



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: 2 666 890

51 Int. Cl.:

G01B 7/16 (2006.01) G01L 1/00 (2006.01) G01M 5/00 (2006.01) H01L 41/00 (2013.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: 03.03.2005 PCT/US2005/006894

(87) Fecha y número de publicación internacional: 15.09.2005 WO05084358

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: 03.03.2005 E 05724438 (6)

(54) Título: Dispositivo de detección de daños

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea:

(30) Prioridad:

03.03.2004 US 549668 P 07.10.2004 US 616704 P

Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: **08.05.2018**

(73) Titular/es:

14.02.2018

METIS DESIGN CORPORATION (100.0%) 205 Portland Street, Suite 400 Boston, Massachusetts 02114, US

EP 1735586

(72) Inventor/es:

KESSLER, SETH, S.; JUGENHEIMER, KRISTIN, A.; SIZE, AARON, B. y DUNN, CHRISTOPHER, T.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de detección de daños

5 Campo de la invención

La invención se refiere, en general, al campo de la detección de daños y los sistemas de monitorización de salud estructural implementados en aplicaciones aeroespaciales, automovilísticas, navales, civiles u otras aplicaciones.

10 Antecedentes de la invención

Los métodos de ensayos estructurales no destructivos de laboratorio (NDT) conocidos, tales como la detección por rayos X y los C-scan, no son prácticos para la inspección de servicio de las estructuras edificadas debido al tamaño y la complejidad de su infraestructura. La monitorización de salud estructural (SHM) implica la incorporación de métodos de ensayos no destructivos en una estructura para proporcionar una monitorización remota continua de los daños. Los sistemas SHM son sistemas con la capacidad de detectar e interpretar cambios adversos en una estructura, tal como un avión u otras aeronaves, automóviles y aplicaciones navales, por ejemplo. Los sistemas SHM que se han implementado en diversas industrias incluyen, en general, la incorporación de galgas extensiométricas o termopares para monitorizar los cambios en la tensión, frecuencia y temperatura. Las "cajas negras" de las aeronaves que recopilan datos de vuelo críticos son formas conocidas de SHM. Los esfuerzos actuales de los SHM se han centrado en los métodos de detección y la física de sensores para la detección de daños, sin embargo, el nodo de sensor necesario para emplear los métodos sigue en gran parte sin abordar.

La publicación internacional n.º WO90/12296 describe un transductor o accionador semiconductor que usa soportes corrugados.

La patente de Estados Unidos n.º 6.370.964 describe una capa de diagnóstico y métodos para detectar la integridad estructural de materiales compuestos y metálicos usando sensores.

La publicación internacional n.º WO03/055063 describe un miembro compuesto para un resonador que tiene un elemento piezoeléctrico activo y un elemento piezoeléctrico pasivo cuyo acoplamiento electromecánico se modifica para modificar la resonancia del miembro compuesto.

Sumario de la invención

35

40

15

20

25

La invención se refiere a un sensor de detección de daños para proporcionar componentes empaquetados para facilitar la detección de daños usando una diversidad de sensores y métodos de detección. Las realizaciones de la invención proporcionan un dispositivo para su uso en la detección de daños estructurales. El dispositivo incluye al menos una oblea piezoeléctrica, incluyendo la oblea un sensor y un accionador dentro de plano con el sensor, rodeando al menos parcialmente al menos uno de entre el sensor y el accionador el otro de entre el sensor y el accionador, de tal manera que la oblea piezoeléctrica proporciona una detección radial de incidencias estructurales.

Las implementaciones de la invención pueden incluir una o más de las siguientes características. El dispositivo puede incluir un circuito flexible configurado para proporcionar alimentación a la al menos una oblea piezoeléctrica.

El circuito flexible puede configurarse para proporcionar una conexión de comunicación al sensor para recopilar datos del sensor. El circuito flexible puede configurarse para proporcionar protección al sensor y al accionador. El dispositivo puede incluir una carcasa construida y dispuesta para encapsular el sensor y el accionador. La carcasa puede incluir un anillo cilíndrico exterior y una tapa. El sensor y el accionador pueden colocarse en el anillo cilíndrico. El dispositivo puede incluir, además, unos conectores coaxiales construidos y dispuestos para proporcionar un alivio de tensión al sensor y al accionador. Los conectores coaxiales pueden incluir unos conectores coaxiales en miniatura que proporcionan conexión entre la al menos una oblea piezoeléctrica y al menos un componente electrónico en la carcasa.

Las implementaciones de la invención pueden incluir, además, una o más de las siguientes características. El sensor puede ser al menos uno de una geometría que incluye formas triangulares, circulares, semicirculares, cuadradas, rectangulares, octogonales, hexagonales y de torta. El accionador puede ser al menos uno de una geometría que incluye formas triangulares, circulares, semicirculares, cuadradas, rectangulares, octogonales, hexagonales y de torta. El accionador puede rodear sustancialmente por completo el sensor. El sensor puede rodear sustancialmente por completo el accionador. El dispositivo puede incluir una pluralidad de sensores localizados conjuntamente en al menos una oblea piezoeléctrica, estando la pluralidad de accionadores localizados conjuntamente en la al menos una oblea piezoeléctrica, estando la pluralidad de accionadores localizados conjuntamente en la al menos una oblea piezoeléctrica, estando la pluralidad de accionadores rodeados en conjunto, al menos parcialmente, por el sensor. La al menos una oblea piezoeléctrica puede proporcionar sustancialmente una detección radial de 360 grados de incidencias estructurales en un material.

65

55

60

ES 2 666 890 T3

Otras realizaciones de la invención proporcionan un nodo de detección de daños para detectar daños estructurales. El nodo incluye una carcasa, un circuito flexible colocado en la carcasa, una oblea piezoeléctrica colocada en la carcasa y que tiene un sensor y un accionador, estando al menos uno de entre el sensor y el accionador colocado para rodear, al menos parcialmente, al otro de entre el sensor y el accionador. El circuito flexible proporciona una conexión de comunicación a la oblea piezoeléctrica.

La invención proporciona una o más de las siguientes capacidades. El dispositivo de detección de daños puede producirse en masa a bajo coste y personalizarse para cualquier aplicación de software. El dispositivo puede implementarse ampliamente en aplicaciones aeroespaciales, automovilísticas, navales y civiles, o en cualquier campo en el que se requiera un único sensor o una red distribuida de sensores para recopilar datos. El dispositivo puede integrarse en estructuras antiguas o integrarse en estructuras de nuevo diseño. La invención puede permitir la eliminación de inspecciones programadas. El diseño estructural puede mejorarse con una mayor fiabilidad y menores costes de ciclo de vida. Las realizaciones de la invención pueden construirse sin el uso de soldadura ni cables expuestos. Puede lograrse la detección con menos sensores sin limitar el intervalo en el que se desea la detección. Las realizaciones de la invención pueden implementarse como un sistema de monitorización continua, que puede requerir menos intervención humana. Otras capacidades serán evidentes tras una revisión de las figuras y la descripción detallada siguientes.

Breve descripción de los dibujos

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

La figura 1 es una vista en perspectiva de un dispositivo de detección de daños.

La figura 2 es un dibujo de conjunto despiezado de la pila piezoeléctrica contenida en la cubierta de un dispositivo de detección de daños.

La figura 3 es una vista en perspectiva desde arriba de la parte interna de un dispositivo de detección de daños ensamblado.

La figura 4 es una vista en sección transversal de la parte interna de un dispositivo de detección de daños ensamblado

La figura 5A es una parte de la pila piezoeléctrica de la figura 2.

La figura 5B es una vista en perspectiva lateral de una parte de la pila piezoeléctrica de la figura 2.

La figura 6A incluye geometrías alternativas para un sensor sustancialmente rodeado por un accionador.

La figura 6B incluye geometrías alternativas para un accionador sustancialmente rodeado por un sensor.

La figura 7 es un diagrama de flujo de un proceso de uso de un dispositivo de detección de daños.

Descripción detallada de la invención

Las características y otros detalles de la invención se describirán ahora más específicamente. Se entenderá que las realizaciones específicas descritas en el presente documento se muestran a modo de ilustración y no como limitaciones de la invención. Las principales características de la presente invención pueden emplearse en diversas realizaciones sin alejarse del alcance de la invención.

Las realizaciones de la invención se dirigen a sensores y accionadores concéntricamente colocados. Las realizaciones de la invención pueden dirigirse a un sensor y un accionador piezoeléctricos para su uso en facilitar el ensayo no destructivo ("NDT") y la monitorización de salud estructural ("SHM") de detección de daños usando una diversidad de sensores y métodos de detección.

Las realizaciones de la invención pueden incluir sistemas de detección de daños que emplean uno o más de un detector de daños piezoeléctrico. Las realizaciones de la invención se refieren a un conjunto de componentes eléctricos y mecánicos necesarios para realizar in situ métodos de detección de daños. Las realizaciones de la invención pueden implementarse como sistemas por cable o como sistemas inalámbricos. Las realizaciones de la invención pueden usarse en SHM de aeronaves, naves espaciales, navíos y automóviles. Las realizaciones de la invención pueden usarse en otras estructuras que usan redes de sensores y para realizar procedimientos de ensayo distintos de los procedimientos NDT y SHM. Por ejemplo, las realizaciones de la invención pueden usarse para una evaluación no destructiva, medición de datos, monitorización de uso (HUMS), seguridad, vigilancia o control de calidad. Las realizaciones de la invención pueden usarse para otras aplicaciones.

Haciendo referencia a la figura 1, un nodo de sensor 5, o parche, incluye una carcasa 10, un conector 12 y un conector 14. La carcasa incluye un cuerpo de cilindro 16 y una tapa superior 18. El cilindro 16 y la tapa superior 18 se sellan para formar una encapsulación, o carcasa 10. La carcasa 10 encapsula los componentes electrónicos del nodo de sensor 5. Tal como se usa en el presente documento, el nodo 5 hace referencia a una única unidad de sensor.

En una vista ampliada, en la figura 2, la pila piezoeléctrica 30 contenida en la carcasa 10 incluye una protección de KaptonTM recubierto de cobre 40, una película adhesiva 42, un electrodo de Kapton recubierto de cobre 44, un adhesivo eléctricamente conductor 46, una segunda capa de adhesivo de película 48, el sensor piezoeléctrico 50 y el accionador 51, una tercera capa de adhesivo de película 52 que tiene una parte eléctricamente conductora 53, una capa de película de poliéster 54 y una cuarta capa de adhesivo de película 56. Para los siguientes fines, el par

de sensor 50/accionador 51 puede denominarse oblea piezoeléctrica 29. La protección de KaptonTM recubierto de cobre 40 es una capa de Kapton recubierto de cobre que proporciona una superficie aislante en la parte superior y una protección contra interferencias electromagnéticas (EMI) en la parte inferior. La película adhesiva 42 puede ser un aislante capaz de unirse al Kapton recubierto de cobre. Por ejemplo, la película adhesiva 42 puede ser un adhesivo de película 3132 de 3 mm. El electrodo de circuito flexible 44 es una capa de Kapton recubierto de cobre. El patrón de electrodo puede crearse usando cloruro férrico. El electrodo de Kapton recubierto de cobre 44 proporciona contactos tanto al sensor 50 como al accionador 51. El electrodo de Kapton recubierto de cobre 44 también puede proporcionar un lazo de tierra de protección entre el sensor 50 y el accionador 51. El lazo de tierra puede evitar el ruido parasitario dentro de plano. El adhesivo eléctricamente conductor 46 y la segunda capa de adhesivo de película 48 conectan los cables al sensor piezoeléctrico 50 y al accionador 51. El adhesivo 46 y la segunda capa adhesiva de película 52 proporciona una capa eléctricamente conductora de adhesivo y se coloca debajo de la capa de sensor 50/accionador 51 para proporcionar una tierra común. La capa de película 54 y la cuarta capa de adhesivo de película 56 proporcionan un refuerzo semirrígido para el montaje en una estructura que el nodo de sensor 5 está monitorizando.

5

10

15

20

25

30

35

40

55

60

65

El electrodo de Kapton recubierto de cobre 44 proporciona trazas de tierra y de señal desde el sensor 50, para conectarse a una placa de circuito impreso a través de los microconectores 12 y 14, tal como los conectores MMCX, por ejemplo, para proporcionar una interfaz para el ensamblaje. El electrodo de Kapton recubierto de cobre 44 también proporciona una protección dentro y fuera de plano para la señal de sensor analógica creando una jaula Faraday de cobre que rodea la traza.

El sensor 50/accionador 51 se controla mediante el electrodo de circuito flexible 44. Las capas de adhesivo entre el electrodo 44 y el sensor 50/accionador 51 conectan cada capa de la pila piezoeléctrica 30. Las capas de adhesivo pueden ser eléctricamente conductoras. Como alternativa, las capas de adhesivo pueden conectar otras capas sin conductividad eléctrica. El sensor piezoeléctrico 50 mide las ondas reflejadas en un material en el que se coloca el sensor. Los sensores pueden registrar, por ejemplo, fenómenos tales como la tensión, aceleración, ondas sonoras, impedancia eléctrica o magnética, presión o temperatura. El accionador piezoeléctrico 51 excita las formas de onda en un material para crear ondas reflejadas que el sensor 50 mide.

La carcasa 10 proporciona una interfaz entre el sensor 50 y la estructura a la que el nodo 5 está conectado para su monitorización. Cuando se ensambla, el nodo 5 es capaz de proporcionar una unidad de detección integrada para transmitir información sobre una estructura. Haciendo referencia a las figuras 3 y 4, el nodo de sensor que incluye la oblea piezoeléctrica 29 se ensambla en la carcasa 10. La carcasa 10 está compuesta por el cilindro 16 y la tapa superior 18. El cilindro 16 incluye la junta tórica interior 20 y una ranura de junta tórica 32, un anillo de conexión a tierra 34, unas aberturas de conector MMCX 36 y unas sujeciones de flexión 38. Las aberturas 36 se colocan para aceptar unos microconectores, tales como el conector 12 y el conector 14. Por ejemplo, los conectores pueden ser unos conectores MMCX que proporcionan alivio de tensión y conexiones coaxiales para la alimentación y la recopilación de datos. Las aberturas de conector MMCX 36 aceptan unos conectores MMCX que completan la conexión de acoplamiento con la parte interna de la carcasa 10 y se extienden hacia una parte externa del nodo 5. Las aberturas 36 pueden colocarse en lados opuestos del cilindro 16. La ranura de junta tórica 32 se coloca en una cara superior del cilindro 16 y aloja una junta tórica 20. La junta tórica 20 proporciona un sello que es preferentemente estanco al agua para evitar que la humedad entre en la carcasa 10.

Una parte superior del cilindro 16 puede enroscarse, por ejemplo, en una cara interna del cilindro 16. La tapa superior 18 puede ser una parte plana que tiene un reborde roscado para acoplarse con las roscas del cilindro 16. Como alternativa, la tapa superior 18 y el cilindro 16 pueden ajustarse en una serie de medios de cierre conocidos. Como alternativa, la tapa 18 puede diseñarse para completar la carcasa 10, incluyendo ajustes a presión encolados, un tapón de rosca y un bloqueo de leva, incorporando preferentemente juntas tóricas para proporcionar un sello.

La carcasa 10 proporciona una barrera para los componentes electrónicos del nodo 5. La carcasa 10 puede incluir una cubierta de plástico de baja absorción de humedad. Por ejemplo, un plástico de baja densidad, baja absorción de humedad y moldeable, tal como un Acetal (por ejemplo, Delrin) puede usarse como material de cubierta. La carcasa 10 proporciona un recinto para empaquetar cada componente de la infraestructura del nodo 5, protegiendo los componentes contra daños por impacto incidental, sellando los componentes contra la humedad, y aislando el sensor 50 de las grandes tensiones inducidas sobre la estructura o los cables. La carcasa 10 puede proporcionar protecciones o barreras adicionales para el nodo 5. Las dimensiones nominales para esta carcasa 10 pueden ser, por ejemplo, de aproximadamente 38,1 mm de diámetro y 7,62 mm de altura con un espesor de pared de 2,54 mm, sin embargo, dependiendo de la naturaleza de la aplicación, la carcasa 10 puede ser más pequeña o más grande en cualquier dimensión. Preferentemente, la carcasa 10 del dispositivo de detección tiene un diámetro exterior de aproximadamente 40,64 mm y un volumen total inferior a 16,39 ml. La altura de la carcasa puede ser de aproximadamente 12,7 mm.

La carcasa 10 puede sobrevivir a una gran diversidad de disolventes comunes, incluyendo combustibles, aceites, pintura, acetona y soluciones de limpieza, así como otros productos químicos. La carcasa 10 puede operar en condiciones térmicas entre -45,56 °C y 121,11 °C. La carcasa 10 puede diseñarse para operar en condiciones

térmicas por debajo de -45,56 °C o por encima de 121,11 °C. La carcasa 10 que contiene el nodo 5 puede adherirse a una estructura usando un adhesivo de película termoestable o termoplástico, o usando un epoxi tradicional. Son posibles otros adhesivos. Además, la carcasa 10 se construye, preferentemente, para resistir una tensión de 2000 microtensiones y puede tener una tolerancia de resonancia de vibración de 66 Hz o mayor.

La figura 5A es una vista de conjunto despiezada que muestra cada una de las capas del circuito flexible que rodea los elementos piezoeléctricos. Se incluyen capas conductoras en la parte superior con una capa de protección encima y una capa de conexión a tierra inferior. También se muestran las alas en capas que llevan la alimentación y la señal de sensor con unas protecciones en cada lado. La figura 5B es una versión ensamblada plegada de la figura 5A

El circuito flexible de electrodo 180, mostrado en la figura 5A, controla el sensor 50 y el accionador 51. El circuito flexible de electrodo está colocado por encima de la capa del sensor 50/accionador 51. Cada una de las capas del circuito flexible está conectada por el contacto de las lengüetas laterales, mostradas en la figura 5B. El circuito flexible 180 proporciona conexiones eléctricas. Se imprime un elemento de Kapton recubierto de cobre, de manera que haya tierras separadas para el accionador y el sensor, y separa las trazas de tierra para proporcionar una protección de señal dentro y fuera de plano. Las alas en el lado del circuito flexible 180 se pliegan hacia arriba. Las alas pueden proporcionar una conexión eléctrica en una localización sustancialmente adecuada durante la fabricación y la integración. Las alas están protegidas dentro y fuera de plano. Las alas terminan en conectores MMCX unidos por calor o soldados.

Los conectores proporcionan un soporte rígido para las conexiones electrónicas, y tienen una pestaña para proporcionar un alivio de tensión al nodo de detección 5. La carcasa de cobre proporciona una jaula de Faraday para la señal de sensor contenida en la misma. Fuera del dispositivo, los cables coaxiales estándar y los adaptadores MMCX complementarios se usan para conectar el dispositivo a los equipos electrónicos para proporcionar la excitación del accionador y la adquisición de datos.

La capa del sensor 50/accionador 51 del nodo 5 comprende un sensor circular concéntrico 50 que tiene un anillo exterior que comprende el accionador 51. El sensor 50 y el accionador 51 son componentes dentro de plano capaces de conectarse al circuito sin el uso de cables. Haciendo referencia a la figura 6A, el sensor dentro de plano 50 y el accionador 51 pueden ser un número de formas alternativas. Por ejemplo, el sensor 50 puede ser circular, semicircular, cuadrado, triangular, rectangular, en forma de tarta, hexagonal, octogonal y cualquiera de una serie de otras formas. El accionador 51 también puede tener cualquiera de una serie de formas configuradas para rodear sustancialmente el sensor 50. El diseño sustancialmente concéntrico del sensor 50 y el accionador 51 proporciona un funcionamiento omnidireccional del nodo 5. El diseño sustancialmente concéntrico del sensor 50 y el accionador 51 proporciona un método de detección de pulso/eco. Al tener un accionador que rodea un sensor o conjunto de sensores (o viceversa), esto permite que las señales excitadas (eléctricas, magnéticas, acústicas, vibratorias u otras) se emanen omnidireccionalmente desde una fuente casi puntual, y se tomen mediciones de respuesta desde casi la misma localización.

Tanto el sensor 50 como el accionador 51 pueden rodear, o rodear sustancialmente, al otro. En cada una de las configuraciones alternativas mostradas en la figura 6B, la parte central puede ser el accionador 51, rodeado por uno o más de un sensor 50. Por lo tanto, un sensor o un conjunto de sensores pueden estar rodeados por un accionador o un conjunto de accionadores. Como alternativa, un accionador o un conjunto de accionadores pueden estar rodeados por un sensor o un conjunto de sensores en el diseño concéntrico. En algunos sistemas, al menos uno de los nodos piezoeléctricos incluye un sensor 50 rodeado por un accionador 51, y al menos uno de los nodos piezoeléctricos incluye un accionador 51 rodeado por un sensor 50 donde cada uno de los nodos funciona en tándem con el otro u otros para lograr una detección material.

La configuración dentro de plano del par de accionador 51/sensor 50 logra hacer contacto con un material a monitorizar o probar usando una cinta termoestable o termoplástica, epoxi, usando un material de acoplamiento, o con una fuerza aplicada externamente. Son posibles y se prevén otros métodos de contacto de curado a temperatura ambiente o elevada. En algunas aplicaciones, el par de sensor 50 y accionador 51 no está encapsulado en una carcasa 10, sino que está colocado sustancialmente de forma directa sobre un material o estructura para su uso. El par de accionador 51/sensor 50 puede accionarse aplicando un campo eléctrico o magnético con el fin de excitar los modos de espesor pasante, axial, transversal o radial en el accionador. Este campo puede aplicarse a una cara paralela del accionador 51, o usando patrones de electrodos interdigitalizados. Los datos de tensión de sensor pueden medirse usando cualquiera de estos campos. Preferentemente, el sensor 50 y el accionador 51 se construyen de un material cerámico piezoeléctrico. Sin embargo, pueden usarse otros materiales conocidos, tales como otros materiales piezoeléctricos (PVDF, PMA, etc.), materiales piezorresistivos o materiales magnetorrestrictivos, por ejemplo.

El material piezoeléctrico específico usado para la oblea 29 puede ser PZT-5A con el fin de reducir la dependencia del rendimiento de la temperatura, sin embargo, también serían aceptables otros grados de PZT, tales como PZT-5H. Los elementos piezoeléctricos se moldean por inyección, se mecanizan o se micro-fabrican en procesos de

ES 2 666 890 T3

suma o de resta en la geometría deseada, habitualmente menos de 25,4 mm de diámetro. Son posibles y se prevén otras dimensiones, y pueden variar dependiendo de la optimización de una aplicación.

Los métodos de detección de daños usan el par de accionador 51/sensor 50 para determinar la presencia de daños en una estructura. Los métodos de detección de daños también pueden usarse para determinar el tamaño, la forma, el tipo, la localización y la extensión del daño en una estructura o material, así como la importancia del mantenimiento, la reparación o la sustitución. Por ejemplo, los métodos incluyen ondas de Lamb, análisis modal, emisión acústica, monitorización de tensión/estrés, y mediciones de temperatura y de aceleración. Cada uno de los métodos de detección de daños puede usar un único par de accionador 51/sensor 50 que mide a diferentes frecuencias y muestras de tiempo. Los métodos de detección pueden lograrse cambiando la frecuencia de accionamiento, la frecuencia de adquisición y los filtros.

Además, el uso de los métodos pasivos (tales como de tensión y/o de emisión acústica) para iniciar métodos activos (tales como de respuesta de frecuencia y de ondas de Lamb) puede usarse para ahorrar energía.

Pueden usarse modos activos a intervalos fijos o en ensayos de órdenes de usuario. Los métodos de detección pueden incluir métodos activos intermitentes, que pueden buscar información detallada. Los métodos pasivos pueden estar a la espera de eventos que puedan iniciar métodos activos de detección.

- Durante el funcionamiento, haciendo referencia a la figura 7, con referencia adicional a las figuras 1-6, un proceso 100 para detectar daños en un material o estructura usando un nodo 5 incluye las etapas mostradas. Sin embargo, el proceso 100 solo es a modo de ejemplo y no limitante. El proceso 100 puede modificarse, por ejemplo, añadiendo, eliminando o reorganizando etapas.
- En la etapa 102, un nodo 5 se coloca en la superficie de un material o una estructura para que se someta a ensayo o se monitorice la integridad estructural. Como alternativa, el nodo 5 puede estar integrado en un material o estructura para realizar la detección. Aunque el sistema puede funcionar de manera continua, las personas pueden acceder al sistema para realizar inspecciones bajo demanda.
- 30 En la etapa 104, el nodo 5 recopila datos relacionados con la estructura a la que está fijado.

5

10

15

35

40

45

50

55

60

El nodo 5 puede recopilar datos de forma pasiva, por ejemplo, usando métodos de tensión y de emisión acústica. Los métodos pasivos de detección de daños pueden usarse continuamente para detectar la presencia de daños en la estructura. Los métodos pasivos son, en general, aquellos que operan detectando respuestas debidas a las perturbaciones de las condiciones ambientales. La monitorización de la tensión se usa para registrar las tensiones por encima de los límites de diseño, y también puede usarse para iniciar métodos de detección más sofisticados. Al analizar los datos en escalas de tiempo más pequeñas, la emisión acústica puede realizarse pasivamente para detectar y registrar eventos de impacto y aproximar la energía del impacto. Los nodos 5 pasan la información recopilada a una unidad de procesamiento local en la etapa 106.

Se registran eventos de tensión y/o acústicos anómalos, como se muestra en la etapa 108.

Las condiciones que difieren de las condiciones ambientales de una estructura pueden registrarse y analizarse adicionalmente. Para determinar los daños, la comparación se realiza con una medición de línea base.

Cuando se han detectado eventos anómalos, se inicia un método de detección activo en el nodo 5, etapa 110. Cuando se encuentran datos anómalos, se inician métodos activos tales como técnicas de respuesta de frecuencia y de ondas de Lamb. Los métodos activos se usan para ofrecer más información sobre el tipo, la gravedad y la localización del daño. Los métodos activos, por ejemplo, usan una energía suministrada externamente en forma de estrés o una onda electromagnética para funcionar.

Ejemplos de métodos activos incluyen, pero sin limitarse a, mediciones de impedancia eléctrica y magnética, corrientes de Foucault, fibras ópticas que usan una fuente de luz láser, análisis modal y propagación de ondas de Lamb. Los métodos activos pueden iniciarse por un evento detectado por los métodos pasivos. Alternativa o simultáneamente, los métodos activos pueden realizarse a intervalos de tiempo preestablecidos o iniciarse por un operario.

En la etapa 112, los datos del modo de detección activo se recopilan para verificar daños. En un sistema que emplea más de un nodo 5 para la detección, una vez que un único nodo 5 ha recopilado daños, se recopilan datos por los nodos cercanos con el fin de ayudar a confirmar la presencia y gravedad del daño, etapa 114. En la etapa 116, los datos se pasan de nodo 5 a nodo 5, y a una unidad de procesamiento central para interpretarse. Por ejemplo, todos los datos pueden pasarse desde cada nodo 5. El tipo, gravedad y localización de los daños pueden comunicarse a otras personas, al igual que las acciones sugeridas.

65 En algunos métodos de la invención, el espaciamiento fijo entre el accionador 51 en un primer nodo 5 y el sensor 50 en un segundo nodo 5 puede usarse para calcular la velocidad de onda en un material en el estado presente del

material. El cálculo de la velocidad de onda autocalibra el sistema y puede reducir la necesidad de determinar los cálculos de velocidad de onda obtenidos analíticamente. El proceso de calibración 118 puede tener lugar antes de cada medición de ensayo. Basándose en el proceso de calibración 118, el sistema se autocompensa para los efectos de temperatura, humedad, tensión o fluencia. Por ejemplo, la distancia fijada entre el accionador y el sensor dividida por el tiempo de vuelo de la onda entre el accionador y el sensor determina la velocidad de onda. La onda puede ser, por ejemplo, una onda superficial, transversal, Raleigh, de Lamb u otro tipo de onda para usar en el cálculo de la velocidad de onda. La autocompensación puede usarse para determinar el estado de la estructura, por ejemplo, temperatura, humedad o tensión. Además, al medir la impedancia y otros datos distintivos, tales como la energía total y el espectro de frecuencia del accionador mientras se excita, puede realizarse un autodiagnóstico para detectar un funcionamiento irregular.

5

10

15

20

25

Los métodos activos de detección de daños pueden realizarse usando o bien un único nodo de detección de daños 5, o una red de varios dispositivos 5 que funcionan de manera independiente o en colaboración. Cuando se usa un único nodo 5, se usa una operación de tipo pulso-eco, donde la estructura que se monitoriza o se somete a ensayo se excita por un accionador, y una respuesta o unas reflexiones se miden por un sensor localizado en el mismo lugar. En caso de usar múltiples nodos 5, la detección de daños también puede realizarse mediante pulso-eco, mientras que cada nodo 5 recopila de manera independiente datos de respuesta o de reflexión, que se fusionan para mapear localizaciones de daños. Como alternativa, cuando se usa más de un nodo 5, también puede usarse un método de emisión-recepción ("pitch-catch"), mientras que un accionador de un nodo 5 excita las estructuras que se monitorizan o se someten a ensayo, y los sensores de uno o más nodos de dispositivo diferentes 5 miden la respuesta transmitida para determinar el estado de la estructura.

El dispositivo 5 en el que se produce el accionamiento se denomina nodo maestro. Cuando se usa el método de emisión-recepción, la designación del nodo maestro se realiza en ciclos de manera iterativa a través de cada uno de los diversos nodos 5, de modo que pueden recopilarse combinaciones de funciones de transferencia. El método preferido es emplear simultáneamente los métodos de pulso-eco y de emisión-recepción. Este caso es similar al método de emisión-recepción descrito anteriormente, sin embargo, en este caso, los datos reflejados procedentes del sensor de nodo maestro también se recopilan para fusionarse con todos los demás datos.

30 En las realizaciones de la invención, los métodos pueden facilitarse de una serie de maneras. Los ensavos pueden iniciarse usando un dispositivo de generación de señales arbitrario específico, tal como un Agilent 33220A, una fuente montada en bastidor como la ofrecida por National Instruments o una fuente personalizada. Estas fuentes sirven para excitar el accionador en el nodo 5, y también pueden usarse para iniciar la recopilación de datos. La recopilación de datos puede realizarse usando una diversidad de dispositivos de osciloscopio especializados o 35 virtuales que registran mediciones de tensión. Algunos ejemplos son el Tektronic 3024, varios dispositivos montados en bastidor PXI ofrecidos por National Instruments o un registrador de datos personalizado. La excitación y la recopilación de datos pueden iniciarse de forma manual, de forma remota usando una conexión en serie, GPIB, LAN o USB, o de forma automatizada usando un software personalizado. El método preferido de ensayo es la forma automatizada usando un software integrado de control y análisis de hardware, tal como LabVIEW o MATLAB. Puede 40 ordenarse a una unidad generadora de funciones arbitrarias designada que excite un accionador, inicie un osciloscopio designado para recopilar datos, analice los datos con una diversidad de lógica programada y muestre los resultados gráficos a un usuario.

Una vez que los datos de tensión se han recopilado mediante uno de los métodos descritos anteriormente, hay una diversidad de maneras de que estos datos puedan descomponerse con el fin de conocer el estado de la estructura. Los primeros datos pueden filtrarse y eliminarse usando filtros paso banda con el fin de eliminar el ruido eléctrico de alta frecuencia y la deriva de baja frecuencia y las vibraciones mecánicas.

Pueden usarse algoritmos que comparen los niveles de energía integrados recibidos en los sensores para determinar si el daño está presente; tanto el aumento de la energía reflejada como la disminución de la energía transmitida son medidas del daño. Esto va seguido por una evaluación del tiempo de reflexión del vuelo, con el fin de determinar la localización del daño multiplicando estos resultados por la velocidad de onda. Puede realizarse una transformada rápida de Fourier para inspeccionar el ancho de banda de frecuencia resultante. El ancho de banda de frecuencia se usa para determinar el tipo de daño presente en la estructura. Al usar tres físicas de sensor separadas para evaluar el daño, por ejemplo, puede minimizarse la aparición de falsos positivos.

REIVINDICACIONES

- 1. Un dispositivo para detectar daños estructurales, comprendiendo el dispositivo:
- 5 una encapsulación (10) configurada para conectarse a una estructura y que contiene al menos una oblea piezoeléctrica (29) y que incluye:

un sensor (50) configurado para detectar daños estructurales en la estructura;

un accionador (51) localizado junto con el sensor en la encapsulación, siendo el accionador coplanario con el sensor en la encapsulación,

caracterizado por que

10

15

25

45

50

al menos uno de entre el sensor y el accionador es arqueado y rodea al menos parcialmente el otro de entre el sensor y el accionador, de tal manera que el dispositivo proporciona una detección radial de incidencias estructurales desde una fuente puntual.

- 2. El dispositivo de la reivindicación 1 que comprende además un circuito flexible (180) configurado para proporcionar alimentación a la encapsulación.
- 3. El dispositivo de la reivindicación 2, en el que el circuito flexible está configurado además para proporcionar una conexión de comunicación al sensor para recopilar datos del sensor.
 - 4. El dispositivo de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que el circuito flexible está configurado además para proporcionar una protección (46, 48) para el sensor y para el accionador.
 - 5. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que la encapsulación es una carcasa (10) construida y dispuesta para encapsular el sensor y el accionador.
- 6. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que la carcasa incluye un anillo cilíndrico exterior (16) y una tapa (18), y en el que el sensor y el accionador están colocados en el anillo cilíndrico.
 - 7. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, que comprende además unos conectores coaxiales construidos y dispuestos para proporcionar un alivio de tensión para el sensor y el accionador.
- 35 8. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que los conectores coaxiales incluyen unos conectores coaxiales en miniatura (12, 14) que proporcionan conexión entre la al menos una oblea piezoeléctrica y al menos un componente electrónico.
- El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el sensor es al menos uno de una geometría que incluye formas triangulares, circulares, semicirculares, cuadradas, rectangulares, octogonales, hexagonales y de torta.
 - 10. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el accionador es al menos uno de una geometría que incluye formas triangulares, circulares, semicirculares, cuadradas, rectangulares, octogonales, hexagonales y de torta.
 - 11. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, que comprende además una pluralidad de sensores localizados conjuntamente en la al menos una oblea piezoeléctrica, en el que la pluralidad de sensores están rodeados en conjunto por el accionador.
 - 12. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, que comprende además una pluralidad de accionadores localizados conjuntamente en la al menos una oblea piezoeléctrica, en el que la pluralidad de accionadores están rodeados en conjunto por el sensor.
- 55 13. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que la al menos una oblea piezoeléctrica proporciona sustancialmente una detección radial de 360 grados de incidencias estructurales en un material.
 - 14. Un método para detectar daños estructurales, que comprende:
- 60 conectar una encapsulación (10) a una estructura, conteniendo la encapsulación al menos una oblea piezoeléctrica (29), que incluye un sensor (50) y un accionador (51), siendo el accionador coplanario con el sensor en la encapsulación; y detectar daños estructurales en la estructura usando el sensor, caracterizado por que al menos uno de entre el
- sensor y el accionador es arqueado y rodea al menos parcialmente al otro de entre el sensor y el accionador, de tal manera que el dispositivo proporciona una detección radial de incidencias estructurales desde una fuente puntual.

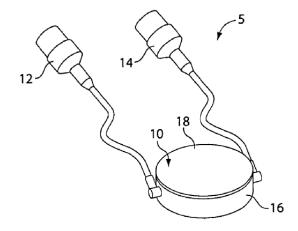
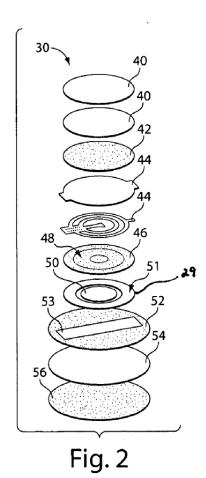


Fig. 1



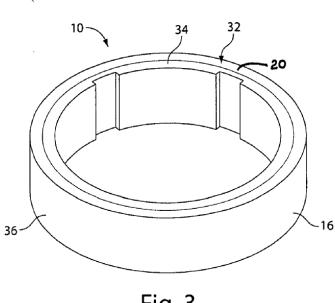
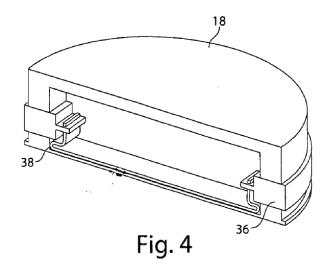


Fig. 3



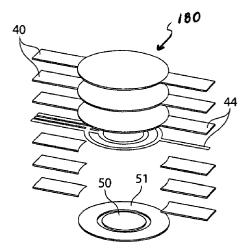
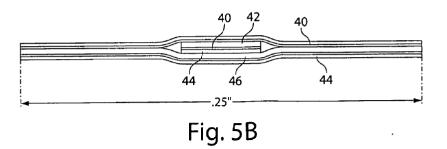


Fig. 5A



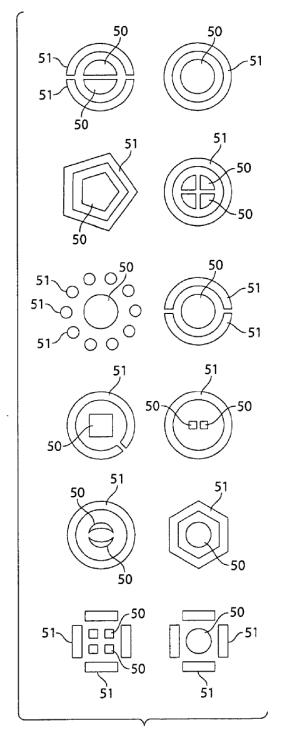
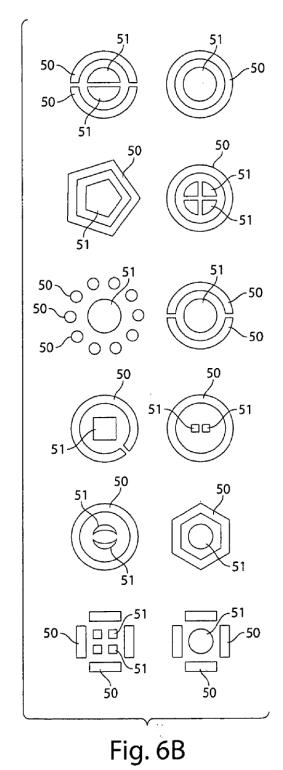


Fig. 6A



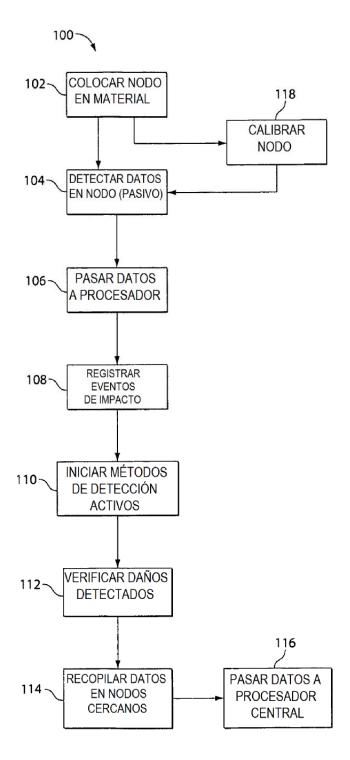


Fig. 7