018] Circuito tanque ressonante passivo 34 é sintonizado para a mesma, ou semelhante, frequência de ressonância do circuito ativo 32, onde o produto do capacitor 28 e indutor 30 pode ser aproximadamente igual ao produto do capacitor 38 e indutor 36. Quando o circuito tanque ressonante passivo 34 está dentro do alcance do campo magnético *B*, circuito tanque ressonante passivo 34 e circuito tanque ressonante ativo 26 tornam-se magneticamente acoplados. Quando acoplado, campo magnético *B* vai induzir uma corrente através do indutor 36, que fluirá no circuito tanque ressonante passivo 34. Em resposta a este fluxo de corrente, a lei de Lenz dita que indutor 36 vai produzir um campo magnético numa direção oposta àquela criada pelo indutor 30. A resposta do campo magnético pelo indutor 36 é recebida pelo indutor 30 do circuito tanque ressonante ativo 26. A carga refletida pode criar uma resposta de frequência de ressonância acoplado f_{c1}, ou uma resposta elétrica, no circuito tanque ressonante ativo 26.

[0019] A resposta elétrica no circuito tanque ressonante ativo 26 é detectável através da medição e análise da corrente ou voltagem que passa por um componente do circuito tanque ressonante ativo 26. Em um exemplo, circuito de medição de 24 mede a voltagem que passa através do capacitor 28 para observar respostas de frequência de ressonância acopladas f_{c1} e f_{c2} através do circuito tanque ressonante ativo 26. Em outras modalidades, o circuito de medição 24 pode medir a tensão através de qualquer componente do circuito tanque ressonante ativo 26. Circuito de medição 24 pode incluir um oscilador, desmodulador, e outros componentes para obter uma medida precisa da resposta de frequência de ressonância acoplada f_{c1} e f_{c2}.

[0020] Em projetos de circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34, uma resposta única, facilmente detectável pode

ser observada através da medição da resposta de frequência de ressonância acoplada f_{c1}; no entanto, para que a resposta seja única, facilmente detectável, e útil como um sensor de proximidade, algumas condições podem ser satisfeitas. A primeira condição é que um fator de qualidade de circuito Q seja maior do que 1 para ambos os circuitos, ou:

$$Q_1 > 1 \text{ e } Q_2 > 1 \qquad \text{(Eq. 1A.)}$$

Onde Q_1 é o fator de qualidade do circuito tanque ressonante ativo 26 e Q_2 é o fator de qualidade do circuito tanque ressonante passivo 34. No entanto, prefere-se que fatores de qualidade Q_1 e Q_2 sejam muito maiores do que um (em muitas modalidades, pelo menos uma ordem de grandeza, ou seja, dez vezes maior), ou:

$$Q_1 >> 1 \text{ e } Q_2 >> 1 \qquad \text{(Eq. 1B).}$$

O fator de qualidade do circuito tanque ressonante ativo 26 é dado pela equação

$$Q_1 = \frac{1}{R_1} * \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \qquad \text{(Eq. 2A).}$$

Onde R_1 é a resistência do circuito de tanque ressonante ativo 26. O fator de qualidade do circuito tanque ressonante ativo 34 é dado pela equação

$$Q_2 = R_2 * \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} \qquad \text{(Eq. 2B).}$$

Onde R_2 é a resistência do circuito de tanque ressonante passivo 34. Em algumas modalidades, R_1 e R_2 podem ser apenas a resistência parasitária dos seus respectivos circuitos, porque o não circuito contém nenhum componente resistor adicionado, tal como é desejado para manter um elevado fator de qualidade em cada circuito.

[0021] A segunda condição que pode ser satisfeita é que as frequências de ressonância ou ambos os circuitos f_{R1} e de f_{R2} podem ser aproximadamente iguais. A frequência de ressonância de cada circuito é determinada pelas equações:

$$f_{R1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 * C_1}} \quad \text{(Eq. 3A).}$$

$$f_{R2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 * C_2}} \quad \text{(Eq. 3B).}$$

[0022] Porque a frequência de ressonância de cada circuito é dependente principalmente na indutância e capacitância doscircuitos, especialmente em algumas modalidades, quando os fatores de qualidade Q_1 e Q_2 são muito maiores do que um, o produto da indutância e capacitância de cada circuito deve ser aproximadamente igual a do outro circuito, ou:

$$L_1 * C_1 \approx L_2 * C_2 \quad \text{(Eq. 4)}$$

[0023] A terceira condição que pode ser satisfeita é de que um coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e o circuito de tanque ressonante passivo 34 pode ser maior do que o coeficiente de acoplamento crítico k_c entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34. O coeficiente de acoplamento k é o coeficiente de acoplamento magnético entre os circuitos, a qual varia de zero a um, ou $0 \leq k \leq 1$, e é definido pela

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 * L_2}} \quad \text{(Eq. 5)}$$

Onde M é a indutância mútua de indutores L_1 e L_2 ou indutores 30 e 36. A indutância mútua M de indutores 30 e 36 se correlaciona diretamente e varia com a distância d.

[0024] O coeficiente de acoplamento crítico k_c entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é dado como

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 * Q_2}} \quad \text{(Eq. 6)}$$

[0025] Por conseguinte, a terceira condição pode tornar-se

$$\frac{M}{\sqrt{L_1 * L_2}} > \frac{1}{\sqrt{Q_1 * Q_2}} \quad \text{(Eq. 7)}$$

[0026] Numa modalidade exemplar, as respostas de frequência de ressonância acoplada f_{c1} e f_{c2} do circuito tanque ressonante ativo 26 e do circuito de tanque ressonante passivo 34 podem ser determinadas pelas equações

$$f_{c1} = \frac{f_{R1}}{\sqrt{1+k}} \quad \text{(Eq. 8A).}$$

$$f_{c2} = \frac{f_{R2}}{\sqrt{1-k}} \quad \text{(Eq. 8A).}$$

[0027] Aqui, as respostas de frequência de ressonância acopladas f_{c1} e f_{c2} do circuito tanque ressonante ativo 26 e do circuito tanque ressonante passivo 34, respectivamente, são dependentes apenas das frequências de ressonância desacopladas f_{R1} e f_{R2}, respectivamente, e o coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34. Porque a frequência de ressonância desacoplada será corrigida pela indutância L e capacitância C de cada circuito, a resposta de frequência de ressonância acoplada f_{c1} e f_{c2} são primariamente dependentes do coeficiente de acoplamento k. Por exemplo, a resposta de frequência ressonante acoplada f_{c1} do circuito tanque ressonante ativo 26 é principalmente dependente do coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34. O coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é dado pela Equação 5 acima, onde M é a indutância mútua de indutores L_1 e L_2 ou indutores 30 e 36. A indutância mútua M dos indutores 30 e 36 é primariamente dependente da distância d, a distância entre indutores 30 e 36. Isto significa que o coeficiente de acoplamento k é primariamente dependente da distância d, e que as respostas de frequência de ressonância acopladas f_{c1} e f_{c2} são, então, primariamente dependentes da distância d. Portanto, com circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 satisfazendo as condições exemplares, a resposta elétrica, ou a resposta de frequência de ressonância acoplada f_{c1}no circuito tanque ressonante ativo 26 é causada por uma interação com o circuito tanque ressonante passivo 34 e torna-se uma função primariamente dependente da distância d entre indutores 30 e 36.

[0028] Assim, a resposta de frequência ressonante acoplada f_{c1}, ou resposta eléctrica, pode ser medida pelo circuito de medição 24 e

transformadas em uma saída de distância medida para ser usada pelo, por exemplo, controlador 16. Essencialmente, o circuito tanque ressonante ativo 26 e o circuito de tanque ressonante passivo 34 são para serem usados para detectar a proximidade ou distância. Além disso, com dados físicos suficientes sobre sensor ativo 12 e os seus componentes e alvo passivo 14 e os seus componentes, a resposta eléctrica pode ser correlacionada com a separação em distância *d* entre o sensor ativo 12 e alvo passivo 14.

[0029] Distância *d* representa a distância física entre o indutor 30 e o indutor 36. Porque indutor é um componente do sensor ativo 12 e o indutor 36 é um componente da primeira estrutura 18, a distância *d* entre indutores 30 e 36 podem ser facilmente correlacionada com outras distâncias entre sensor ativo 12 e primeira estrutura 18, e seus respectivos componentes.

[0030] A técnica anterior inclui sensores de proximidade que podem incluir um circuito tanque ativo de um sensor ativo e um alvo passivo ferromagnético. Embora um alvo ferromagnético produza uma resposta eléctrica no circuito ativo ao afetar o campo magnético do indutor de circuito do tanque, a aplicação tem alguns inconvenientes. Em primeiro lugar, esses sensores podem ter um pequeno alcance operacional físico, ou terem dificuldade para funcionar ao longo de uma grande distância *d*. Isto impõe requisitos de calibração precisos para permitir que o sinal desejado seja detectado pelo sensor ativo. Portanto, o assinatura eletrônica produzida por este tipo de sistema pode, em alguns exemplos, variar apenas alguns pontos percentuais entre uma condição perto (quando o alvo está muito perto do sensor ativo) e a condição longe (quando o alvo está relativamente distante do sensor ativo). Além disso, porque o sensor ativo é concebido para interagir com alvos passivos ferromagnéticos que impactam o campo magnético do circuito ativo, o circuito é suscetível a ruído ambiente e interferência. Para ter em conta tal interferência, pode exigir uma concepção complicada do condicionamento do sinal e dos eletrônicos de medição que interagem com a

parte ativa do sensor. Isto aumenta o custo e a complexidade dos dispositivos.

[0031] Esta divulgação aborda estes problemas utilizando ressonadores acoplados especificamente concebidos, que produzem uma resposta eléctrica única, tal como descrito em mais detalhe abaixo, quando o circuito tanque ressonante ativo 26 e o circuito tanque ressonante passivo 34 estão magneticamente acoplados. Porque a resposta elétrica no circuito tanque ressonante ativo 26 é uma resposta de frequência de ressonância acoplada f_{c1} ela é uma função da distância d entre indutores 30 e 36, e que é mais facilmente detectada e determinada pelo circuito de medição 24. Isto é particularmente útil para grandes distâncias entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e o circuito de tanque ressonante passivo 34, quando é mais provável que o ruído impacte o sinal detectado, porque o ruído pode não perturbar a mudança nas respostas de frequência acopladas f_{c1} e f_{c2}. Isto permite que a detecção ocorra a distâncias maiores. Isto também permite uma resolução melhor da detecção de distância d, o que leva a uma maior exatidão da medição. Isto tudo é realizado enquanto se mantém a simplicidade de utilização de um circuito alvo passivo, o qual proporciona a vantagem de ser robusto.

[0032] FIG. 2 é um gráfico que ilustra uma modalidade de resposta de frequência versus o coeficiente de acoplamento k do circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 FIG. 1. Freqüência f é apresentada no eixo x do gráfico e magnitude *Mag* é apresentada no eixo Y do gráfico. Também mostradas no gráfico estão quatro curvas de resposta, curva 40, curva 42, curva 44, e a curva 46.

[0033] Magnitude *Mag* tem um alcance no eixo y de 0 decibéis (dB) para magnitude *Mag* de 140 dB, com marcadores intermediários ao longo do eixo y denotando passos de 20 dB. Freqüência f se move da esquerda para o lado direito do seu eixo, que variam entre 4,4 x 10^5 Hertz (Hz) a 5,8 x 10^5 Hz em seu máximo, com incrementos de 0,2 x 10^5 Hz denotados.

[0034] A legenda do gráfico exibe os valores correspondentes do coeficiente de acoplamento k às curvas 40, 42, 44, e 46. Especificamente, a curva 40 é uma curva de resposta em que o coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,001, curva 42 é uma curva de resposta, onde o coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,01, curva 44 é uma curva de resposta em que o coeficiente entre o acoplamento k do circuito tanque ressonante ativo 26 e o do circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,1, e a curva 46 é uma curva de resposta, onde o coeficiente de acoplamento k entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,2. Pode-se detectar ou observar estas respostas em circuito tanque ressonante ativo 26 utilizando qualquer técnica padrão.

[0035] Curvas 40, 42, 44, e 46 representam o assinatura do sinal de resposta eléctrica no circuito tanque ressonante ativo 26 com base no coeficiente de acoplamento k, mostrando quanto do sinal está dentro de cada frequência. Curva 40, que representa um coeficiente de acoplamento k de 0,001, tem uma única assinatura frequência de ressonância discernível que tem um único pico de amplitude no intervalo apresentado. Curva 40 mostra uma resposta de frequência que tem um coeficiente de acoplamento k de 0,001, que é tão baixo que as respostas de frequência acopladas f_{c1} e f_{c2} são quase igual à frequência de ressonância f_{R1} do circuito tanque ressonante ativo 26. Isto é dado pela equação:

$$f_{c1} \approx f_{c2} \approx f_{R1} \qquad \text{(Eq. 9)}$$

[0036] Curva 42, que representa um coeficiente de acoplamento k de 0,01, descreve uma curva que mostra uma resposta de frequência dividida. Curva 42 tem uma assinatura que tem respostas de freqüência acopladas f_{c1} e f_{c2} separadas por 0,05 x 10^5 Hz porque curva 42 tem uma amplitude de pico dividida (ou dupla curva corcunda), e tem um vale na mesma freqüência do

pico da curva 40. A resposta de freqüência acoplada f_{c1} da curva 42 ocorre a cerca de 5,0 x 10^5 Hz e a resposta de freqüência acoplado f_{c2} ocorre em cerca de 5,05 x 10^5 Hz.

[0037] Curva 44, que representa um coeficiente de acoplamento k de 0,1, tem uma assinatura com respostas de frequência acopladas f_{c1} e f_{c2} a cerca de 4,8 x 10^5 Hz e 5,3 x 10^5 Hz. A separação em picos de curva 44 é de 0,5 x 10^5 Hz, o que é significativamente maior do que a separação entre os picos na curva 42, que é de aproximadamente 0,05 x 10^5 Hz. Este efeito de separação de resposta de frequência de ressonância é ainda maior na curva 46, que tem picos a aproximadamente 4,6 x 10^5 Hz e 5,65 x 10^5 Hz. Além disso, as magnitudes dos picos na curva 46 diferem. A magnitude de 4,6 x 10^5 Hz do pico é de aproximadamente 70 dB, enquanto que a magnitude de 5,65 x 10^5 Hz do pico é de aproximadamente 58 dB, uma diferença de 12 dB. Curva 44 tem uma diferença de cerca de 3 dB na magnitude de pico.

[0038] Outras assinaturas dos sinais que tem um coeficiente de acoplamento k entre 0,001 e 0,2, embora não seja mostrado, também irão variar, assim como as assinaturas dos sinais de resposta eléctrica maiores do que o coeficiente de acoplamento k de 0,2. Estas diferenças nas curvas 40, 42, 44, e 46, bem como aquelas com outros coeficientes de acoplamento k, são aparentes e facilmente detectável, mesmo com baixos coeficientes de acoplamento k, tal como 0,01. Como as diferenças entre as curvas 40, 42, 44, e 46 são facilmente discerníveis quando os componentes do circuito tanque ressonante ativo 26 e os componentes do circuito tanque ressonante passivo 34 são concebidos de acordo com modalidades exemplares, estas assinaturas de resposta pode ser facilmente mapeadas para os seus coeficientes de acoplamento k. Em seguida, quando uma resposta é observada, ela pode ser correlacionado com um coeficiente de acoplamento k, que pode então ser traduzido para uma distância entre indutores 30 e 36, permitindo que a detecção de proximidade seja facilmente realizada.

[0039] Numa modalidade, a distância d entre os componentes do circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 pode ser determinada com base na sua proporcionalidade, ou a diferença, à distância entre as respostas de freqüência acopladas f_{c1} e f_{c2}. Isto é dado pelas equações:

$$|f_{c1} - f_{c2}| \propto \frac{1}{d} \quad \text{(Eq. 10A).}$$

$$f_{c2} - f_{c1} \propto \frac{1}{d} \quad \text{(Eq. 10B).}$$

[0040] Numa outra modalidade, a distância d entre os componentes do circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 pode ser determinada com base na sua proporcionalidade à diferença ou distância entre uma frequência de resposta acoplada f_{c1} e f_{c2} e frequência de ressonância f_{R1} do circuito tanque ressonante ativo 26, dada pelas equações:

$$f_{R1} - f_{c1} \propto \frac{1}{d} \quad \text{(Eq. 11A)}$$

$$f_{c1} - f_{R1} \propto \frac{1}{d} \quad \text{(Eq. 11B).}$$

[0041] Embora os valores específicos sejam mostrados na FIG. 2, uma resposta de frequência pode ser ao longo de muitas faixas de frequência e muitas escalas de magnitude.

[0042] FIGS. 3A-3D são gráficos de quarto modalidades que ilustram o domínio do tempo versus o coeficiente de acoplamento k do circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 da FIG. 1. FIGS. 3A-3D são discutidas simultaneamente. Nas FIGS. tempo 3A-3D t é apresentado no eixo x de cada gráfico e magnitude *Mag* é apresentada no eixo y de cada gráfico. Tempo t varia de 0 segundos a 2,5 x 10^{-4} segundos no seu máximo, com incrementos de 0,5 x 10^{-4} segundos denotados. A magnitude *mag* se estende de -20 dB a 20 dB no eixo y, com marcadores intermediários denotando passos de 5 dB.

[0043] FIGS. 3A-3D exibem uma resposta no domínio de tempo de uma excitação por impulso medida em circuito tanque ressonante arivo 26. Cada uma das FIGS. 3A-3D mostra uma resposta a um coeficiente de

acoplamento diferente *k* entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34. Especificamente, a FIG. 3A mostra a curva de resposta 48, onde o coeficiente de acoplamento *k* entre o circuito tanque ressonante tivo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,001. FIG. 3B mostra a curva de resposta de 50, onde o coeficiente de acoplamento *k* entre o circuito tanque ressonante ativo 26 e circuito tanque ressonante passiva 34 é de 0,01. FIG. 3C mostra a curva de resposta 52, onde o coeficiente de acoplamento entre *k* circuito tanque ressonante do ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,1, e FIG. 3D mostra a curva de resposta 54, onde o coeficiente de acoplamento entre *k* circuito tanque ressonante do ativo 26 e circuito tanque ressonante passivo 34 é de 0,2.

[0044] Curvas 48, 50, 52 e 54 variam significativamente em sua assinatura de muitas maneiras. A amplitude da curva 48 começa a cerca de 40 dB e decai lentamente para perto de 0 dB acima do domínio do tempo enquanto que a sua frequência permanece constante. A amplitude da curva 50 começa a cerca de 40 dB e decai para cerca de 0 dB a 1 x 10^{-4} segundos antes de começar a aumentar novamente. A amplitude da curva 52 decai rapidamente e, em seguida, rapidamente aumenta, mas a sua amplitude original diminui em cada ciclo sucessivo, decaindo com o tempo, na medida em que oscila. Curva 54 é semelhante à curva 52, mas o ciclo de amplitude da curva 52 ocorre a uma frequência superior à da curva 54.

[0045] Outras assinaturas dos sinais que tem um coeficiente de acoplamento *k* entre 0,001 e 0,2, embora não seja mostrado, também irão variar, assim como as assinaturas dos sinais maiores do que o coeficiente de acoplamento *k* de 0,2. Estas diferenças nas curvas 48-54, bem como aquelas com outros coeficientes de acoplamento *k*, são aparentes e facilmente detectáveis, mesmo com baixos coeficientes de acoplamento *k*, tal como 0,01. Como as diferenças entre as curvas 48-54 são facilmente discerníveis quando os componentes do circuito tanque ressonante ativo 26 e os componentes do

circuito tanque ressonante passivo 34 são concebidos de acordo com modalidades exemplares, estas assinaturas de resposta pode ser facilmente mapeadas para os seus coeficientes de acoplamento *k*. Em seguida, quando uma resposta é observada através da análise de seu formato de onda,ela pode ser correlacionado com um coeficiente de acoplamento *k*, que pode então ser traduzido para uma distância entre indutores 30 e 36, permitindo que a detecção de proximidade seja facilmente realizada.

[0046] Numa modalidade, a distância *d* entre os componentes do circuito tanque ressonante ativo 26 e os componentes do circuito de tanque ressonante passivo 34 pode ser determinada utilizando-se um método de detecção de envoltória, em que a frequência detectada f_{det} é proporcional ao coeficiente de acoplamento *k* e à distância *d*. Numa modalidade, a frequência detectada f_{det} aumenta à medida que o coeficiente de acoplamento *k* aumenta.

[0047] Numa outra modalidade, uma transformada de Fourier pode ser realizada na curva detectada, em que a curva resultante, ou conjunto de dados, podem ser analisados no domínio da frequência, tal como descrito na FIG. 2. Embora formas de realização específicas para determinar a distância *d* são descritas, outros métodos de análise das respostas de frequência acoplados f_{c1} e f_{c2} para determinar a distância *d* podem ser usados.

[0048] Embora valores específicos sejam mostrados na FIG. 3A-3D, uma resposta de frequência pode se estender ao longo de muitos intervalos de domínio de tempo e muitas escalas de magnitude.

[0049] FIG. 4 é uma vista esquemática do sistema de sensor de proximidade 10a, que inclui o sensor ativo 12, alvo passivo 14, o controlador 16, primeira estrutura 18, segunda estrutura 20, componentes do sistema 22, e circuito de medição 24. Sensor ativo 12 inclui circuito tanque ressonante ativo 26, que inclui capacitor 28, indutor 30, fonte de excitação 32, e resistor sensor de corrente 56. Alvo passivo 14 inclui circuito tanque ressonante passivo 34, que inclui capacitor 38 e indutor 36. Também mostrado na FIG. 1 são a

distância d e um campo magnético B.

[0050] Os componentes do sistema de sensores 10a estão conectados de forma consistente com os do sistema de sensor 10 da FIG. 1, excepto para o circuito de medição 24. Circuito de medição 24 não está fisicamente conectado ao objeto ativo 18 e não é um componente do sensor ativo 12. Além disso, o circuito de medição 24 está ligado eletricamente ao circuito tanque ressonante ativo 26 através do resistor sensor de corrente 56, que tem uma resistência R_S. No entanto, o circuito de medição 24 está ainda ligado eletricamente ao controlador 16.

[0051] Os componentes do sistema de sensor 10a também operam de forma consistente com os do sistema de sensor 10, excepto que nesta modalidade, o circuito de medição 24 mede a corrente através do resistor sensor de corrente 56. Resistor sensor de corrente 56 pode ser um resistor fixo ou variável que permite a medição de corrente. Esta medida permite que a resposta eléctrica gerada pelo acoplamento magnético do circuito tanque ressonante ativo 26 e do circuito de tanque ressonante passivo 34 seja analisada no domínio da frequência e no domínio do tempo. Em outras modalidades, a corrente pode ser medida em outras partes do circuito tanque ressonante ativo 26.

[0052] Numa modalidade, o controlador 16 pode controlar os componentes do sistema 22, os quais podem ser a primeira estrutura 18 ou segunda estrutura 20, com base na saída de distância medida a partir do circuito de medição 24. A medição da corrente pode também ser conseguida através da medição da corrente através de outros componentes do sensor ativo 12.

Discussão de Possíveis Modalidades

[0053] São apresentadas, a seguir, descrições não exclusivas de possíveis modalidades da presente invenção.

[0054] Um sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo

passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro . O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

[0055] O sensor de proximidade do parágrafo anterior pode incluir, opcionalmente, adicionalmente e/ou alternativamente, qualquer um ou mais dos seguintes recursos, configurações e/ou componentes adicionais:

[0056] O circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo pode ser ajustado a frequências ressonantes substancialmente iguais.

[0057] O circuito de tanque ativo pode ter um fator de qualidade Q1 maior que um e o circuito de tanque passivo Q2 pode ter um fator de qualidade maior que um.

[0058] O circuito tanque ativo e circuito tanque passivo podem ter um coeficiente de acoplamento, e o coeficiente de acoplamento pode ser pelo menos tão grande quanto um coeficiente crítico de acoplamento entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo.

[0059] A resposta em frequência ressonante acoplada pode ser determinada por análise de uma voltagem através de um componente do circuito tanque ressonante ativo.

[0060] A resposta em frequência ressonante acoplada pode ser determinada por análise de uma corrente através do circuito tanque ressonante ativo.

[0061] O circuito de medição pode determinar a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise da resposta de frequência ressonante acoplada contra um coeficiente de acoplamento.

[0062] O circuito de medição pode determinar a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise da resposta de frequência de ressonância acoplada em um domínio de tempo versus um coeficiente de acoplamento.

[0063] Em outra modalidade, um sistema de sensor de proximidade inclui um sensor de proximidade e um controlador. O sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro . O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada. O controlador está ligado ao circuito de medição para controlar um componente de sistema com base na saída de distância medida.

[0064] O sistema do parágrafo anterior pode incluir, opcionalmente, adicionalmente e/ou alternativamente, qualquer um ou mais dos seguintes recursos, configurações e/ou componentes adicionais:

[0065] O circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo pode ser ajustado a frequências ressonantes substancialmente iguais.

[0066] O circuito de tanque ativo pode ter um fator de qualidade Q1 maior que um e o circuito de tanque passivo Q2 pode ter um fator de

qualidade maior que um.

[0067] O circuito tanque ativo e o circuito tanque passivo podem ter um coeficiente de acoplamento, e o coeficiente de acoplamento pode ser pelo menos tão grande quanto um coeficiente crítico de acoplamento entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo.

[0068] O circuito de medição pode determinar a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise de uma das respostas de frequência ressonante acoplada versus um coeficiente de acoplamento ou a resposta de frequência de ressonância acoplada em um domínio de tempo versus um coeficiente de acoplamento.

[0069] Um objeto de detecção pode prender o sensor ativo.

[0070] Um objecto alvo pode anexar o alvo passivo, e o objecto alvo e o objecto de detecção podem ser móveis em relação um ao outro.

[0071] O controlador pode controlar um dos objetos de detecção ou o objecto alvo com base na saída distância medida.

[0072] Um método de detecção de proximidade inclui a alimentação de um sensor ativo, a medição de uma resposta de frequência ressonante acoplada, e produzir uma saída de distância medida com base na resposta eléctrica. O sensor ativo é alimentado, o que inclui um circuito tanque ressonante ativo, e está magneticamente acoplado a um circuito tanque ressonante passivo de um alvo passivo. O acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo varia em função do deslocamento físico entre os circuitos ressonantes tanque ativos e passivos em relação um ao outro. Uma resposta de frequência ressonante acoplada é medida no circuito ativo, que é uma função do acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo. A saída de distância medida é produzida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

[0073] O método do parágrafo anterior pode incluir, opcionalmente,

adicionalmente e/ou alternativamente, qualquer um ou mais dos seguintes recursos, configurações e/ou componentes adicionais, ou etapas.

[0074] O circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo pode ser ajustado a frequências ressonantes substancialmente iguais.

[0075] A saída de distância medida pode ser enviada para um controlador.

[0076] Um componente do sistema pode ser controlado com base na saída de distância medida.

[0077] Embora a invenção tenha sido descrita com referência à(s) modalidade(s) exemplar(es), será entendido pelos versados na técnica que várias mudanças podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos por elementos destes sem se afastarem do âmbito da invenção. Além disso, muitas modificações podem ser feitas para adaptar uma situação ou material específicos aos ensinamentos da invenção sem que haja desvio do seu âmbito essencial. Portanto, pretende-se que a invenção não seja limitada a(s) modalidade(s) particular(es) divulgada(s), mas que a invenção irá incluir todas as modalidades abrangidas pelo âmbito das reivindicações acrescentadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor de proximidade, caracterizado pelo fato de que compreende:

um sensor ativo que compreende um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor;

um alvo passivo que compreende um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro; e

um circuito de medição configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

2. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo podem ser ajustados a frequências ressonantes substancialmente iguais.

3. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito de tanque ativo tem um fator de qualidade Q1 maior que um, e em que o circuito tanque passivo tem um fator de qualidade Q2 maior do que um.

4. Sensor de proximidade de acordo com reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito tanque ativo e circuito tanque passivo possuem um coeficiente de acoplamento, e o coeficiente de acoplamento é pelo menos tão grande quanto um coeficiente crítico de acoplamento entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo.

5. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de que a resposta de frequência ressonante acoplada é determinada por análise de uma voltagem através de um componente do circuito tanque ressonante ativo.

6. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a resposta em frequência ressonante acoplada é determinada por análise de uma corrente através do circuito tanque ressonante ativo.

7. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito de medição determina a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise da resposta de frequência ressonante acoplada contra um coeficiente de acoplamento.

8. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o circuito de medição determina a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise da resposta de frequência de ressonância acoplada em um domínio de tempo versus um coeficiente de acoplamento.

9. Sistema de sensor de proximidade, caracterizado pelo fato de que compreende:

um sensor de proximidade que compreende:

um sensor ativo que compreende um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor;

um alvo passivo que compreende um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro; e

um circuito de medição configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e

fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

um controlador conectado ao circuito de medição para controlar um componente de sistema com base na saída de distância medida.

10. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo podem ser ajustados a frequências ressonantes substancialmente iguais.

11. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o circuito de tanque ativo tem um fator de qualidade Q1 maior que um, e em que o circuito tanque passivo tem um fator de qualidade Q2 maior do que um.

12. Sensor de proximidade de acordo com reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o circuito tanque ativo e circuito tanque passivo possuem um coeficiente de acoplamento, e o coeficiente de acoplamento é pelo menos tão grande quanto um coeficiente crítico de acoplamento entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo.

13. Sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o circuito de medição determina a distância entre o sensor ativo e o alvo passivo através da análise de uma das respostas de frequência ressonante acoplada versus um coeficiente de acoplamento ou a resposta de frequência de ressonância acoplada em um domínio de tempo versus um coeficiente de acoplamento.

14. Sistema de sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que compreende ainda um objeto de detecção para fixar o sensor ativo.

15. Sistema de sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que compreende ainda um objeto alvo para fixar o alvo passivo, em que o objeto alvo e o objecto de detecção

são móveis um em relação ao outro.

16. Sistema do sensor de proximidade de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o controlador controla um dos objetos de detecção ou o objecto alvo com base na saída de distância medida.

17. Método para determinar proximidade, caracterizado pelo fato de que inclui:

alimentar um sensor ativo, compreendendo um circuito tanque ressonante ativo que está magneticamente acoplado a um circuito tanque ressonante passivo de um alvo passivo, e em que o acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo varia de acordo com uma função do deslocamento físico entre os circuitos ressonantes tanque ativo e passivo com relação um ao outro;

medir uma resposta de frequência ressonante acoplada no circuito ativo, que é uma função do acoplamento magnético entre o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo; e

produzir uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.

18. Método para determinar proximidade de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o circuito tanque ressonante ativo e o circuito tanque ressonante passivo podem ser ajustados a frequências ressonantes substancialmente iguais.

19. Método para determinar proximidade de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que inclui:

enviar a saída de distância medida a um controlador.

20. Método para determinar proximidade de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que inclui:

controlar um componente do sistema com base na saída de distância medida.

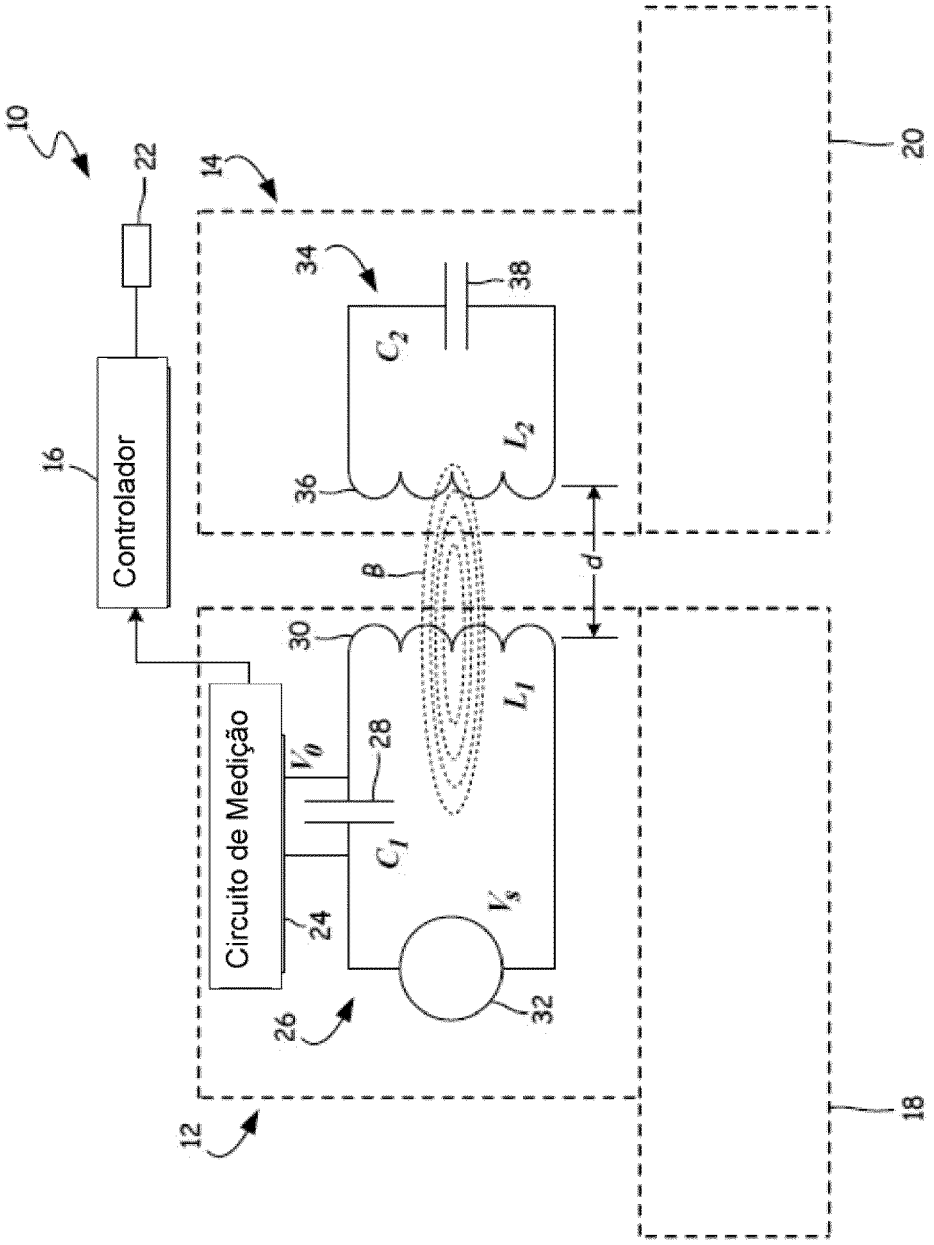

10
22
14
20
34
38
C_2
L_2
16
Controlador
36
B
d
30
L_1
28
V_0
C_1
Circuito de Medição
24
V_s
26
32
12
18

FIG. 1

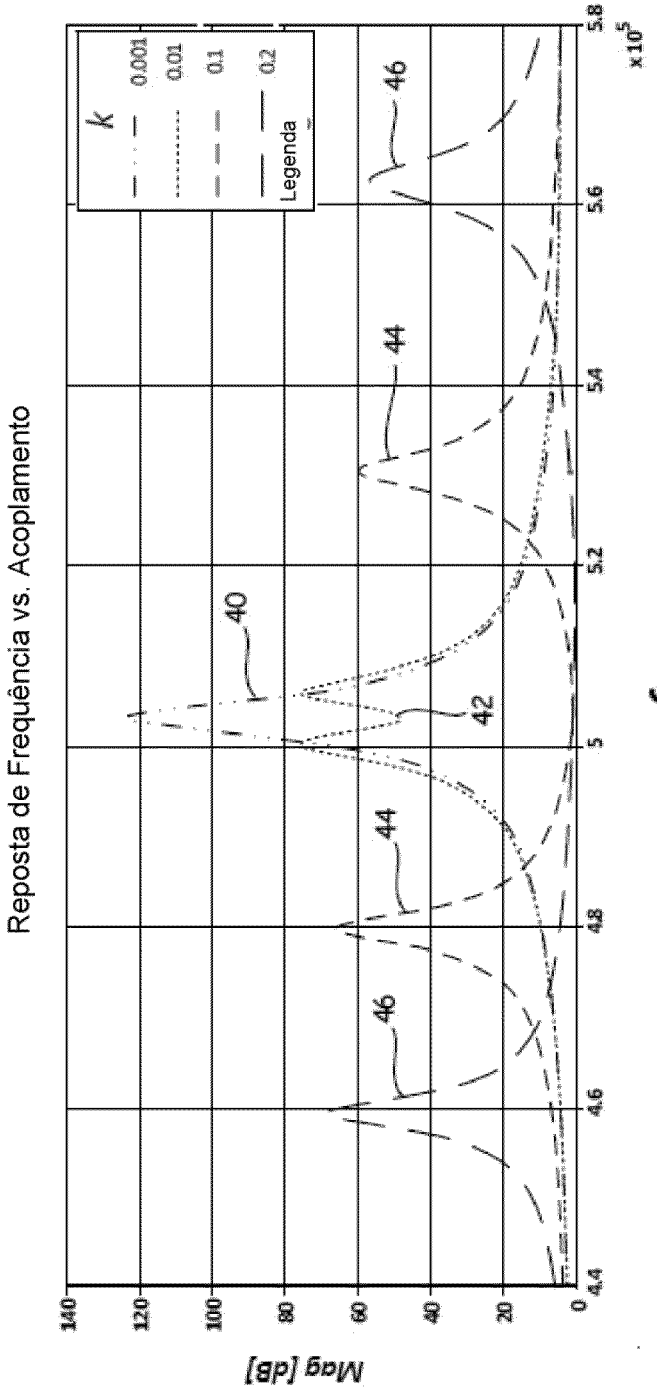

Reposta de Frequência vs. Acoplamento
Mag [dB]
f[Hertz]
x 10^5
k
0.001
0.01
0.1
0.2
Legenda
40
42
44
46
140
120
100
80
60
40
20
0
4.4
4.6
4.8
5
5.2
5.4
5.6
5.8

FIG. 2

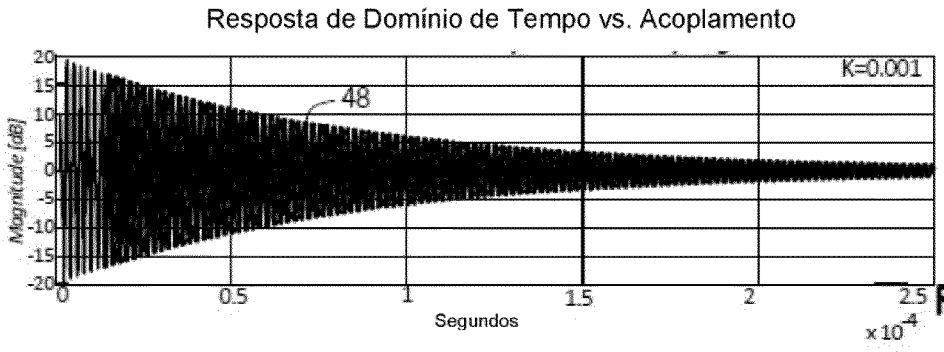


FIG. 3A

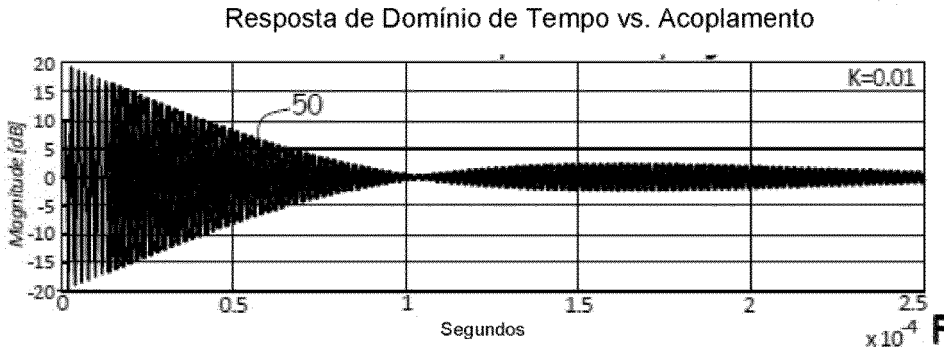


FIG. 3B

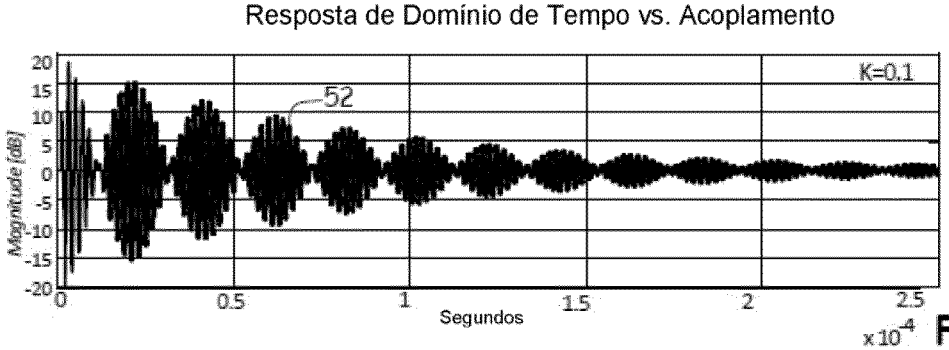


FIG. 3C

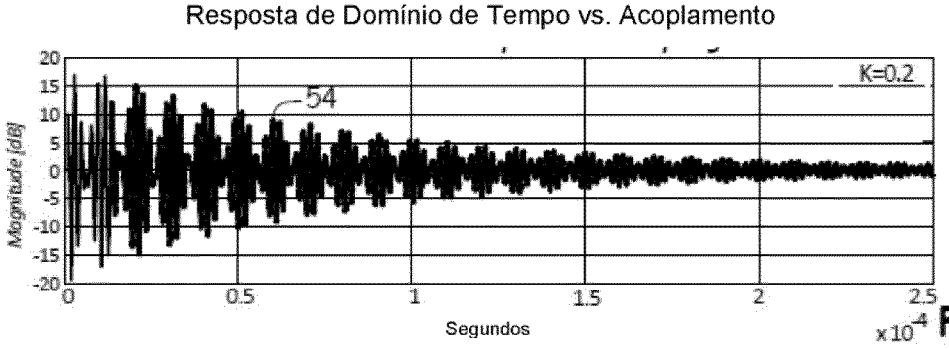


FIG. 3D

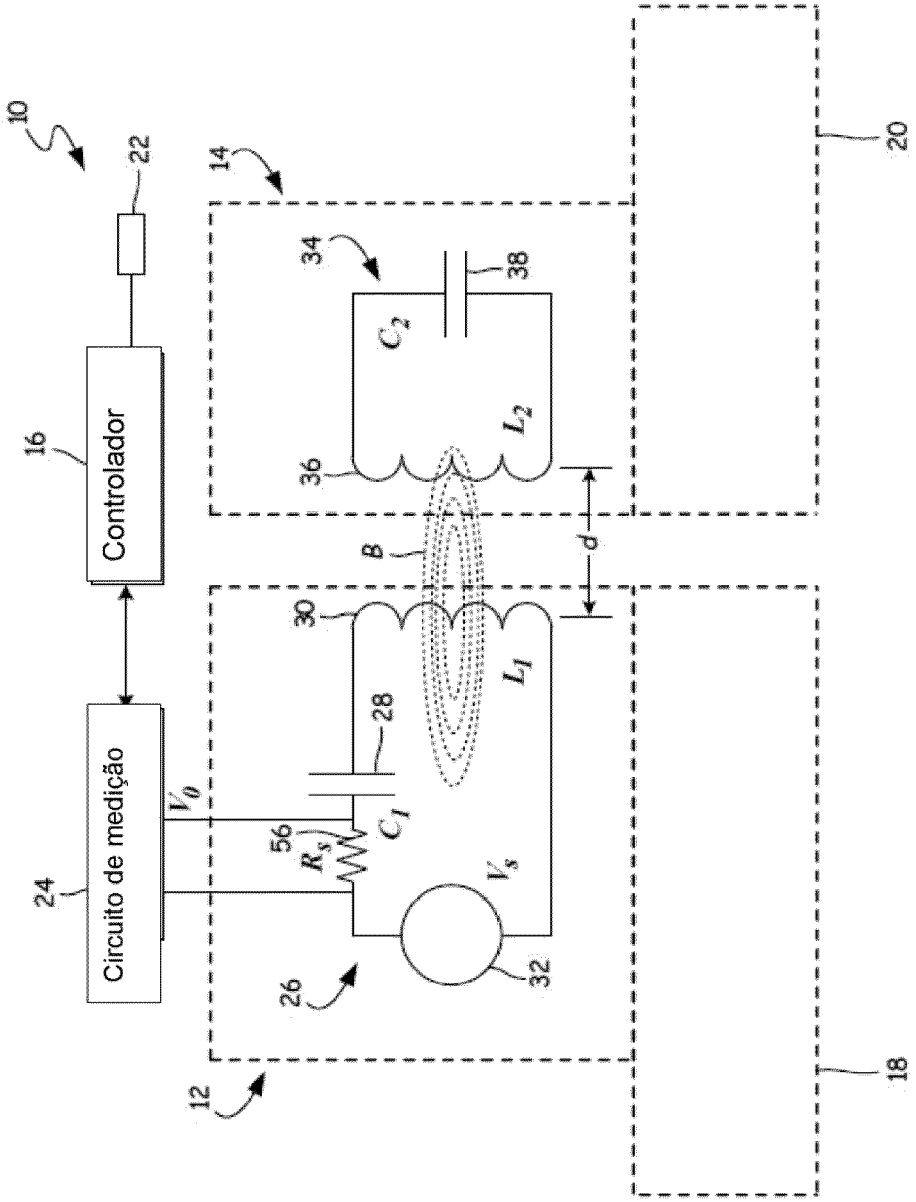

10
22
14
20
34
38
C_2
L_2
16
Controlador
36
B
d
30
L_1
28
C_1
V_0
56
R_s
V_s
24
Circuito de medição
26
32
12
18

FIG. 4

RESUMO

"SENSOR DE PROXIMIDADE, SISTEMA DE SENSOR DE PROXIMIDADE, E, MÉTODO PARA DETERMINAR PROXIMIDADE"

Um sensor de proximidade inclui um sensor ativo, um alvo passivo, e um circuito de medição. O sensor ativo inclui um circuito tanque ressonante ativo que inclui uma fonte de excitação, um primeiro capacitor, e um primeiro indutor. O alvo passivo inclui um circuito de tanque ressonante passivo que inclui um segundo capacitor e um segundo indutor, em que o acoplamento magnético entre o primeiro indutor e o segundo indutor varia em função do deslocamento físico do primeiro indutor e do segundo indutor um em relação ao outro. O circuito de medição é configurado para medir uma resposta de frequência de ressonância acoplada no circuito tanque ressonante ativo e fornecer uma saída de distância medida com base na resposta de frequência de ressonância acoplada.