

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

(21) PI 0713938-1 A2



(22) Data de Depósito: 16/05/2007  
(43) Data da Publicação: 18/12/2012  
(RPI 2189)

(51) Int.CI.:  
G01N 27/87

**(54) Título:** DISPOSITIVO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE UMA PEÇA POR ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE ESCAPAMENTO

**(30) Prioridade Unionista:** 24/05/2006 FR 06 51901

**(73) Titular(es):** Airbus France

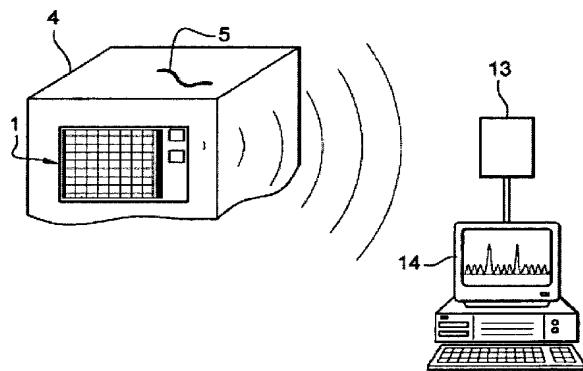
**(72) Inventor(es):** Marie-Anne de Smet

**(74) Procurador(es):** Orlando de Souza

**(86) Pedido Internacional:** PCT EP2007054751 de 16/05/2007

**(87) Publicação Internacional:** WO 2007/135051 de 29/11/2007

**(57) Resumo:** DISPOSITIVO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE UMA PEÇA POR ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE ESCAPAMENTO A presente invenção se refere a um dispositivo de controle não destrutivo (1) de uma peça (4) por análise de distribuição do campo magnético de escapamento emitido pela peça, quando ela é submetida a um campo magnético de excitação, compreendendo meios de geração de um campo magnético de excitação no meio da peça a controlar, e meios de detecção e de medida da distribuição do campo magnético. O conjunto dos meios é integrado em um suporte flexível (2) para formar um dispositivo sob a forma de revestimento flexível destinado a vir se fixar sobre uma zona da superfície da peça a controlar (4). A presente invenção encontra aplicações para o controle não destrutivo (CND) das peças de aeronave, mas pode ser utilizada em todos os setores industriais, nos quais o controle da integralidade das peças é importante, tais como o automobilístico, o ferroviário, a construção naval ou o nuclear.



**DISPOSITIVO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE UMA PEÇA POR  
ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE ESCAPAMENTO**

A presente invenção se refere a um dispositivo de controle não destrutivo de uma peça por análise de distribuição do campo magnético de escapamento emitido pela peça, quando ela é submetida a um campo magnético de excitação, compreendendo meios de geração de um campo magnético de excitação no meio da peça a controlar, e meios de medida da distribuição do campo magnético emitido pela peça em resposta ao campo de excitação. O conjunto dos meios é integrado em um suporte flexível para formar um dispositivo sob a forma de revestimento flexível destinado a vir se fixar sobre uma zona da superfície da peça a controlar. A presente invenção encontra aplicações para o controle não destrutivo (CND) das peças de aeronave, mas pode ser utilizada em todos os setores industriais nos quais o controle da integridade das peças é importante, tais como o automobilístico, o ferroviário, a construção naval ou o nuclear.

No âmbito da exploração e da manutenção das aeronaves, é necessário utilizar métodos de controle que permitem determinar se as estruturas estão danificadas por rachaduras ou fissuras, sem danificar as peças que constituem as estruturas. As técnicas utilizadas são agrupadas sob a denominação de controle não destrutivo (CND). As técnicas de CND são numerosas e estão em constante evolução, pois os setores industriais referidos são requerentes de um aumento dos desempenhos dessas técnicas de CND. Os setores do transporte aéreo e da engenharia civil estão sempre nas pesquisas de técnicas CND

cada vez mais com desempenhos para preencher, ao mesmo tempo, os imperativos de segurança e uma política de redução dos custos.

Para uma peça não ferromagnética e condutora, são 5 conhecidas as técnicas de controle baseadas nas correntes de Foucault. O princípio dessas técnicas se baseia na utilização de um campo magnético de excitação que induz uma circulação de corrente de Foucault na peça a controlar. A circulação dessas correntes induzidas na peça é modificada 10 pela presença de defeitos, de fissuras ou de corrosões. Essa modificação das distribuições de Correntes de Foucault age sobre a distribuição do campo magnético de superfície da peça gerada pelas correntes de Foucault. Essa distribuição é medida geralmente por efeito de indução. 15 Informações sobre defeitos são então extraídas a partir da distribuição do campo magnético.

São conhecidas também técnicas mais recente baseadas em uma combinação do campo magnético de excitação com um dispositivo de imagem magneto-óptica. O dispositivo de 20 imagem magneto-óptica que comporta um material magnético permite medir uma rotação Faraday gerada que é proporcional à imantação do material magnético em presença da distribuição do campo magnético emitido pela peça.

Todos esses meios de controle necessitam que a 25 aeronave seja imobilizada no solo para proceder a uma inspeção das zonas sensíveis do avião com o auxílio de um aparelho de controle. Isto implica em um tempo de controle relativamente longo e na presença de um operador qualificado, acarretando, por conseguinte, um custo de 30 manutenção relativamente elevado.

De acordo com o conhecimento daquele que concebeu o presente dispositivo, não existe até hoje meios com bons desempenhos, permitindo controlar, em tempo real, o estado das estruturas, por exemplo, estruturas aeronáuticas ao longo de seu período de utilização, em particular podendo efetuar um diagnóstico global de saúde das estruturas aeronáuticas durante o vôo do avião.

A presente invenção propõe um dispositivo adaptado a esse controle em tempo real que permite controlar a saúde estrutural de uma peça ao longo de seu período de utilização por medidas locais da configuração do campo magnético de escapamento emitido por essa peça em resposta a um campo de excitação.

Os problemas a resolver para esse dispositivo são:

- de dispor de um meio de controle não destrutivo adaptado para ser facilmente fixado sobre a superfície das estruturas a controlar quer sejam acessíveis ou não, permanecendo de massa e de volume desprezível e necessitando apenas de uma baixa potência elétrica para seu funcionamento;

- de dispor de um meio de controle adaptado para ser instalado permanentemente sobre as estruturas a controlar durante sua utilização para efetuar uma manutenção preditiva, detectando o aparecimento de defeitos o mais cedo possível, permitindo assim realizar consertos menos onerosos e assegurar uma segurança máxima das estruturas;

- de dispor de um meio de controle que permite uma gestão automática dos controles e liberar um diagnóstico completo do estado das estruturas aeronáuticas, a fim de

reduzir ao máximo o trabalho do operador para reduzir o custo de manutenção.

Para isso, a invenção se refere a um dispositivo de controle não destrutivo de uma peça em tempo real. De acordo com a invenção, esse dispositivo compreende meios de geração de um campo magnético de excitação no meio da peça, esses meios de geração sendo integrados em um suporte, esse suporte sendo destinado a vir abranger uma superfície dessa peça a controlar, e meios de medida de uma distribuição do campo magnético emitido por essa peça em resposta ao campo de excitação, esses meios de medida sendo superpostos a esses meios de geração de campo de excitação.

Vantajosamente, o suporte é um suporte flexível, destinado a vir cobrir a superfície da peça, tomando a forma da peça.

Vantajosamente, os meios de medida têm uma sensibilidade adaptada para determinar anomalias na distribuição do campo magnético capaz de revelar a presença dos defeitos na peça.

De acordo com a invenção, os meios de geração desse campo magnético de excitação compreendem uma rede de microbobinas, cada uma dessas micro-bobinas sendo percorrida por uma corrente alternada para gerar esse campo magnético de excitação.

Em uma outra forma de realização da invenção, os meios de geração desse campo magnético de excitação compreendem uma rede de micro-ímãs.

Em um modo de realização desses meios de medida, eles compreendem uma membrana de cristais líquidos sensíveis ao campo magnético e uma rede de microcaptadores

optoeletrônicos superposta a essa membrana de cristais líquidos. Cada microcaptador optoeletrônico comporta uma célula foto-sensível para transformar a radiação luminosa recebida em cargas elétricas, essa célula sendo acoplada a 5 um dispositivo de transferência de cargas para coletar as cargas elétricas.

Em um outro de realização desses meios de medida, eles compreendem uma rede de microcaptadores magneto-resistivos para medir diretamente essa distribuição do campo magnético 10 emitido por essa peça.

De acordo com uma forma de realização particular da invenção, essas redes são organizadas em matriz linhas colunas.

O dispositivo comprehende, além disso, uma eletrônica 15 de interface, ligando esses meios de medida a uma memória de registro. A eletrônica de interface e a memória são integradas do suporte flexível, de maneira a realizar vantajosamente um dispositivo de controle monolítico.

Vantajosamente, o dispositivo de controle comprehende 20 um sistema calculador, tal como um micro-processador para determinar de maneira automática das informações relativas aos defeitos, tais como a dimensão, a localização e a natureza dos defeitos a partir da distribuição do campo magnético emitido pela peça a controlar.

De acordo com uma forma de realização do dispositivo 25 da invenção, esse sistema calculador não sendo integrado no suporte flexível, esse dispositivo de controle comporta meios de emissão para enviar sinais elétricos registrados na memória de registro para esse sistema calculador,

utilizando uma ligação filar, sem fio, rádio ou infravermelho.

De acordo com uma outra forma de realização do dispositivo da invenção, esse sistema calculador é integrado nesse suporte flexível e é conectado entre essa eletrônica de interface e essa memória de registro.

De acordo com a invenção, o sistema calculador compreende uma memória que contém pelo menos uma cartografia de uma distribuição do campo magnético de referência da peça ou das peças, meios de cálculo convertendo o sinal elétrico recebido por esse sistema calculador em sinal representativo da distribuição do campo magnético de escapamento medido pelos microcaptadores, e meio de análise dessa distribuição do campo magnético em relação à distribuição do campo magnético de referência.

Os meios de análise compreendem meios de análise comparativa entre a distribuição do campo magnético de escapamento medido e a distribuição de campo magnético de referência. Vantajosamente, esses meios de análise comparativa comportam meios para gerar um sinal de estado **S** e informações relativas a defeitos presentes na peça.

Vantajosamente, esse sinal de estado **S** e essas informações são seja transmitidas por esse sistema calculador para meios de alarme seja registrados nessa memória de registro ligado a esse sistema calculador, depois transmitidas para meios de alarme, utilizando uma ligação filar, sem fio, rádio ou infravermelho.

Os meios de alarme comportam, de preferência, por exemplo, meios de afiação e indicadores luminosos ou sonoros.

Outras características e vantagens da invenção serão melhor compreendidas com a leitura da descrição que vai seguir em referência aos desenhos que representam:

na figura 1: uma representação esquemática de uma vista de perfil em corte de um dispositivo de controle, de acordo com um modo de realização da invenção, compreendendo uma rede de microbobinas para gerar um campo magnético de excitação, uma membrana de cristais líquidos e uma rede de microcaptadores optoeletrônicos, o dispositivo abrangendo a superfície de uma peça a controlar e sendo recoberto por uma camada de pintura;

na figura 2: uma representação esquemática de uma vista de topo de uma microbobina, de acordo com um modo de realização;

na figura 3: uma representação esquemática de uma vista de perfil em corte, de um dispositivo de controle, de acordo com um outro modo de realização da invenção, compreendendo uma rede de microbobinas, uma rede de microcaptadores magnéticos à base de magneto-resistência, esse dispositivo abrangendo a superfície de uma peça a controlar e sendo recoberto por uma camada de pintura;

na figura 4.A e 4.B: duas representações esquemáticas ilustrando respectivamente o princípio de funcionamento de uma célula com GMR (magneto-resistência gigante) em campo nulo e sob campo magnético;

na figura 5: uma representação esquemática de uma vista de topo do dispositivo de controle, ilustrando um modo de realização do dispositivo;

na figura 6: uma representação esquemática do dispositivo de controle da figura 5 em posição operacional

de transmissão do sinal elétrico para um sistema calculador disposto a distância;

na figura 7: uma vista esquemática de uma rede de dispositivos de controle dispostos sobre a superfície das 5 peça de um avião no solo em posição de transmissão de sinais registrados no decorrer do vôo do avião.

Quando uma peça é submetida a solicitações mecânicas importantes, às vezes de maneira cíclica, após um certo tempo, fissuras de fadiga aparecem na peça. Quando a peça é 10 submetida a um campo magnético de excitação, a presença de suas fissuras constituem barreiras magnéticas e agem sobre a distribuição do campo magnético emitido pela peça em resposta ao campo magnético de excitação. Estabelecendo uma cartografia dessa distribuição do campo magnético emitido 15 pela peça e utilizando meios de análise adaptados, informações relativas aos defeitos presentes na peça podem ser extraídas a partir da cartografia da distribuição no campo magnético.

No caso de uma peça não ferromagnética e eletricamente 20 condutora, o campo magnético de excitação induz a circulação das correntes de Foucault na peça. As correntes de Foucault que aparecem no meio da peça geram, por sua vez, um campo magnético de escapamento irradiador em torno da peça. As características dessas correntes são ligadas 25 estreitamente às características da peça, tais como sua forma, sua condutividade. Essas correntes podem ser modificadas pela existência de defeitos estruturais, de fissuras ou da corrosão. A modificação dessas distribuições de corrente de Foucault age então sobre a distribuição do 30 campo magnético emitido pela peça a controlar.

Estabelecendo-se de maneira precisa uma cartografia da distribuição do campo magnético emitido pela peça, podem-se localizar os defeitos e as fissuras.

No caso de uma peça ferromagnética que apresenta uma estrutura em domínios magnéticos de direção de imantação diferente, o campo magnético de excitação reorienta diretamente a imantação de cada domínio e modifica, por conseguinte, a configuração em domínios magnéticos da peça. A nova configuração em domínios magnéticos é então perturbada pela presença eventual dos defeitos, de fissuras ou da corrosão. Estabelecendo uma cartografia magnética da peça ferromagnética, podem-se localizar os defeitos e as fissuras.

Nas figuras 1 e 3 estão representados dois modos de realizações do dispositivo de controle não destrutivo de uma peça por análise da distribuição do campo magnético. Ele compreende meios de geração de um campo magnético de excitação no meio da peça e meios de medida aptos a determinar uma distribuição do campo magnético de escapamento emitido pela peça, os meios de medida sendo superpostos aos meios de geração. Os meios de geração são integrados em um suporte 2 que vem se fixar sobre uma zona da superfície da peça a controlar.

Vantajosamente, esse suporte 2 é um suporte flexível que é, por exemplo, feito em um material plástico, permitindo fixar o dispositivo de controle 1 sobre a superfície da peça a controlar, assumindo a forma da peça. Essa fixação é feita por meio de um material adesivo. De preferência, o material adesivo escolhido permite fazer retirar o dispositivo da peça a controlar, de maneira a

poder substituir facilmente o dispositivo, quando ele está danificado.

De preferência, esse dispositivo é realizado em uma dimensão limitada adaptada para ser fixado sobre uma zona 5 crítica da peça, na qual as fissuras são capazes de aparecerem. Sobre um avião, o dispositivo pode ser disposto sobre zonas consideradas críticas que se situam, por exemplo, no nível dos elementos de ligação, no nível dos elementos de ligação dos painéis e das zonas com grande 10 concentração de esforços.

Vantajosamente, o dispositivo de controle é adaptado para receber uma camada superficial 8 que pode ser, por exemplo, uma camada de pintura que vem se superpor ao dispositivo de controle.

15 Um exemplo, não limitativo, de modo de realização dos meios de geração do campo magnético é descrição em relação com a figura 1 e a figura 2. Nesse exemplo, os meios de geração do campo magnético de excitação compreendem uma rede de microbobinas 6 adaptada para gerar um campo 20 magnético de excitação que pode penetrar no meio de uma peça 4 a controlar.

Em um outro exemplo de realização dos meios de geração dos campo magnético de excitação, eles compreendem uma rede 25 de microímãs, cuja imantação é mantida por uma eletrônica localizada, por exemplo, na periferia 10 do suporte.

Vantajosamente, os meios de geração do campo magnético são desacoplados dos meios de medida, nesse caso, os meios de geração do campo magnético comportam uma única macrobobina adaptada para gerar um campo magnético que pode 30 penetrar no meio da peça 4.

Em uma forma particular de realização da invenção, a rede de microbobinas é organizada em matriz linhas colunas. Cada microbobina é percorrida por uma corrente alternada. As microbobinas são fabricadas, por exemplo, por um processo de microlitografia comportando uma etapa de fotolitografia para se obter um molde em resina das microbobinas e uma segunda etapa de depósito eletrolítico de um metal, que é, por exemplo, o cobre. A resina é, em seguida, retirada por um solvente. No âmbito da invenção, o substrato sobre o qual são realizadas as microbobinas é um substrato flexível realizado em um material plástico, de maneira a assumir a forma da superfície da peça sobre a qual é disposto o dispositivo de controle 1, a fim de responder à necessidade das peças de formas diferentes.

A figura 2 descreve um exemplo de forma particular de microbobina 6 constituída de um enrolamento de 3 espiras retangulares planares. As dimensões de cada espira são da ordem de dezenas de micron e o tamanho da microbobina é da ordem de centenas de micron. As dimensões de cada espira são adaptadas, a fim de concentrar a corrente na espira, tendo uma superfície de seção do cobre que permite um encaixe eficaz no substrato e uma dissipação térmica. O campo magnético local obtido por essas microbobinas está apto penetrar no meio da peça a controlar.

Na figura 1 está representado um modo de realização dos meios de medida de uma distribuição de campo magnético gerado seja pelas correntes de Foucault criadas no meio da peça a controlar, seja diretamente pelos domínios magnéticos da peça ferromagnética a controlar compreendendo uma membrana de cristais líquidos 7 superposta à rede de

microbobinas 6. Os cristais líquidos são sensíveis ao campo magnético e aptos a se orientarem em função da intensidade e do sentido do campo. A membrana de cristais líquidos é, por exemplo, presa entre dois suportes plásticos. A 5 estrutura desses cristais líquidos é modificada em função do sentido e da intensidade do campo magnético de escapamento gerado pelas correntes de Foucault no meio da peça, isto se traduz por uma variação da composição espectral das ondas refletidas pelos diferentes planos dos 10 cristais líquidos, levando, por conseguinte, a uma mudança de coloração na superfície da membrana dos cristais líquidos 7. A distribuição do campo magnético emitida da peça é assim restituída pela membrana de cristais líquidos sob a forma de um espectro de luz enviado seletivamente por 15 esses planos de cristais líquidos.

Para detectar essa mudança de coloração em função do campo magnético, superpõe-se a essa membrana de cristais líquidos 7 uma rede de microcaptadores optoeletrônicos 3. Cada microcaptador optoeletrônico está apto a transformar a 20 radiação luminosa emitida pela membrana de cristais líquidos em cargas elétricas por meio de uma célula foto-sensível que converte a energia luminosa em cargas elétricas. Cada célula é acoplada a um dispositivo de transferência de carga que tem por função evacuar as cargas 25 elétricas. Um sinal elétrico representativo da energia luminosa é gerado pela célula foto-sensível.

De preferência, as ondas luminosas incidentes sobre a superfície da membrana provêm de uma fonte luminosa integrada em cada microcaptador optoeletrônico 3.

Em uma forma particular de realização da invenção, os meios de medida da distribuição do campo magnético comportam somente uma rede de microcaptadores exercendo, ao mesmo tempo, o papel de captador, assegurando assim o papel 5 da membrana de cristais líquidos, de emissor e de receptor. Os microcaptadores são capazes de armazenar uma informação representativa da distribuição do campo magnético e enviá-la sobre comando em consequência a uma demanda cíclica ou enviá-la automaticamente, quando a informação indica 10 valores superiores a um limite.

Na figura 3 está representado um outro modo de realização dos meios de medida, compreendendo uma rede de microcaptadores magneto-resistências 9 para medir diretamente a distribuição do campo magnético gerado, seja 15 pelas correntes de Foucault, seja pelos domínios magnéticos da peça a controlar. O princípio de funcionamento dos microcaptadores magneto-resistivos é baseado na variação de resistência elétrica de um material magnético, em função da direção do campo magnético aplicada. Os microcaptadores 20 resistivos são, de preferência, microcaptadores de efeito GMR (magneto resistência gigante), apresentando ma variação importante de resistência elétrica em relação à resistência elétrica em campo nulo. Geralmente, essa variação elétrica é da ordem de 16%.

25 Em um modo de realização particular de microcaptadores de efeito GMR, cada microcaptador de efeito GMR é constituído de uma ponte de Wheatstone de quatro magneto-resistências GMR. Quando a ponte está em equilíbrio, a tensão de saída da ponte é nula. Sob a ação de um campo 30 magnético não uniforme, a ponte se desequilibra,

acarretando o aparecimento de uma tensão de saída proporcional à variação do campo magnético. As figuras 4.A e 4.B descrevem respectivamente uma magneto-resistência, comportando um empilhamento de camadas ferromagnéticas 16 e 5 não magnética 17 de alguns nanômetros de espessuras respectivamente em campo nulo, e em presença de um campo magnético aplicado. Em campo nulo, as imantações representadas por setas das camadas ferromagnéticas 16 de ambos os lados da camada não ferromagnética 17 são 10 orientadas em direções opostas. A passagem do elétron perpendicularmente através das camadas é difícil, induzindo uma resistência elevada  $R_0$ . Sob a ação do campo magnético aplicado, as imantações são orientadas em posição paralela ao campo aplicado, essa configuração deixa passar mais 15 facilmente os elétrons, induzindo então uma redução da resistência  $R_1$ .

As magneto-resistências são realizadas, por exemplo, por um processo de microlitografia em um empilhamento de camadas ferromagnéticas e não magnéticas, comportando uma 20 etapa de fotolitografia e uma etapa de gravura para obter-se uma rede de pilares de magneto resistivos.

A figura 5 representa esquematicamente uma vista de topo do dispositivo de controle, de acordo com os modos de realização apresentados anteriormente. De acordo com uma 25 forma de realização particular da invenção, o dispositivo tem uma forma sensivelmente retangular, comportando, o caso, por exemplo, a título ilustrativo uma rede de 56 microcaptadores optoeletrônicos 3 ou magneto-resistivos 9 organizados em matriz linhas colunas. O dispositivo de 30 controle compreende, além disso, uma eletrônica de

interface 10, ligando a rede de microcaptadores 3, 9 a uma memória de registro 11. A eletrônica 10 e a memória 11 são também integradas no suporte flexível 2, de maneira a realizar vantajosamente um dispositivo de controle 5 monolítico.

Dados sob a forma de sinal elétrico característicos do campo magnético local medido pelos microcaptadores 3, 9 são transmitidos para a eletrônica de interface 10, que consiste, por exemplo, em um amplificador para aumentar a 10 potência do sinal, a fim de melhorar a relação sinal sobre ruído e também um conversor numérico/analógico para converter o sinal elétrico analógico recebido em sinal numérico. O sinal elétrico à saída da eletrônica de interface pode ser uma intensidade ou uma tensão.

15 O sinal elétrico amplificado é em seguida encaminhado para a memória de registro 11. A eletrônica de interface 10 é disposta na extremidade das linhas de microcaptadores na figura 5. Em uma outra forma de realização, a eletrônica de interface 10 pode ser disposta na extremidade das colunas 20 de microcaptadores.

A organização dos microcaptadores em matriz linhas colunas permite conseguir uma cartografia da distribuição do campo magnético, de modo de um defeito da peça pode ser localizado na superfície da peça.

25 A fim de localizar precisamente os defeitos, o passo entre microcaptadores é fixado, de preferência, em um valor inferior às dimensões dos defeitos mínimos a detectar, de modo que a discriminação da posição dos defeitos seja possível e de modo que, em caso de dano localizado da rede 30 de microcaptadores, os microcaptadores localizados em torno

da zona danificada da rede possam sempre permitir realizar uma fiscalização das zonas o mais próximo possível do defeito, capaz de aparecer na zona fiscalizada.

Em um modo de realização particular da invenção, o modo de transferência do sinal elétrico oriundo dos microcaptadores 3, 9 para a eletrônica de interface 10 é um modo de transferência em interlinhas. Acima de cada linha de microcaptadores é disposta uma linha de armazenagem 18. O sinal é temporariamente armazenado nessa linha de armazenagem 18. O conteúdo das linhas armazenagem é em seguida transferido para a eletrônica de interface 10, segundo um modo em paralelo. Em seguida, os sinais elétricos são evacuados em série para uma memória de registro 11.

Em uma variante do modo de transferência do sinal elétrico, cada microcaptador é endereçado diretamente para enviar o sinal elétrico à eletrônica de interface 10.

A fim de tratar, de maneira automática, o sinal elétrico medido pelos microcaptadores, o dispositivo de controle compreende, além disso, um sistema calculador 13 para converter o sinal elétrico em sinal representativo do campo magnético de escapamento emitido pela peça e determinar uma distribuição do campo magnético. O sistema calculador é, por exemplo, um sistema com microprocessador.

Em um modo preferido de realização da invenção, representado na figura 6, o sistema calculador não sendo integrado no suporte flexível 2, o dispositivo comporta meios de emissão 12, para enviar o sinal elétrico registrado na memória de registro 11 para o sistema calculador 13, utilizando uma ligação sem fio, rádio ou

infravermelho. Esses meios de emissão comportam, por exemplo, um transponder integrado no suporte flexível que funciona, de preferência, a uma freqüência fixada, essa freqüência sendo escolhida, de modo que a emissão do sinal elétrico representativo da distribuição do campo magnético de escapamento da peça não interfere com a emissão dos outros dados por dispositivos diferentes do dispositivo de controle 1.

Os meios de emissão 12 para enviar o sinal elétrico registrado na memória 11 para o sistema calculador 13 podem 10 ser também uma ligação filar.

O sinal elétrico recebido pelo sistema calculador 13 é convertido em sinal representativo do campo magnético de escapamento da peça, graças a meios de cálculo no qual é 15 integrado um modelo teórico adaptado, ligando o campo magnético ao sinal elétrico. Esses meios de cálculo geram cartografias que podem ser uma cartografia da amplitude, e uma cartografia em representação espectral do campo magnético. Esses dados representativos da distribuição do 20 campo magnético emitido pela peça são em seguida enviados para meios de análise.

Os meios de análise comportam meios de análise comparativa para efetuar um estudo comparativo em amplitude entre a distribuição do campo magnético medido pela rede de 25 microcaptadores e a distribuição de referência. Vantajosamente, esses meios de análise comparativa permitem estabelecer uma cartografia de uma distribuição de variação do campo magnético de escapamento da peça. Para isso o sistema calculador comporta uma memória, na qual é registrada uma base de dados de cartografias da 30

distribuição do campo magnético de referência da peça. Essas cartografias de referência constituem um modelo de comparação pré-definido em relação ao comportamento da zona abrangida pelo dispositivo de controle. Essas cartografias de referência podem ser pré-determinadas sobre uma peça de referência. Entende-se por peça de referência uma peça julgada como não comportando defeito, por exemplo, uma peça à saída de sua linha de fabricação e tendo tido sucesso em todas as etapas de qualificação. Elas podem ser também pré-determinadas por uma modelização. Nesse modo de realização, o sistema calculador é, de preferência, um sistema portátil. Quando os meios de análise fazem uma comparação em amplitude entre a distribuição do campo magnético de referência e a distribuição do campo magnético medido pelos microcaptadores, caso o valor diferencial determinado entre o campo de referência e o campo medido ultrapasse um valor limite, um sinal de estado S é gerado pelos meios de análise.

Vantajosamente, os meios de análise comportam meios de análise espectral que determinam uma representação espectral do campo magnético de escapamento medido pelos microcaptadores para determinar informações relativas aos defeitos presentes na peça. Notadamente, a análise espectral permite determinar a natureza do defeito e sua dimensão.

No âmbito de um controle em tempo real das estruturas, o dispositivo de controle é, por exemplo, programado para ser ativado, quando o avião não está mais no solo e efetua medidas com intervalos de tempos regulares, por exemplo, a cada 5 minutos durante um período determinado, de maneira a

• fazer medidas em função do tempo. Assim, o dispositivo de controle permite obter uma cartografia da zona fiscalizada em função do tempo para estabelecer a evolução da distribuição do campo magnético.

5 O sinal de estado, assim como todas as informações relativas aos defeitos, tais como a natureza dos defeitos, a dimensão dos defeitos e a localização dos defeitos são transmitidos pelo sistema calculador para meios de alarme 14 que comportam, por exemplo, uma tela de afixação 22, 10 para afixar as informações e indicadores luminosos e/ou sonoros 20 para advertir o operador de manutenção.

A transmissão dos sinais elétricos registrados na memória 12 para o sistema calculador pode ser programada, de maneira que seja efetuada automaticamente no fim de um 15 vôo do avião, por exemplo. Essa transmissão pode também ser ativada manualmente pelo operador de manutenção, interrogando o dispositivo de controle, quando da inspeção do avião.

Em um outro modo de realização da invenção, o sistema 20 calculador 13 é integrado diretamente no suporte flexível 2 e conectado entre a eletrônica de interface 10 e a memória de registro 11. Nesse modo de realização, o sistema calculador 13 recebe diretamente o sinal elétrico da eletrônica de interface 10 e envia para a memória de 25 registro 12 somente o sinal de estado e as informações relativas aos defeitos. Quando de uma inspeção, interrogando o dispositivo, o operador descarrega o sinal de estado e as informações registradas na memória do dispositivo de controle para meios de alarme 14, utilizando 30 uma ligação fílar, sem fio, rádio ou infravermelho.

A figura 7 apresenta uma vista esquemática de uma rede de dispositivos de controle 1 dispostos sobre a superfície das estruturas de um avião 15. O avião está no solo e a rede de dispositivos de controle 1 está em posição de transmissão de sinais registrados no decorrer do vôo do avião para um sistema calculador 13 que é ligado a meios de alarme 14 que comportam, no caso, por exemplo, um computador com uma tela de afixação 22 e indicadores sonoros 20.

Todos os componentes eletrônicos integrados no suporte flexível são realizados, a partir de uma tecnologia de microfabricação sobre um substrato duro transposta no caso sobre um substrato flexível, tal como um substrato plástico. Todavia, a temperatura utilizada no decorrer do processo de microfabricação é capaz de destruir o substrato plástico. Uma das soluções proposta atualmente consiste inicialmente em realizar os componentes sobre um substrato duro depositado ele próprio sobre vidro. O substrato duro é, por exemplo, silício, alumina  $Al_2O_3$ . Uma outra camada de vidro que serve de proteção vem se fixar sobre os componentes por meio de um adesivo solúvel, o substrato duro é, em seguida, retirado do empilhamento por ablação por meio de um laser. Os componentes são aplicados sobre um substrato plástico e fixados neste por meio de um adesivo permanente e o vidro de proteção é retirado.

Em um exemplo de realização da invenção, o dispositivo de controle se apresenta sob a forma de uma película fina que tem uma espessura da ordem de 50  $\mu m$ , e uma superfície de 10 x 10 cm de lado que integra microcaptador de dimensão

da ordem de centena de micron, com um passo de aproximadamente uma dezena de micron, por exemplo.

A invenção foi apresentada no âmbito do controle das peças de aeronaves, mas pode ser utilizada em todos os 5 setores industriais nos quais o controle da integridade das peças trabalhadas é importante, tais como o automobilístico, o ferroviário, a construção naval ou o nuclear.

## REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo de controle não destrutivo (1) de uma peça eletricamente condutora (4), comportando

meios de geração de um campo magnético de excitação, 5 caracterizado pelo fato desses meios de geração serem integrados em um suporte (2) apto a abranger uma zona da superfície dessa peça a controlar, e

meios de medida de uma distribuição do campo magnético de escapamento emitido por essa peça a controlar submetido 10 a esse campo magnético de excitação, quando esse suporte está sobre a superfície da zona da peça, e em que esses meios de medida de uma distribuição do campo magnético são superpostos a esses meios de geração.

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, 15 caracterizado pelo fato desse suporte (2) ser um suporte flexível destinado a vir abranger essa zona da superfície da peça (4), assumindo a forma da peça.

3. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato desses meios de medida 20 comportarem um conjunto de microcaptadores aptos a gerarem uma cartografia da distribuição do campo magnético de escapamento na superfície dessa peça.

4. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato das dimensões e da disposição dos 25 microcaptadores serem determinadas para estarem aptas a detectarem variações da distribuição do campo magnético de escapamento induzidas pela presença do defeito tendo mais pequenas dimensões cuja a detecção é procurada.

5. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1, 2, 30 3 ou 4, caracterizado pelo fato desses meios de geração

desse campo magnético de excitação compreenderem uma rede de microbobinas (6), cada uma dessas microbobinas sendo percorrida por uma corrente alternada para gerar esse campo magnético de excitação.

5 6. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1, 2, 3 ou 4, caracterizado pelo fato desse meios de geração desse campo magnético de excitação compreenderem uma rede de microondas.

10 7. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, caracterizado pelo fato desses meios de medida compreenderem uma membrana de cristal líquido (7) sensível ao campo magnético e uma rede de microcaptadores optoeletrônicos (3) superposta a essa membrana de cristais líquidos (7).

15 8. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de cada microcaptador optoeletrônico (3) comportar uma célula foto-sensível para transformar a radiação luminosa recebida em cargas elétricas, essa célula sendo acoplada a um dispositivo de 20 transferência de cargas para receber as cargas elétricas.

25 9. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 ou 6, caracterizado pelo fato de esses meios de medida compreenderem uma rede de microcaptadores magneto-resistivos (9) para medir diretamente essa distribuição do campo magnético de escapamento emitido por essa peça.

10. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9, caracterizado pelo fato de essas redes serem organizados em matrizes linhas colunas.

30 11. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10, caracterizado pelo fato

desse dispositivo compreender ainda uma eletrônica de interface (10), ligando esses meios de medida a uma memória de registro (11).

12. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 11,  
5 caracterizado pelo fato dessa eletrônica de interface (10)  
e dessa memória (11) serem integradas nesse suporte  
flexível (2), de maneira a realizar um dispositivo de  
controle monolítico (1).

13. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 7, 8,  
10 9, 10, 11 ou 12, caracterizado pelo fato dessa eletrônica  
de interface (10) ser disposta na extremidade das linhas de  
microcaptadores optoeletrônicos ou de microcaptadores  
magneto-resistivos.

14. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 7, 8,  
15 9, 10, 11 ou 12, caracterizado pelo fato dessa eletrônica  
de interface (10) ser disposta na extremidade das colunas  
de microcaptadores optoeletrônicos ou de microcaptadores  
magnéticos.

15. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 1, 2,  
20 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ou 14, caracterizado  
pelo fato desse dispositivo de controle (1) compreender um  
sistema calculador (13), tal como um sistema com  
microprocessador.

16. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 15,  
25 caracterizado pelo fato desse sistema calculador (13) não  
ser integrado no suporte flexível (2), o dito dispositivo  
de controle comportando meios de emissão para enviar sinais  
elétricos registrados na memória de registro (11) para esse  
sistema calculador (13), utilizando uma ligação filar, sem  
30 fio, rádio ou infravermelho.

17. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato desse sistema calculador (13) ser integrado nesse suporte flexível (2) e ser conectado entre essa eletrônica de interface (10) e essa memória de 5 registro (11).

18. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 ou 17, caracterizado pelo fato desse sistema calculador (13) compreender uma memória contendo pelo menos uma cartografia 10 de uma distribuição do campo magnético de referência da peça ou das peças, meios de cálculo convertendo os sinais elétricos recebidos por esse sistema calculador em distribuição do campo magnético de escapamento, e meios de análise dessa distribuição do campo magnético medido pelos 15 microcaptadores em relação à distribuição do campo magnético de referência.

19. Dispositivo de controle, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de pelo menos essa cartografia da distribuição do campo magnético de 20 referência ser pré-determinada sobre uma peça de referência.

20. Dispositivo de controle, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de pelo menos essa cartografia da distribuição do campo magnético de 25 referência ser pré-determinada sobre uma peça de modelização.

21. Dispositivo de controle, de acordo com as reivindicações 18, 19 ou 20, caracterizado pelo fato desses meios de análise compreenderem meios de análise comparativa 30 entre a distribuição do campo magnético medido e a

distribuição do campo magnético de referência.

22. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato desses meios de análise comparativa comportarem meios para gerar um sinal de estado S e 5 informações relativas a defeitos presentes na peça.

23. Dispositivo, de acordo com as reivindicações 16, 17, 18, 19, 20, 21 ou 22, caracterizado pelo fato desse sinal de estado S e dessas informações serem transmitidas por esse sistema calculador para meios de alarme (14).

10 24. Dispositivo de controle, de acordo com as reivindicações 17, 18, 19, 20, 21 ou 22, caracterizado pelo fato desse sinal de estado S e dessas informações serem registrados nessa memória de registro (11) ligado a esse sistema calculador (13), depois transmitidos para meios de 15 alarme (14), utilizando uma ligação filar, sem fio, rádio ou infravermelha.

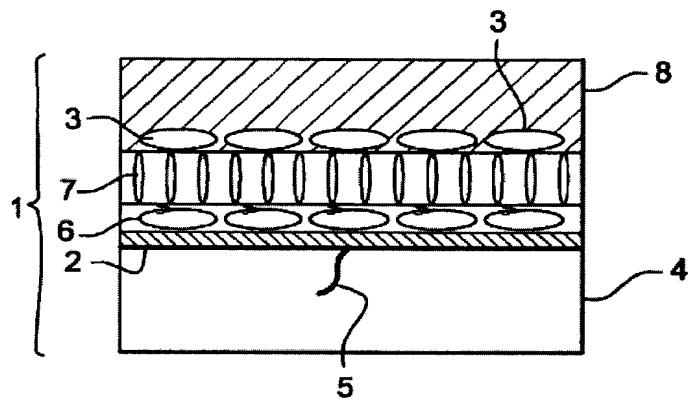
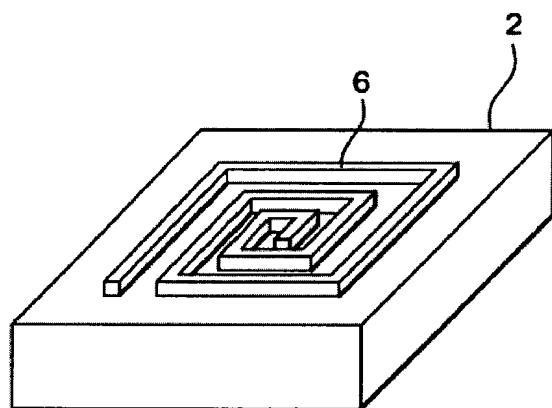
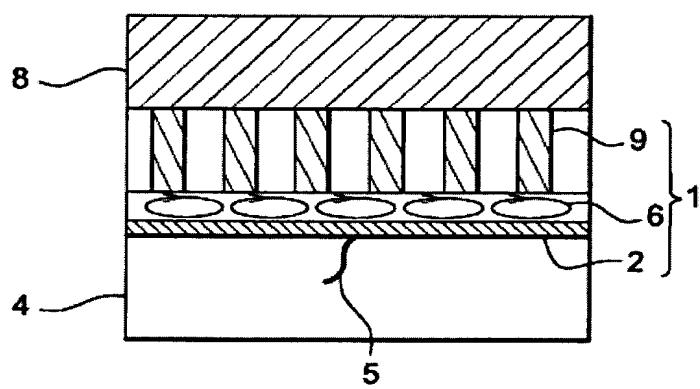
25. Dispositivo de controle, de acordo com a reivindicação 23 ou 24, caracterizado pelo fato desses meios de alarme (14) comportarem meios de afixação (22) e 20 indicadores luminosos ou sonoros (20).

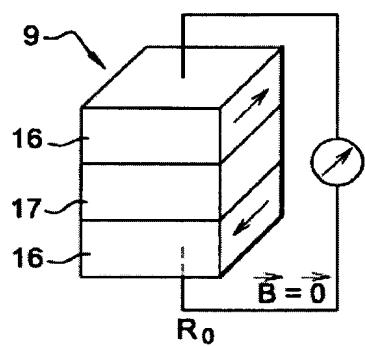
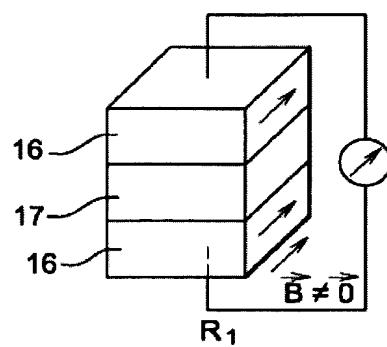
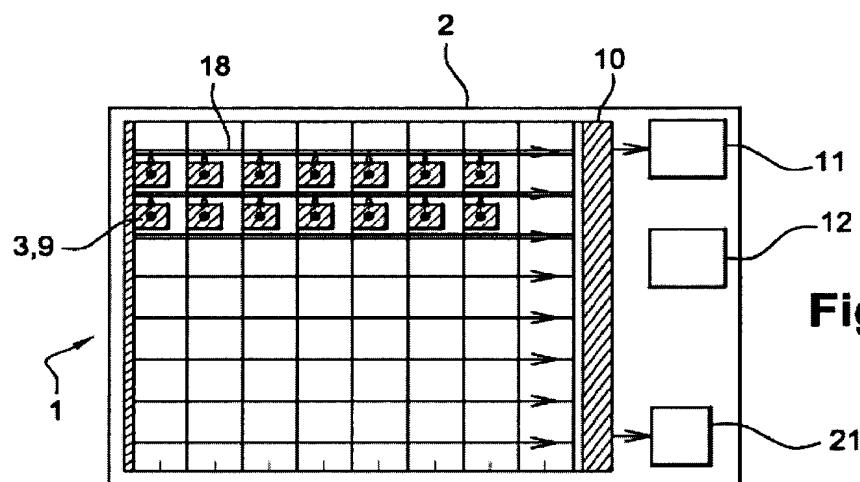
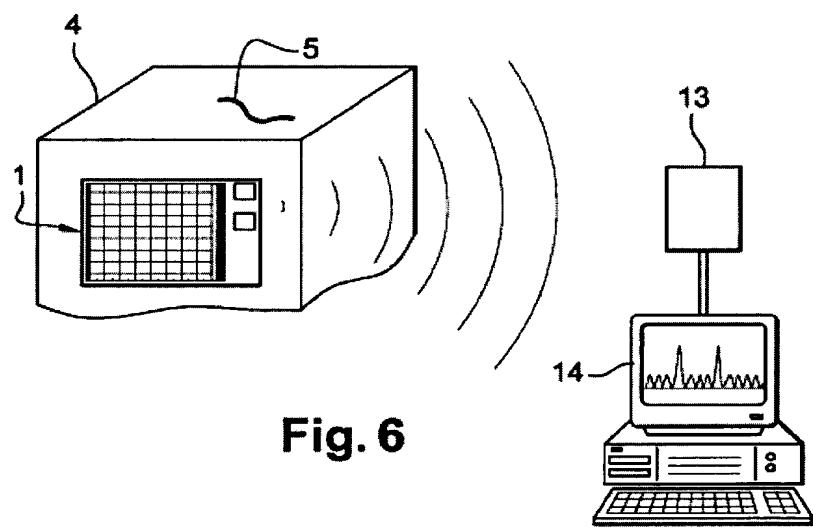
26. Dispositivo de controle, de acordo com uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 ou 25, caracterizado pelo fato desses microcaptadores magneto- 25 resistivos (9) ou os microcaptadores optoeletrônicos (3) serem de dimensão da ordem de uma centena de micron.

27. Dispositivo de controle, de acordo com uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 ou 26, 30 caracterizado pelo fato da espessura desse dispositivo de

controle (1) ser inferior ou igual a 50  $\mu\text{m}$ .

28. Dispositivo de controle, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 5 ou 27, caracterizado pelo fato desse suporte flexível (2) do dispositivo de controle (1) ser fixado sobre a superfície da peça (4) a controlar por meio de um material adesivo.

**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3**

 $R_1 < R_0$ **Fig. 4B****Fig. 5****Fig. 6**

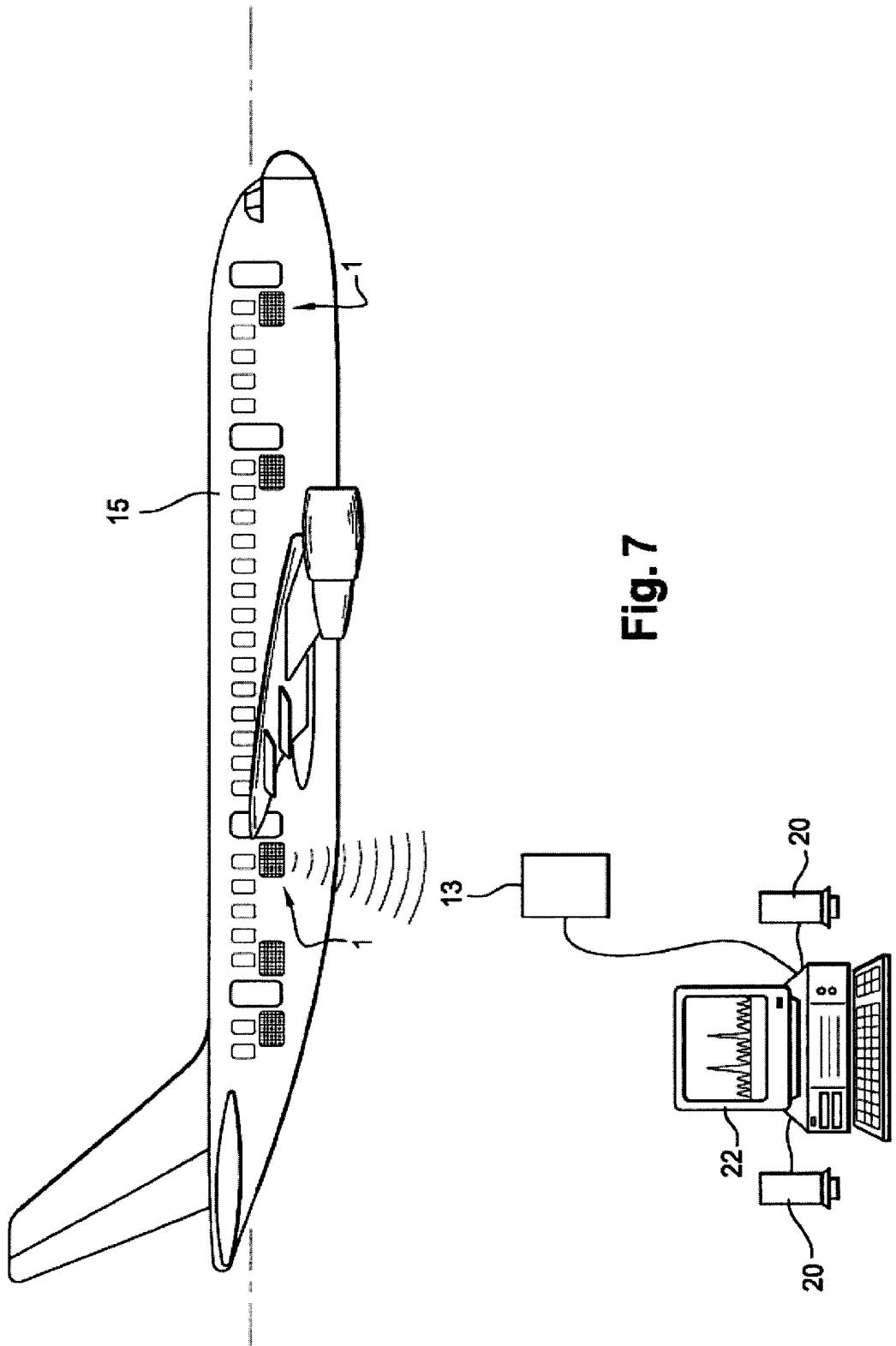


Fig. 7

RESUMO**DISPOSITIVO DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE UMA PEÇA POR  
ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE ESCAPAMENTO**

A presente invenção se refere a um dispositivo de controle não destrutivo (1) de uma peça (4) por análise de distribuição do campo magnético de escapamento emitido pela peça, quando ela é submetida a um campo magnético de excitação, compreendendo meios de geração de um campo magnético de excitação no meio da peça a controlar, e meios de detecção e de medida da distribuição do campo magnético. O conjunto dos meios é integrado em um suporte flexível (2) para formar um dispositivo sob a forma de revestimento flexível destinado a vir se fixar sobre uma zona da superfície da peça a controlar (4). A presente invenção encontra aplicações para o controle não destrutivo (CND) das peças de aeronave, mas pode ser utilizada em todos os setores industriais, nos quais o controle da integralidade das peças é importante, tais como o automobilístico, o ferroviário, a construção naval ou o nuclear.