

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 519**

51 Int. Cl.:
G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09793592 .8**
- 96 Fecha de presentación: **04.12.2009**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2281224**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.02.2011**

54 Título: **Procedimiento para el pronóstico de una estructura sometida a cargas**

30 Prioridad:
05.12.2008 IT TO20080908

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.06.2012

73 Titular/es:
**Alenia Aermacchi S.p.A.
Via Ing. Paolo Foresio 1
21040 Venegono Superiore (Varese), IT**

72 Inventor/es:
IANNONE, Michele

74 Agente/Representante:
Linage González, Rafael

ES 2 382 519 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el pronóstico de una estructura sometida a cargas.

- 5 La presente invención se refiere generalmente a una metodología de pronóstico estructural, y más específicamente a un método y un sistema para el pronóstico de una estructura mecánica, en particular una estructura de aeronave, adaptados para evaluar la presencia, o para monitorizar la aparición de daños o defectos inducidos en una estructura por cargas operativas y/o eventos de servicio.
- 10 En las metodologías de mantenimiento de sistemas (partes de productos o productos complejos), resulta extremadamente interesante la posibilidad de reducir los fallos inesperados mediante la monitorización de algunos indicadores del estado del sistema.
- 15 En aeronáutica, la aparición de daños o defectos en una estructura mecánica de una aeronave, tal como una estructura metálica o compuesta, por ejemplo la estructura del fuselaje o de las alas, es pronosticado mediante un registro histórico de los eventos entre cuyos eventos los daños causados debidos a impactos accidentales durante la fabricación (impacto de una herramienta) o el servicio (impacto con pedrisco o cascajo) y las cargas originadas en la estructura, o mediante una estimación de la fatiga a la que ha sido sometida la estructura, a partir del conocimiento de sus características de resistencia mecánica bajo cargas típicas en condiciones de servicio.
- 20 En particular, para estructuras compuestas, los impactos accidentales producen efectos apenas visibles desde el exterior, pero pueden causar daños relevantes en el interior de la estructura (por ejemplo, deslaminación).
- 25 Esta técnica es sin embargo cara y no muy precisa, puesto que no indica en tiempo real los cambios y las condiciones físicas y mecánicas de la estructura monitorizada.
- El documento US 5195046 divulga un método y un dispositivo para monitorizar elementos estructurales de aeronave y detectar anomalías y fallos de dichos elementos.
- 30 La invención tiene como objetivo proporcionar un método mejorado para el pronóstico estructural, que permita estimar continuamente de una manera fiable las condiciones físicas y mecánicas de una estructura.
- Un objeto adicional de la invención consiste en proporcionar un método de pronóstico aplicable sin pesadas cargas de cálculo, y que pueda ser así llevado a cabo a bordo de la aeronave también en condiciones de servicio, por ejemplo durante una misión.
- 35 De acuerdo con la presente invención, estos objetos han sido alcanzados mediante un método para el pronóstico de una estructura mecánica que tiene las características divulgadas en la reivindicación 1.
- 40 Realizaciones particulares constituyen el objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido ha de ser considerado como parte integral o integrante de la presente descripción.
- Otros objetos adicionales de la invención son un sistema y un programa de ordenador para el pronóstico de una estructura mecánica como la reivindicada.
- 45 En resumen, la presente invención se basa en la caracterización de una estructura mecánica bajo prueba sometida a cargas operativas capacitadas para producir esfuerzos locales sobre la misma, y en la correlación en tiempo real de los datos de esfuerzos reales y de los datos de esfuerzos teóricos, cuya comparación permite evaluar el estado de sonoridad o el estado defectuoso de la estructura.
- 50 La estructura bajo prueba está equipada con un número limitado de sensores de esfuerzo situados en puntos relevantes y de tal modo que se proporciona un modelo matemático que simula la estructura, siendo el modelo analítico o numérico dependiente de la complejidad morfológica de la estructura (típicamente un modelo de elemento finito de dos dimensiones o de tres dimensiones).
- 55 Se obtiene una deformación estimada de la estructura bajo prueba como una función de una carga dada por medio del modelo de estructura, interpolando o extrapolando la estructura completa a partir de un número limitado de valores reales de esfuerzo (u otro parámetro indicativo del estado), medidos por medio de los sensores proporcionados.
- 60 El cálculo de los datos de esfuerzo estimados a partir de los datos de esfuerzo medidos se lleva a cabo en la práctica mediante argumentación a partir de la última carga momentánea que actúe sobre la estructura, y fijando de ese modo la deformación global de la estructura en cada punto del modelo no coincidente con los puntos relevantes de medición en base a la carga estimada.
- 65 Otras características y ventajas de la invención van a ser descritas con mayor detalle en la descripción detallada que

sigue, dada a título de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos anexos, en los que:

la figura 1 muestra un ejemplo de sistema de pronóstico aplicado a una aeronave;

5 la figura 2 muestra un ejemplo de una estructura y un sistema de fuerza que actúa sobre la misma;

la figura 3 es un diagrama de flujo del método de pronóstico que constituye el objeto de la invención; y

10 las figuras 4a y 4b muestran un panel de fuselaje de una aeronave, en el que se han especificado los puntos relevantes de colocación de los sensores de esfuerzo, específicamente 14 puntos de detección principales y 40 puntos de detección para comparación, respectivamente en un condición de estructura de ruido y estructura con defecto.

15 Un ejemplo de sistema de pronóstico estructural en la aplicación preferida a una aeronave ha sido representado esquemáticamente en la figura 1.

20 En la aeronave, indicada en general con A, se han especificado algunas partes estructurales en las que se pretende monitorizar las condiciones de ruido o de defecto, por ejemplo el fuselaje S1, la estructura S2 del ala, y la cola S3. En cada parte se han colocado dos conjuntos de sensores, respectivamente una pluralidad de sensores principales P' y una pluralidad de sensores adicionales P", indicados por motivos de simplicidad como un único par de elementos, adaptados para detectar una cantidad representativa del estado de las estructuras de aeronave, por ejemplo el esfuerzo estático local (posiblemente en más de una dirección).

25 Los sensores P', P" están conectados a una unidad U de procesamiento electrónico, a la que éstos envían señales respectivas representativas de las cantidades detectadas. Las bases de datos DB1, DB2 están asociadas a la unidad de procesamiento, las cuales tienen almacenadas en las mismas relaciones asociativas entre los valores que pueden ser adoptados por cantidades físicas predeterminadas importantes para las estructuras, actuando las cargas sobre tales estructurales y la morfología de estas estructuras.

30 Además, la unidad de procesamiento está conectada a una unidad D de envío de señales, adaptada para informar a un operador, tal como el piloto de la aeronave o un operador de mantenimiento, visualmente por medio de escritura y de gráficos en una pantalla o electrónicamente a través de la emisión de un informe, sobre el estado de sonoridad o de estado de defectos de las estructuras monitorizadas.

35 Un ejemplo de estructura objeto en un sistema de pronóstico ha sido mostrada en la figura 2, con la forma de un panel de fuselaje de aeronave, indicado en su conjunto con 10 y mostrado según una vista en planta superior y lateral, que incluye un primer elemento 20 básico que tiene en la superficie 22 un conjunto de largueros 24 rigidizadores.

40 Los vectores que representan las fuerzas que actúan sobre la estructura (principalmente bi-dimensionales) en una condición operativa predeterminada, han sido indicados como L_1-L_K ; como ejemplo y por motivos de simplicidad, éstos tienen componentes solamente en el plano de la estructura.

45 Los puntos relevantes en la superficie de la estructura han sido indicados con P, en particular dos conjuntos de puntos, respectivamente un primer conjunto de puntos de detección principales, indicados como P_1-P_p , y un segundo conjunto de puntos de detección adicionales, identificados en lo que sigue como puntos de detección para comparación, indicados como $P_{p+1}-P_{p+s}$.

50 Con preferencia, los puntos de detección principales son seleccionados de tal modo que para cada estado de la estructura solamente se puede asociar una única condición de carga; mientras que los puntos de detección adicionales se seleccionan con un criterio de periodicidad sustancial, con alguna posible intensificación en las áreas con criticidad estructural más alta (por ejemplo, la zona de refuerzo por revestimiento para pronosticar una posible desvinculación de los refuerzos).

55 En los puntos de detección (o puntos relevantes de la estructura) se han dispuesto sensores de esfuerzo, de un tipo conocido, por ejemplo sensores de superficie o incrustados internos conectados (eléctricamente, ópticamente o inalámbricamente) a la unidad de procesamiento del sistema de pronóstico a bordo de la aeronave, la cual está adaptada para asociar las señales adquiridas desde los sensores con los valores de esfuerzo de la estructura.

60 Sensores conocidos podrían ser, por ejemplo, del tipo de "calibración de esfuerzo", con una señal de resistencia eléctrica variable con el esfuerzo, o del tipo de "rejilla de Bragg" con la medición del esfuerzo basada en la lectura de la longitud de onda que interfiere con la rejilla, correlacionada directamente con el esfuerzo.

65 Cerca de los puntos de detección, distribuidos uniformemente por la estructura, se han previsto también ventajosamente sensores de temperatura (no representados), adaptados para transferir los datos de la temperatura detectada a la unidad de procesamiento, cuyo objeto se aclarará en el transcurso de la descripción.

En método de pronóstico de acuerdo con la invención va a ser detallado con referencia al diagrama de flujo de la figura 3.

5 De forma preliminar, por ejemplo mediante un sistema de procesamiento fuera de línea no integrado con la unidad de procesamiento de pronóstico de a bordo, se construye en una sola vez un modelo (100) de la estructura objetivo, a modo de modelo de elemento finito, de modo que se define sobre la estructura de una red de puntos N_{ijk} . El modelo utiliza como datos también los módulos elásticos de los materiales utilizados en la estructura, teniendo también en cuenta su posible variabilidad con la temperatura.

10 Una matriz de V_L de cargas típicas de la estructura, que tiene un tamaño K , puede ser registrada como:

$$V_L = (V_{L1}, V_{L2}, \dots, V_{LK})$$

15 donde V_{L1}, \dots, V_{LK} indican respectivamente, con una notación corta, los valores de los tres componentes de cada vector de carga o fuerza que actúa sobre la estructura en un sistema de referencia cartesiano espacial seleccionado.

20 El vector V_L puede tomar teóricamente infinitos valores, puesto que las fuerzas que pueden actuar sobre la estructura en las diferentes condiciones operativas posibles son infinitas, respectivamente sobre una pluralidad infinita de puntos del panel, en una pluralidad infinita de direcciones posibles y con una pluralidad infinita de valores de intensidad.

25 A los efectos de la invención se supone que cada elemento de V_L puede tomar un número d finito discreto de valores, con lo que el número de combinaciones posibles (indicado como m) se reduce a K^d , pero puede ser reducido aún más si solamente se consideran algunas combinaciones posibles (110) (por ejemplo, variando solamente el valor de un vector cada vez).

Cada valor posible del vector V_L ha sido indicado como V_{Lm} .

30 Considerando el anterior modelo de elemento finito, a cada valor V_{Lm} del vector V_L le corresponderá una distribución de esfuerzo ε_{ijk} en los puntos N_{ijk} de la estructura.

35 También se ha supuesto que se realiza una comprobación experimental sobre la corrección del modelo supuesto, seleccionando un vector de puntos relevantes sobre la estructura, con tamaño p , con preferencia entre los puntos que, de acuerdo con el modelo (teórico o numérico) de la estructura, sean capaces de mostrar una variación de esfuerzo más severa que el cambio de cargas, y comprobando experimentalmente el nivel de emparejamiento entre los esfuerzos previstos y medidos.

40 Después de que se han seleccionado los p puntos del modelo, se determina (120), por ejemplo mediante medición o mediante simulación, un vector de esfuerzo:

$$V_\varepsilon = (V_{\varepsilon1}, V_{\varepsilon2}, \dots, V_{\varepsilon p})$$

45 adecuado para establecer una correspondencia biunívoca entre cada valor de los vectores V_L y cada valor del vector V_ε .

50 Esto permite, para cada distribución de esfuerzo conocida, por ejemplo debido a que se ha medido experimentalmente o se ha obtenido teóricamente a partir del conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la estructura y a partir de las cargas de prueba que actúan sobre la misma, asociar manualmente un valor del vector V_L y un valor del vector V_ε . La totalidad de las correspondencias biunívocas entre cargas y esfuerzos inducidos puebla una primera base de datos DB1 (130) que pueden ser almacenados en un módulo de memoria del sistema de pronóstico de a bordo, acoplado a la unidad de procesamiento.

55 Dado que para un vector de carga dado $V_L = (V_{L1}, V_{L2}, \dots, V_{LK})$, se produce una distribución de esfuerzo ε_{ijk} en la red de puntos N_{ijk} de la estructura, habiéndose indicado la deformación por esfuerzo en la red producida por el mismo vector de carga V_L cuando se encuentra presente un defecto d_q en la estructura como $(\varepsilon_{ijk})_q$.

60 Un defecto de estructura puede ser un agujero, un agujero relleno u otra modificación superficial o de volumen, por ejemplo inducida por la inserción de un sujetador, por un daño por impacto, deslaminación, porosidad, o debido a una zona de la estructura con un contenido diferente de resina o de fibra. Se puede concentrar un defecto en un punto con coordenadas específicas, o ser distribuido en una dirección sobre una superficie o un volumen de la estructura.

65 Se debe apreciar que, seleccionando de una forma adecuada los p puntos de detección sobre la estructura, un defecto concentrado posible, localizado lejos de los mismos, podría no inducir ninguna variación en el vector de esfuerzo $V_\varepsilon = (V_{\varepsilon1}, V_{\varepsilon2}, \dots, V_{\varepsilon p})$, con lo que un vector de esfuerzo sin modificar incluye un vector de carga dado $V_L =$

$(V_{L1}, V_{L2}, \dots, V_{LK})$ también en presencia de un defecto $V_{ed} = V_{\epsilon}$.

5 También de forma preliminar, mediante un sistema de procesamiento fuera de línea no integrado a bordo de la aeronave y de una sola vez, para tipos y tamaños de defectos predeterminados, se realiza una modelización de los defectos (200) así como una verificación experimental de los mismos, corrigiendo posiblemente el modelo para una representación de la realidad correcta (validación del modelo de defectos).

10 En detalle, los defectos pueden ser de tipo, de tamaño y de posición diferentes sobre el plano y el espesor de la estructura.

15 Para cada vector de carga, $V_L = (V_{L1}, V_{L2}, V_{LK})$ al que corresponde un vector de esfuerzo $V_{\epsilon} = (V_{\epsilon1}, V_{\epsilon2}, V_{\epsilon p})$ en los puntos de detección seleccionados, se asocia consiguientemente un vector de variación de esfuerzo $\Delta V_{\epsilon} = V_{ed} - V_{\epsilon} = (\Delta V_{\epsilon1}, \Delta V_{\epsilon2}, \dots, \Delta V_{\epsilon p})$ representativo de una variación inducida por el defecto, y esto es posible para cada parámetro de clasificación por el defecto (es decir, el tipo, tamaño, posicionamiento).

20 Por supuesto, los criterios de selección para los puntos de detección deben tener en cuenta, con preferencia, la sensibilidad al defecto de la estructura en tales puntos, pudiendo en otro caso algún elemento $\Delta V_{\epsilon i}$ de los vectores ser nulo, hasta el límite de la condición $V_{ed} = V_{\epsilon}$ para la que ΔV_{ϵ} sea un vector nulo.

25 De ese modo, es posible atribuir una relación asociada entre un número discreto de valores del vector V_L de carga, un número discreto de valores del vector V_{ϵ} de esfuerzo y un número discreto correspondiente del vector ΔV_{ϵ} de variación de esfuerzo para cada defecto.

30 La totalidad de correspondencias biunívocas, para cada tipo de defecto, entre el vector de carga V_L , el vector ΔV_{ϵ} de variación de esfuerzo y el tipo de defecto, puebla una segunda base de datos DB2 (220), que puede estar almacenada en un módulo de memoria del sistema de pronóstico de a bordo, acoplado a la unidad de procesamiento.

35 Un programa de ordenador que puede ser ejecutado por la unidad de procesamiento del sistema de pronóstico de a bordo está adaptado para determinar una ley de identificación de defecto y reconocer un defecto a partir de la correlación entre la variación de esfuerzo detectada y las cargas aplicadas.

40 El método de pronóstico, referido a la estructura de un panel de fuselaje representado en la figura 2, se basa en las consideraciones previas y se inicia a partir de la primera y de la segunda bases de datos DB1, DB2 almacenadas por el sistema autónomo de a bordo. Específicamente, este método se lleva a cabo mediante una unidad de procesamiento de a bordo dispuesta para la ejecución de grupos o módulos de programas de ordenador y de cálculo grabados en un disco o accesibles en la web, que implementan el método conforme a la invención según se va a describir con detalle en lo que sigue.

45 Las soluciones técnicas para implementar el sistema de procesamiento de a bordo descrito en la presente memoria se consideran bien conocidas en el estado de la técnica y no van a ser descritas adicionalmente en la presente memoria debido a que no son relevantes para la actuación de implementación y para la comprensión de la presente invención.

50 Según se ha descrito con anterioridad, se proporcionan p puntos (P_1, P_2, \dots, P_p) de detección principales sobre la estructura, así como s puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección adicionales o de comparación en los que se sitúan los sensores para leer los esfuerzos de la estructura sometida a cargas operativas.

55 En cualquier momento, en base a las detecciones de esfuerzos (300) en los p puntos de detección principales de la estructura (P_1, P_2, \dots, P_p), la carga (310) asociada se determina por comparación con la primera base de datos DB1. A partir de la carga preestimada, se determina (320) un mapeo de esfuerzo en todos los puntos de la estructura identificados de acuerdo con el modelo de elemento finito generado, el cual incluye también los esfuerzos en los s puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección adicionales.

60 Con preferencia, el sistema se establece de modo que tenga en cuenta las variaciones de las dimensiones de la estructura y de las propiedades del material de la estructura (módulo elástico) inducidas por la temperatura operativa de la misma estructura detectada a través de sensores de temperatura distribuidos sobre la misma, estimando la contribución al esfuerzo debida a la expansión o contracción térmica, por medio de comprobación fuera de línea de una estructura sin carga con características de deformación similares, poniendo detectores de esfuerzo en la misma.

65 De ese modo, el sistema compara (330) los esfuerzos estimados en los s puntos de detección adicionales ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) con los medidos en tales puntos, comprobando si son coincidentes, con un umbral de tolerancia fijo.

También, la medición de los esfuerzos en los s puntos de detección de comparación se corrige preferentemente restando la contribución al esfuerzo debida a expansión o contracción térmica, según se ha explicado previamente.

En caso de conformidad entre el esfuerzo previsto y el medido, se evalúa (340) el ruido de la estructura. En caso de disconformidad, se comprueba la hipótesis de que existan variaciones de la estructura cerca de algunos de los p puntos, de tal modo que las mismas sean capaces de afectar al esfuerzo inducido en tales puntos en virtud de la carga aplicada.

5 En ese caso, se evalúa la presencia de defectos en correspondencia con los puntos en los que se ha detectado una diferencia entre los valores de esfuerzo teóricos y medidos, obteniendo en primer lugar el resultado de la detección, y posicionando al mismo tiempo un defecto de la estructura (350).

10 Finalmente, las diferencias (esfuerzos medidos frente a esfuerzos previstos) se asocian con el defecto supuesto por comparación con el contenido de la segunda base de datos DB2, obteniendo la posibilidad de reconocer (360) la clase (tipo y tamaño) del defecto (descripción cualitativa y cuantitativa del defecto).

15 Por supuesto, como aparecerá claro para un experto en la materia, el método terminado según se muestra en el diagrama de flujo de la figura puede ser repetido cíclicamente, por ejemplo a intervalos periódicos predeterminados de acuerdo con un plan de comprobación predefinido, a partir de nuevas detecciones de esfuerzo simultáneas en los puntos de detección de la estructura.

20 Ventajosamente, con el fin de permitir que el sistema trabaje también en caso de que la estructura se dañe en las proximidades de algunos de los puntos de detección y por consiguiente en caso de que se dañen los sensores, se origina una redundancia incrementando el número de puntos de detección, con el fin de obtener un número adicional de sensores de apoyo adicionales.

25 Un ejemplo cualitativo de operación del método conforme a la invención se proporciona en lo que sigue, referido a una estructura FP de panel de fuselaje mostrada en las figuras 4a y 4b. Para simplificar la descripción, se considera un panel plano como ejemplo, que tiene una anchura de $W = 1800$ mm, un espesor de $t_h = 5$ mm, y un módulo de elasticidad longitudinal (en la dirección indicada por la flecha D) de $E_1 = 1000$ MPa.

30 En el mismo, se han localizado 14 puntos de detección principales (P_1, P_2, \dots, P_{14}), así como otros 40 puntos de detección de comparación ($P_{15}, P_{16}, \dots, P_{54}$) en los que se han colocado los sensores para leer el esfuerzo, orientados en la dirección D. Con el fin de simplificar la representación, no se han mostrado los sensores de temperatura; éstos no se encuentran en este caso presentes, con el fin de permitir una evaluación correcta de los esfuerzos del panel debidos a la carga mecánica, independientes de las cargas térmicas.

35 En el caso considerado, la hipótesis consistirá en que los esfuerzos detectados (vector V_ϵ) son los que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Puntos de detección	ESFUERZO
P_1	0,01
P_2	0,01
P_3	0,01
P_4	0,01
P_5	0,01
P_6	0,01
P_7	0,01
P_8	0,01
P_9	0,01
P_{10}	0,01
P_{11}	0,01
P_{12}	0,01
P_{13}	0,01
P_{14}	0,1

40

ES 2 382 519 T3

El sistema objetivo de la invención identifica, a través de la primera base de datos DB1, una carga de tensión unidireccional (vector V_L) distribuida uniformemente sobre la superficie, con una resultante de 90000 N.

5 Siempre a través de la primera base de datos DB1, éste identifica los esfuerzos previstos en los 40 puntos (P_{15} , P_{16} , ..., P_{54}), los cuales se han registrado en la tabla 2 que sigue.

Tabla 2

Puntos para sensores de pronóstico							
Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo	
P_{15}	0,01	P_{29}	0,01	P_{43}	0,01		
P_{16}	0,01	P_{30}	0,01	P_{44}	0,01		
P_{17}	0,01	P_{31}	0,01	P_{45}	0,01		
P_{18}	0,01	P_{32}	0,01	P_{46}	0,01		
P_{19}	0,01	P_{33}	0,01	P_{47}	0,01		
P_{20}	0,01	P_{34}	0,01	P_{48}	0,01		
P_{21}	0,01	P_{35}	0,01	P_{49}	0,01		
P_{22}	0,01	P_{36}	0,01	P_{50}	0,01		
P_{23}	0,01	P_{37}	0,01	P_{51}	0,01		
P_{24}	0,01	P_{38}	0,01	P_{52}	0,01		
P_{25}	0,01	P_{39}	0,01	P_{53}	0,01		
P_{26}	0,01	P_{40}	0,01	P_{54}	0,01		
P_{27}	0,01	P_{41}	0,01				
P_{28}	0,01	P_{42}	0,01				

10 La unidad de procesamiento U del sistema compara los esfuerzos (V_e) que han sido previstos en los 40 puntos P_{15} - P_{54} con los medidos (V_{ed}) en los mismos puntos. Si se ha supuesto un modelo correcto, se observará en ausencia de defectos del sistema la coincidencia entre los valores de esfuerzo previstos y medidos.

En ese caso, se evalúa el ruido de la estructura.

15 En caso de disconformidad global, se comprueba la hipótesis de que se hayan inducido algunas variaciones ΔV_e en algunos de los 14 puntos en los que se han colocado los sensores de detección principales. Si se supone que el número de 14 sensores es redundante, el sistema ejecuta un ciclo de comprobación sin tener en cuenta a su vez una (o más) de ellas y re-calculando los esfuerzos estimados en los puntos P_{15} - P_{54} hasta la superación del estado de disconformidad total.

20 En caso de disconformidad parcial, se comprueba la presencia de defectos en las proximidades de los puntos en los que se detecte una diferencia entre los valores de esfuerzo teóricos (V_e) y los medidos (V_{ed}) bajo carga. Un ejemplo de valores de esfuerzo medidos se ha mostrado en la tabla 3.

25

Tabla 3

Puntos para sensores de pronóstico							
Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo		Esfuerzo	
P_{15}	0,01	P_{29}	0,01	P_{43}	0,01		
P_{16}	0,01	P_{30}	0,015	P_{44}	0,01		
P_{17}	0,01	P_{31}	0,022	P_{45}	0,01		
P_{18}	0,01	P_{32}	0,022	P_{46}	0,01		

P ₁₉	0,01		P ₃₃	0,015		P ₄₇	0,01
P ₂₀	0,01		P ₃₄	0,011		P ₄₈	0,01
P ₂₁	0,01		P ₃₅	0,01		P ₄₉	0,01
P ₂₂	0,01		P ₃₆	0,01		P ₅₀	0,01
P ₂₃	0,01		P ₃₇	0,01		P ₅₁	0,01
P ₂₄	0,01		P ₃₈	0,01		P ₅₂	0,01
P ₂₅	0,01		P ₃₉	0,01		P ₅₃	0,01
P ₂₆	0,01		P ₄₀	0,01		P ₅₄	0,01
P ₂₇	0,01		P ₄₁	0,01			
P ₂₈	0,01		P ₄₂	0,01			

En este caso se comprueba la presencia de zonas defectuosas, localizadas en la región de panel comprendida entre los puntos P₃₀, P₃₁, P₃₂, P₃₃, P₃₄.

- 5 A continuación, las diferencias de esfuerzo (esfuerzos detectados frente a esfuerzos previstos) son asociadas a un defecto (tipo y tamaño) que sea la causa probable de las mismas por medio de la segunda base de datos DB2. En el caso específico, el sistema identifica que el defecto viene dado por la presencia de un agujero, indicado con 50, con el tamaño mostrado en la figura 4b.
- 10 Por supuesto, manteniendo los principios de la invención, las realizaciones y los detalles de implementación pueden ser ampliamente modificados en comparación con lo que se ha descrito e ilustrado a título de ejemplo no limitativo, sin salir por ello del alcance de la invención según se define mediante las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para pronósticos de una estructura sometida a cargas, en particular una estructura de una aeronave, caracterizado porque comprende las etapas de:

- 5 - proporcionar un modelo matemático de la estructura;
- utilizar dicho modelo matemático de la estructura para proporcionar (130) una primera base de datos (DB1) que vincula las posibles cargas (V_L) que actúan sobre la estructura en condiciones operativas con un estado modificado (V_ε) de la estructura, incluyendo valores de una cantidad indicativa del estado de la estructura según se haya modificado en presencia de dichas cargas en un número predeterminado de puntos relevantes;
- 10 - utilizar dicho modelo matemático de la estructura para proporcionar (220) una segunda base de datos (DB2) que vincula los cambios en el estado de la estructura (ΔV_ε) inducidos por defectos preestablecidos en un número predeterminado de puntos relevantes de la estructura, con posibles clases de defectos;

y, de una forma iterativa,

- 20 - detectar (300) los valores adoptados por dicha cantidad indicativa del estado de la estructura (V_ε) en una primera pluralidad de puntos (P_1, P_2, \dots, P_p) de detección principales y en una segunda pluralidad de puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección adicionales;
- determinar (310) a partir de la primera base de datos (DB1) las cargas (V_L) que actúan sobre la estructura a partir de los valores detectados de la cantidad de estado (V_ε);
- 25 - estimar (320), en base a las cargas determinadas (V_L), los valores de la cantidad de estado (V_ε) en los puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección adicionales;
- comparar (330) entre sí los valores estimados (V_ε) estimados y los valores ($V_{\varepsilon d}$) detectados de la cantidad de estado en los puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección adicionales; y
- 30 - determinar una condición de integridad de la estructura (340) si los valores detectados ($V_{\varepsilon d}$) y los estimados (V_ε) de la cantidad de estado se emparejan sustancialmente salvo en tolerancias predeterminadas, o una condición de zonas con defectos de la estructura (350) si dichos valores ($V_{\varepsilon d}, V_\varepsilon$) de la cantidad de estado difieren teniendo en cuenta las tolerancias predeterminadas.

2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende identificar un defecto (360) de la estructura asociando los cambios (ΔV_ε) entre los valores adoptados por la cantidad de estado con un tipo de defecto en la segunda base de datos (DB2).

3.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que dichos puntos ($P_1, P_2, \dots, P_p, P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de la estructura se seleccionan a partir de una pluralidad de puntos (N_{ijk}) de identificación de la estructura que se han definido en base a un modelo matemático de dicha estructura.

4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dichos puntos ($P_1, P_2, \dots, P_p, P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) relevantes de la estructura se eligen entre los puntos que, de acuerdo con dicho modelo, estén capacitados para identificar una condición de estado de la estructura que pueda ser asociada unívocamente con una condición de carga, con una concentración en las proximidades de la regiones de mayor criticalidad.

5.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha cantidad indicativa del estado de la estructura (V_ε) es el esfuerzo local de la estructura.

6.- Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la población de la primera base de datos (DB1) comprende la asociación biunívoca entre valores (V_{Lm}) de cargas típicas que actúan sobre la estructura en condiciones operativas y valores de esfuerzos ($V_{\varepsilon m}$) medidos o simulados de la estructura sometida a dichas cargas.

7.- Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la población de la segunda base de datos (DB2) comprende la asociación biunívoca entre los valores medidos de los cambios de esfuerzo (ΔV_ε) en la estructura inducidos por el mismo vector (V_{Lm}) de carga en presencia de un defecto en la estructura y datos de identificación de un posible defecto en la estructura.

8.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tipo de defectos incluye al menos uno de entre los datos de: la clase de defecto; la dimensión del defecto; la posición del defecto en la estructura.

65

9.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye estimar la contribución al cambio de estado de la estructura en dichos puntos de detección debido a cambios en las propiedades del material de la estructura inducidos por la temperatura operativa.

5 10.- Un sistema para pronósticos en una estructura sometida a cargas, en particular una estructura de aeronave, caracterizado porque comprende:

- una primera y una segunda pluralidades de sensores de detección, situados en puntos (P_1, P_2, \dots, P_p) de detección principales y en puntos ($P_{p+1}, P_{p+2}, \dots, P_{p+s}$) de detección de comparación adicionales, respectivamente;

10 - primeros medios de almacenamiento que comprenden una primera base de datos (DB1) que vincula cargas posibles (V_L) que actúan sobre la estructura en condiciones operativas con un estado modificado de la estructura (V_ϵ), incluyendo valores de una cantidad indicativa del estado de la estructura según se modifica en presencia de dichas cargas en un número predeterminado de puntos relevantes;

15 - segundos medios de almacenamiento que comprenden una segunda base de datos (DB2) que vincula los cambios de estado de la estructura (ΔV_ϵ) inducidos por defectos preestablecidos en un número predeterminado de puntos relevantes de la estructura, con posibles clases de defectos; y

20 - medios de procesamiento (U, D) dispuestos para llevar a cabo un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

11.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el que los citados sensores de detección incluyen sensores del esfuerzo en la estructura.

25 12.- Un sistema de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, que comprende sensores de temperatura posicionados en las proximidades de dichos puntos de detección.

30 13.- Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que dichos medios de procesamiento (U) están dispuestos para identificar una clase de defectos de la estructura, concentrados o distribuidos, seleccionados en el grupo de las modificaciones superficiales o de volumen que comprenden un agujero, un agujero relleno, la inserción de un miembro de conexión, un daño debido a un golpe, deslaminación, porosidad, y una región de la estructura con una riqueza diferente en resinas o fibras.

35 14.- Un programa de ordenador o un conjunto de programas para ser ejecutados en un sistema de procesamiento (10), que comprende uno o más módulos de código para llevar a cabo un método para pronósticos en una estructura sometida a cargas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

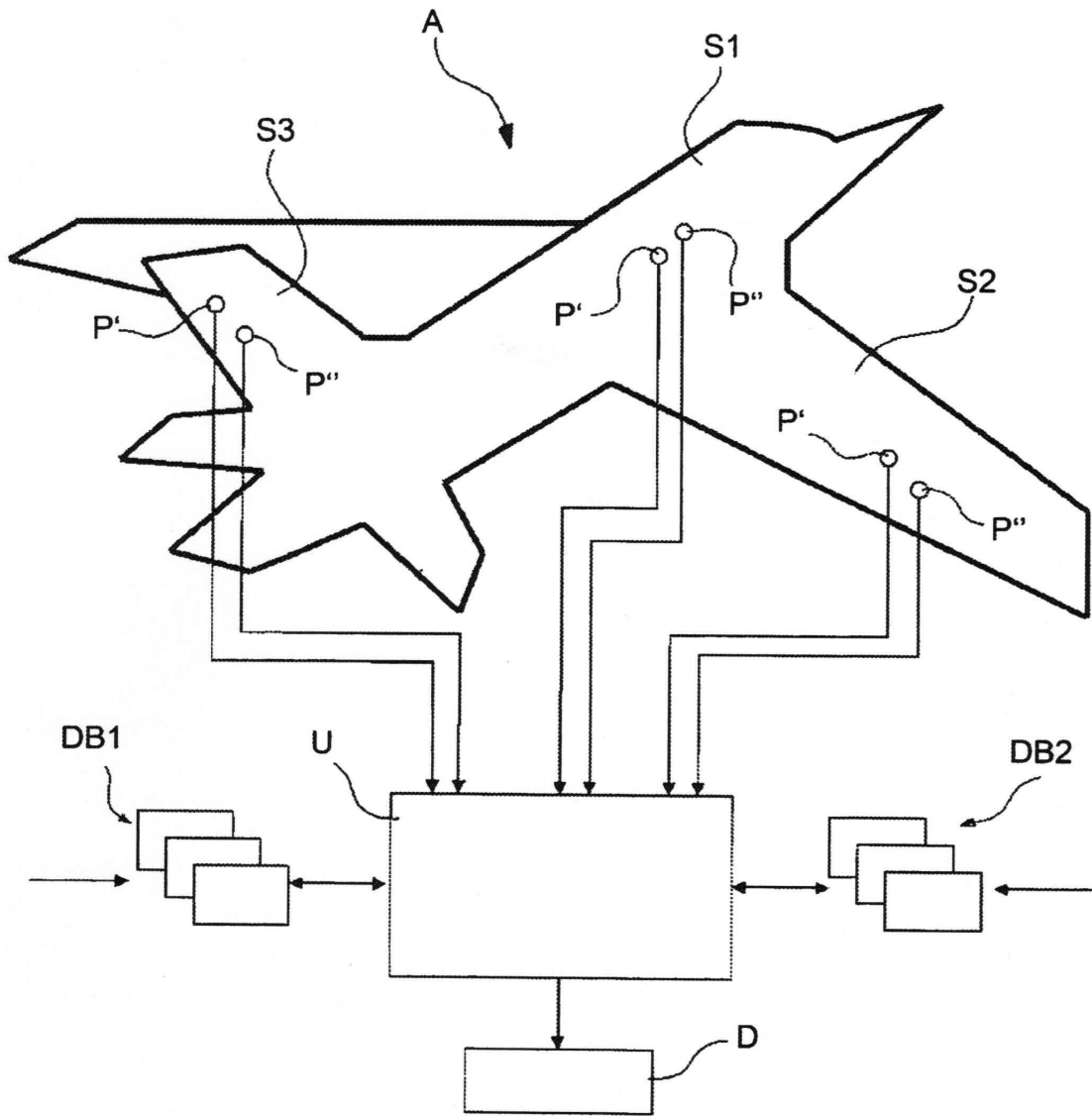


Fig. 1

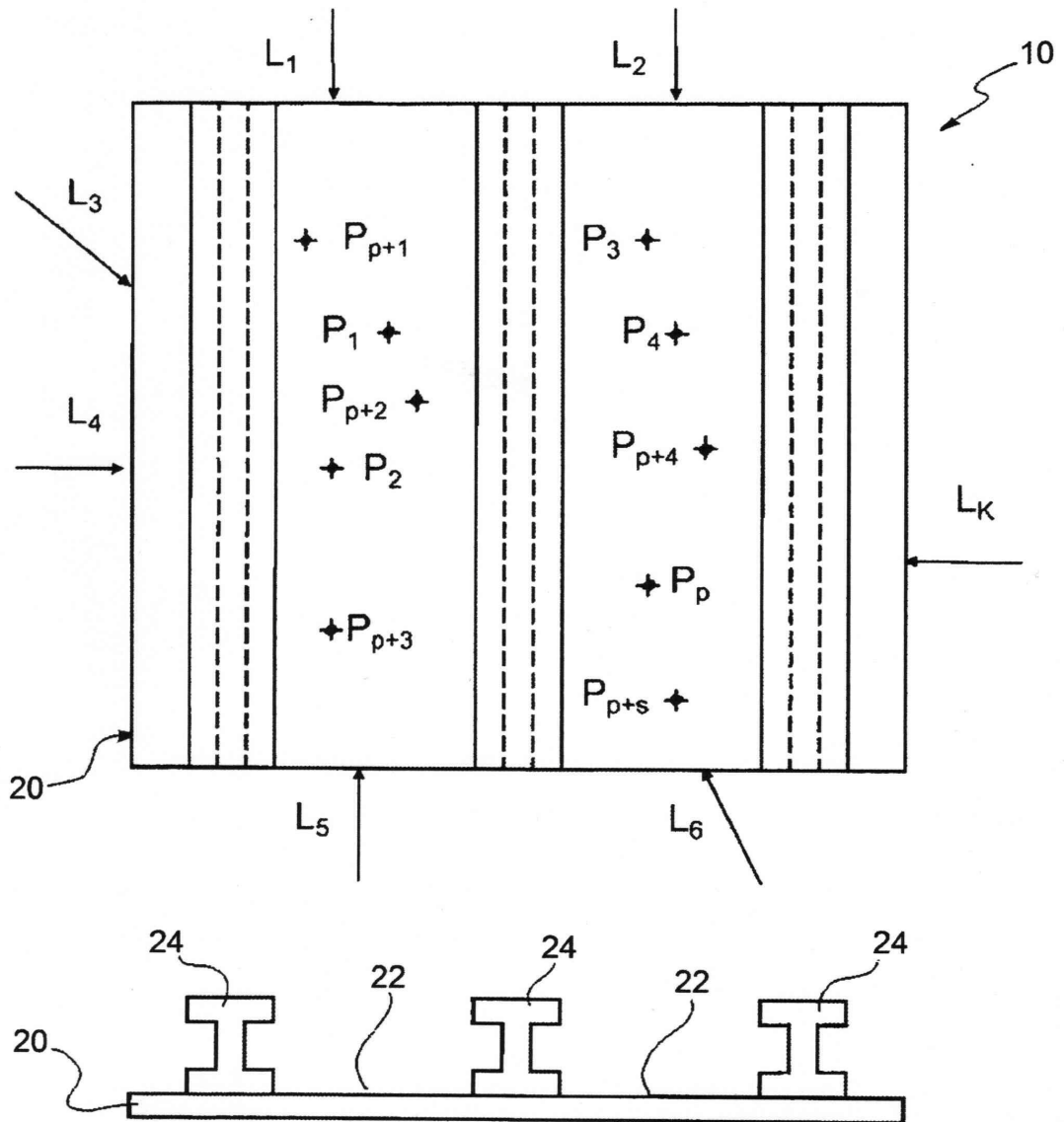


Fig. 2

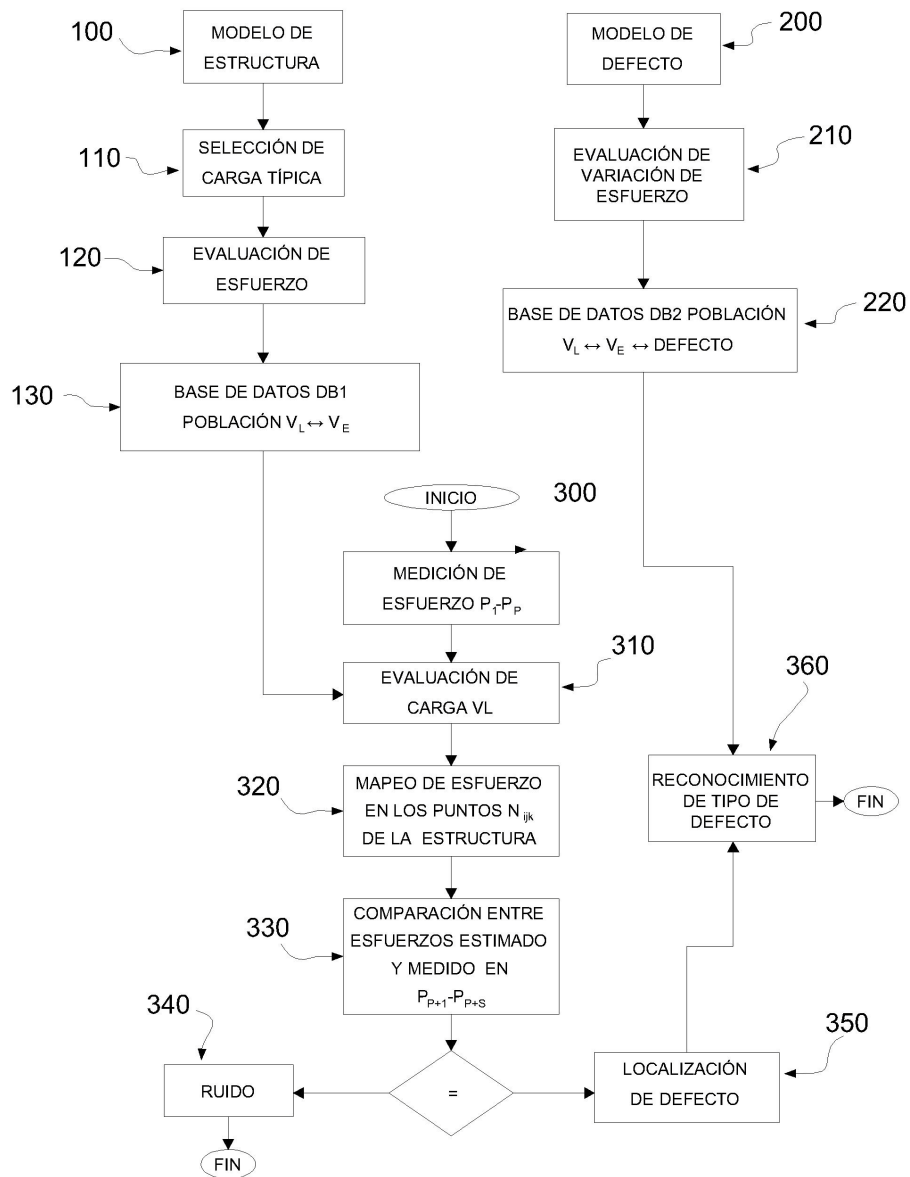


FIG. 3

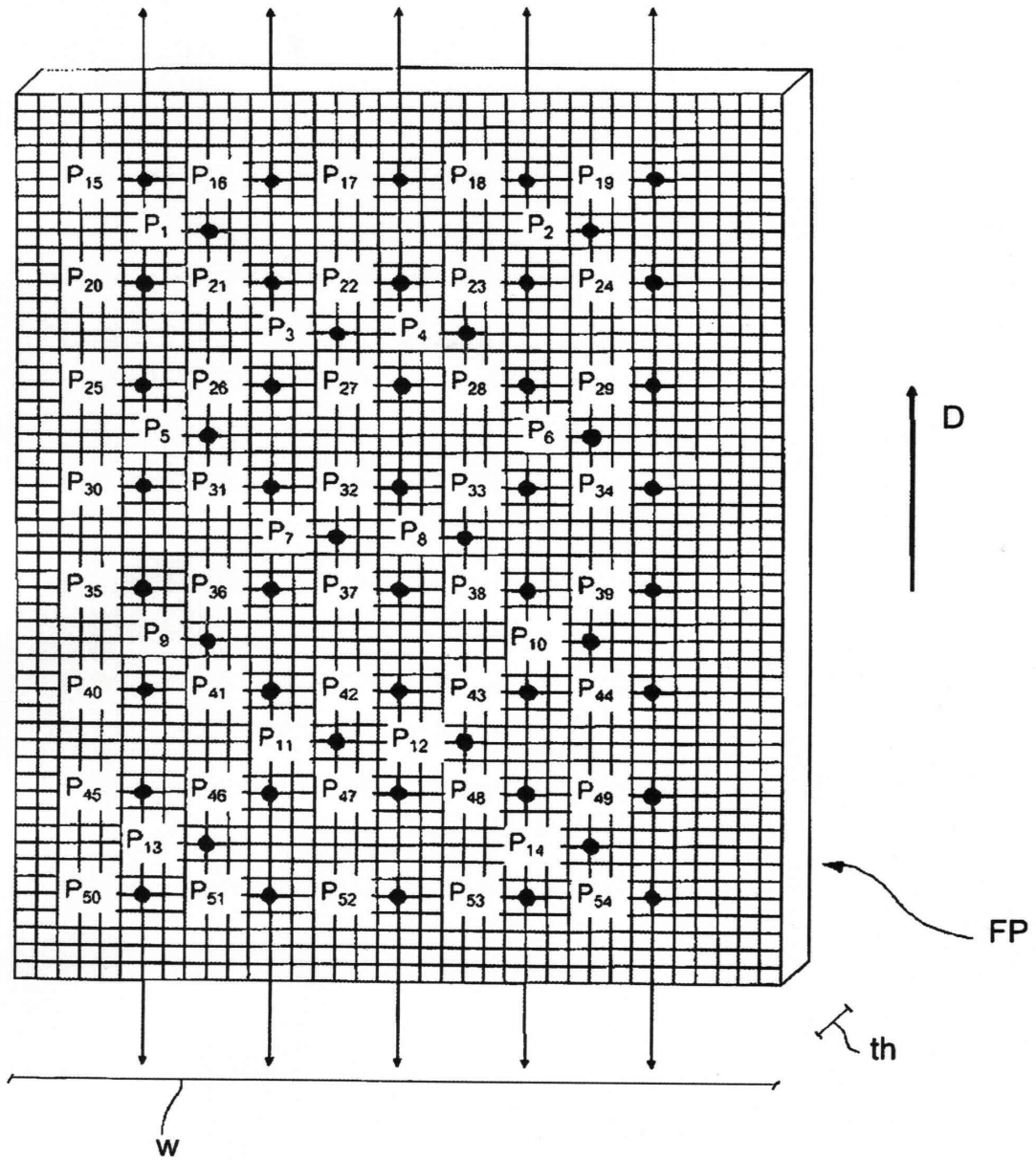


Fig. 4a

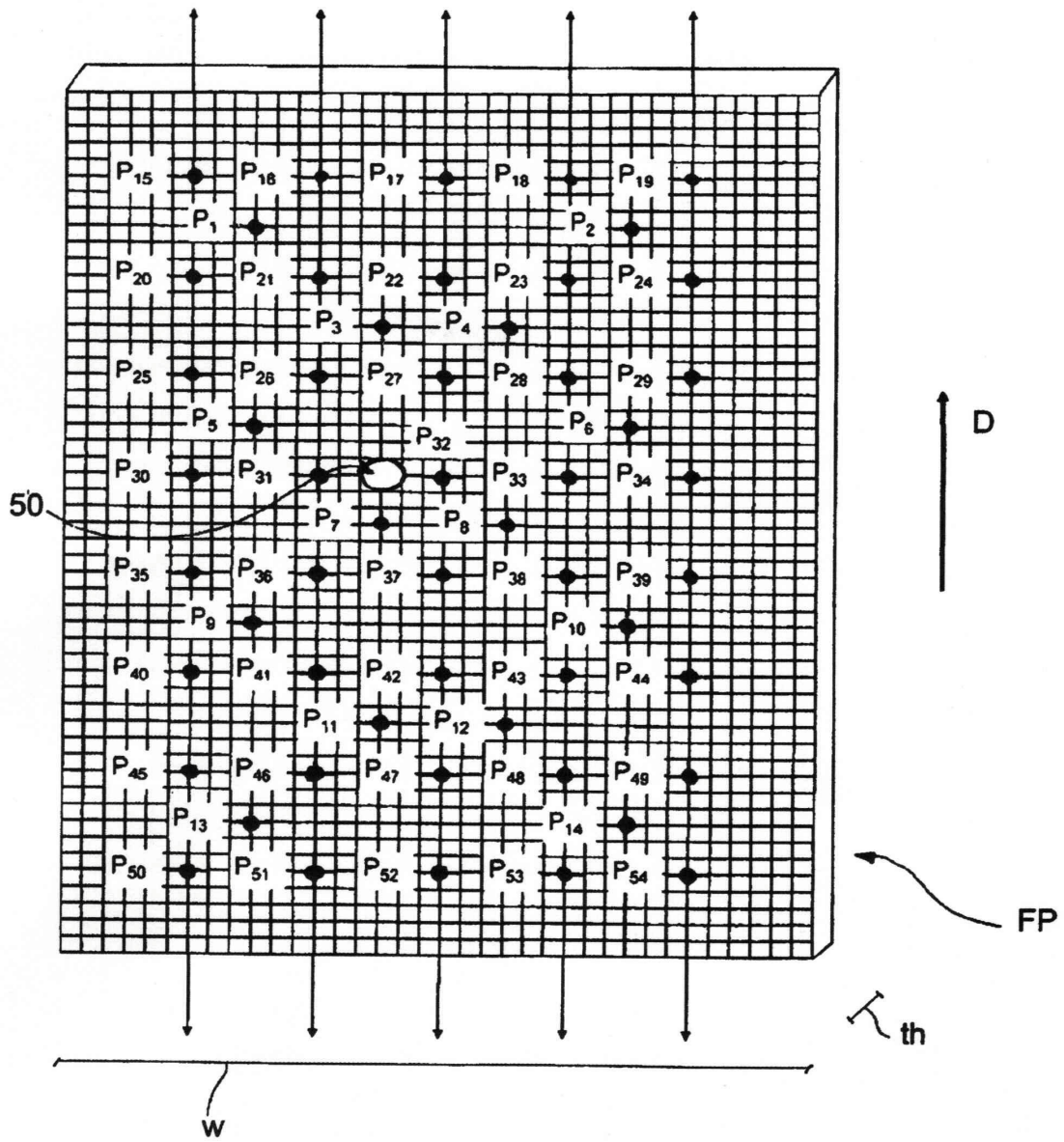


Fig. 4b