



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 342 534**

51 Int. Cl.:
G01N 3/32 (2006.01)
G01M 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03788859 .1**
96 Fecha de presentación : **05.12.2003**
97 Número de publicación de la solicitud: **1567848**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **31.08.2005**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de las características dinámicas de materiales.**

30 Prioridad: **06.12.2002 DE 102 57 056**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.07.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.07.2010

73 Titular/es: **AKsys GmbH**
Weinsheimer Strasse 96
67547 Worms, DE

72 Inventor/es: **Potthoff, Hans-Hermann**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 342 534 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).

ES 2 342 534 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la determinación de las características dinámicas de materiales.

5 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de las características dinámicas de materiales, especialmente el factor de pérdida en recubrimientos para el aislamiento acústico de sonido en cuerpos sólidos en la industria del automóvil, con los pasos siguientes:

1. Generar una muestra representativa del material en forma de tira.
- 10 2. Sujeción de la muestra en un extremo, y excitación de la muestra mediante un excitador de vibraciones hasta una onda transversal de flexión.
- 15 3. Determinación de un parámetro de desviación, o de la velocidad de desviación, al menos en una parte de la muestra.

Un procedimiento similar ya es conocido del documento DE 39 18 835. Un procedimiento similar, que presenta estas características, es conocido como procedimiento según "Oberst", el cual está citado, entre otros, en la norma europea EN ISO 6721-3, edición 1996: materiales sintéticos, determinación de las propiedades dinámicas/mecánicas, parte 3: onda de flexión, procedimiento de curvas de resonancia. Según la misma, el procedimiento de medición consiste en inducir en un cuerpo de probeta oscilaciones de flexión en un rango de frecuencias entre 10 y 1000 Hz, y deducir del comportamiento de resonancia del cuerpo de probeta los correspondientes parámetros característicos, por ejemplo el factor de pérdida d , que describen las características de amortiguación. Los cuerpos de probeta, en forma de varilla o tira de sección rectangular, se sujetan para ello en posición vertical por su extremo superior, colgando libremente. El extremo libre inferior de la probeta es puesto en vibración mediante un excitador de vibraciones, el cual actúa sobre la probeta de forma inductiva.

La onda de flexión producida con ello transcurre hacia el extremo superior de la probeta y se refleja allí en la sujeción fija, de forma que se configura en el conjunto una onda estacionaria. Cerca de la sujeción superior fija se encuentra un receptor que mide en ese punto de medición un parámetro de la vibración, por ejemplo la desviación o la velocidad de desviación. La velocidad de desviación es la velocidad con la que la superficie de la probeta vibra en la dirección transversal en el punto de medición, con la que atraviesa por tanto la posición 0.

35 No obstante, con este procedimiento pueden realizarse solamente mediciones hasta factores de pérdida $d=0,3$ de forma precisa hasta cierto punto. Además, el rango utilizable de frecuencias alcanza solamente en la práctica hasta unos pocos 100 Hz. Incluso el límite de 1.000 Hz indicado en la norma DIN no es suficientes, ya que son de interés más y más características de material para frecuencias muy altas, por ejemplo de hasta 10 kHz en el ámbito de la acústica de frenos.

40 Otro método para la determinación del factor d de pérdida es el llamado "procedimiento PIM". Aquí se aporta una determinada cantidad de energía a la chapa a medir, recubierta con material insonorizante, a través de lo cual la misma es excitada a vibraciones. La vibración de la chapa en forma de placa se mide en un número suficientemente grande de puntos de medición. De aquí se puede determinar la energía de vibración. La diferencia entre la energía aportada y la energía de vibración se corresponde con la cantidad de energía absorbida por el material de insonorización. Este procedimiento es relativamente complejo, ya que han de realizarse una gran cantidad de mediciones. Además, aquí termina también en la práctica la zona aprovechable de frecuencias a 800 Hz.

50 El problema fundamental en el procedimiento de medición citado consiste en que se trabaja con oscilaciones de flexión estacionarias. Estas se originan porque una onda de flexión entrante es reflejada en la sujeción de la probeta. No obstante, con ello se introduce también en la medición la característica del punto de sujeción, ya que una parte de la energía aportada es absorbida por el mismo.

55 Por ello, la invención se plantea el problema de conseguir un procedimiento de medición con el que puedan ser medidas las características de amortiguación en condiciones de laboratorio, es decir, especialmente el factor d de pérdida, en un rango amplio de temperaturas y en un rango muy amplio de frecuencias, a ser posible hasta 10 kHz, de forma rápida y precisa.

60 Para la solución del problema se modifica el procedimiento de medición esquematizado en el preámbulo de la reivindicación 1, de tal forma que la excitación de la probeta tenga lugar en el extremo sujeto, de modo que se configura una onda de flexión, con amplitud decreciente, que transcurre hacia el otro extremo de la probeta, se mide el parámetro de la vibración (desviación o velocidad de desviación) en un punto de medición doble, formado por dos puntos de medición individuales situados a una cierta distancia entre sí, y se mide además la longitud de onda de la onda de flexión continua, y, a partir de los valores determinados, el coeficiente de amortiguación b de la amplitud, o bien de la velocidad de oscilación, y con ello el factor d de pérdida de la probeta.

A diferencia del procedimiento conocido hasta ahora, la medición tiene lugar sobre una onda de flexión continua, con amplitud decreciente. Para ello, la onda de flexión debería haberse extinguido completamente a ser posible hasta

ES 2 342 534 T3

el extremo libre de la probeta. En el caso contrario, aparece una onda reflectada, y con ello una onda estacionaria que se superpone a la onda de flexión. Aunque la misma solo tiene una amplitud pequeña en comparación con la onda de flexión, las apariciones de este tipo de ondas estacionarias plantean un problema fundamental para el conjunto del proceso de medición, ya que falsean los parámetros a medir de la onda continua de flexión amortiguada. A través de otras medidas según la invención, la influencia parásita de ese tipo de ondas estacionarias puede ser minimizada drásticamente.

De aquí que se utilicen, por ejemplo, probetas bastante más largas para el procedimiento “Oberst”, donde es usual una longitud de probeta de aproximadamente 25 cm. Longitudes de probeta de 1 a 2 m se han acreditado especialmente, ya que en las mismas, y debido a la amortiguación a través de la probeta, la onda de flexión se ha extinguido prácticamente hasta el extremo libre de la probeta, de forma que no se origina ninguna onda de flexión reflejada. De aquí que los parámetros de vibración medidos están determinados exclusivamente por las características de amortiguación de la probeta.

No obstante, el problema consiste aquí a menudo en que no es posible poner a disposición cuerpos de probeta recubiertos de 1 a 2 metros de longitud.

Se ha visto de forma sorprendente que es completamente suficiente cuando la chapa de soporte a analizar, recubierta con el recubrimiento insonorizante, forma solamente la mitad superior de la probeta. De la parte inferior puede encargarse una probeta ficticia, la cual está compuesta por una chapa de soporte parecida que está recubierta con un recubrimiento insonorizante especialmente efectivo. Aunque el punto de unión en la transición entre las dos mitades de la probeta configura un punto de reflexión potencial, se ha visto que no tiene prácticamente importancia alguna para la medición. La onda de flexión transcurre adecuadamente sin interferencias a través del punto de unión hacia el interior de la probeta ficticia. Si la energía de la onda de flexión no ha sido absorbida tampoco completamente en el extremo inferior de la probeta, aparece un reflejo que retrocede y es absorbido muy ampliamente ahora en la zona de la probeta ficticia. De esta forma, la zona superior de la probeta, con el recubrimiento insonorizante a medir, es mantenida ampliamente libre de ondas de flexión.

En el procedimiento de medición, los parámetros de la vibración se miden preferentemente en un punto doble de medición, formado por dos puntos individuales situados a una cierta distancia entre sí. De la disminución de la amplitud, o bien de la velocidad de la oscilación, puede determinarse con relativa precisión un coeficiente de amortiguación b , a partir del cual, bajo la consideración de la longitud de la onda de flexión, puede determinarse el factor d de pérdida.

La precisión de medición puede aumentarse aún más si los parámetros se determinan en varios puntos dobles de medición. Ya que la amortiguación es idéntica a lo largo de toda la longitud de la prueba, suponiendo una estructura unitaria de la probeta, habría de determinarse el mismo valor de la constante de atenuación para cada punto doble de medición. Realmente, los valores de medición se dispersan, debido a la inhomogeneidad en la probeta. A través de los procedimientos matemáticos adecuados puede determinarse un valor medio, el cual está libre de influencias debidas a errores estadísticos de medición e inhomogeneidades locales de la probeta.

La precisión de medición puede aumentarse aún más si la sujeción superior está configurada en sí misma como excitados de vibraciones. Estos generadores mecánicos se denominan también como “Shaker”. Ya que la propia sujeción es la fuente de la excitación, las reflexiones que influyen en las mediciones pueden no tener ya ninguna importancia.

El Shaker ha de ser sujetado lateralmente a un armazón macizo, de forma que la propia suspensión no tenga influencia sobre la medición.

Para la medición de los parámetros de deformación se han acreditado los vibrómetros.

A continuación ha de aclararse la invención más detalladamente, según un ejemplo de ejecución. Para ello se muestran:

Fig. 1 una probeta sujeta,

Fig. 2 una representación esquemática de una onda de flexión transcurriendo por la probeta,

Fig. 3 un registro de una medición,

Fig. 4 una evaluación, así como

Fig. 5 otro registro de una medición (variante optimizada), y

Fig. 6 la evaluación correspondiente.

La figura 1 muestra una disposición 1 de medición. Ésta está compuesta de una viga maciza 2 de soporte, la cual es parte de una estructura, aquí no representada. En la viga 2 de soporte se encuentra un Shaker 3, en el cual se ha

ES 2 342 534 T3

5 sujetado una probeta 4 de dos partes. Ésta está formada por una parte superior 5 con un soporte 6 de chapa de acero, el cual tiene 0,8 mm de espesor, 30 mm de anchura y 110 mm de longitud. Esa parte 5 de la probeta está recubierta con un recubrimiento insonorizante 7, cuyo efecto de amortiguamiento ha de ser determinado. A la parte superior 5 se le añade hacia abajo una probeta 8, la cual está formada solamente por un soporte 9, el cual se parece en su configuración y tamaño al soporte 6 de la pieza superior 5, y que está recubierto con un material insonorizante 7b adecuado y de un alto grado de eficacia. El conjunto de la disposición se encuentra en una cámara de temperatura, de forma que se puede llevar a cabo la medición para temperaturas diferentes.

10 El Shaker 3 se acciona entonces con distintas frecuencias f y una amplitud predeterminada. Sobre la probeta 4 se origina una onda de flexión 10 con una longitud de onda λ , la cual transcurre transversalmente y hacia abajo, y que está representada en una vista instantánea en la figura 2. Ésta presenta desviaciones periódicas perpendicularmente a la posición inicial 11 de la probeta, atravesando la probeta en los distintos puntos la posición inicial con la velocidad de desviación representada por el vector 12. Se observa que las amplitudes de la desviación disminuyen exponencialmente hacia el final, siendo el factor de atenuación β de la envolvente 13 de la función exponencial tanto más grande cuanto mayor sea la acción amortiguadora de la probeta 5. Lo mismo es válido para las velocidades de desviación.

20 El factor d de pérdida, es decir, la relación, referida a un ciclo de oscilación, entre la energía transformada en calor respecto a la energía potencial máxima almacenada, es una función del factor de atenuación β y de la longitud de la onda λ . El factor de atenuación puede determinarse si se mide por ejemplo la amplitud de la onda de flexión en dos puntos adyacentes. Para ello se han colocado dos vibrómetros láser 21, 21' en una horquilla 20, con los cuales puede ser medida la desviación de la probeta 5. El valor máximo de la desviación es la amplitud en el punto de medición. En lugar de la amplitud, se puede determinar también la velocidad de desviación. La longitud de onda λ de la onda de flexión que transcurre se obtiene, por ejemplo, al evaluar la imagen fija del barrido por láser de la probeta oscilante 5.

25 La figura 3 muestra la velocidad de desviación para diferentes frecuencias de excitación f , dependiendo de la distancia a la sujeción (eje X 30), estando expresada la velocidad de desviación (eje Y 31) en forma logarítmica en [dB]. La curva superior 32 pertenece a una frecuencia pequeña de, por ejemplo, 1189 kHz, la curva inferior 33 a una frecuencia más alta, de aproximadamente 2992 kHz. De la pendiente de las distintas curvas puede evaluarse mediante regresión la amortiguación de las ondas de flexión por cada unidad de longitud para la correspondiente frecuencia.

30 En la Fig. 4 está representado el factor d de pérdida (eje Y 41) en dependencia de la frecuencia de excitación f (eje X 40). Estas curvas de medición proporcionan una muy buena información con respecto al efecto de amortiguación contra el sonido o ruido por estructuras sólidas de chapas recubiertas con material insonorizante.

35 Una variante de este método de medición, optimizada de forma decisiva con respecto a la precisión y manejabilidad, consiste en excitar a la probeta con una señal de banda ancha, medir la velocidad de desviación simultáneamente en dos puntos distintos 22, 22' separados entre sí en una distancia a , calcular mediante FFT la compleja función de transferencia, y de la característica de amplitud y de fase (figura 5) determinar el factor de pérdida (figura 6).

40 Además, si se efectúan esas mediciones en varios puntos dobles de medición, desplazando la horquilla 20, lo cual se da a entender mediante las líneas de puntos 20', se obtienen correspondientemente varias funciones complejas de transmisión. Estas pueden promediarse a través de un procedimiento matemático adecuado, teniendo en cuenta que para cada doble medición la distancia a entre los dos puntos de medición es la misma. Se ha mostrado, de forma sorprendente, que la función compleja de transmisión promediada está libre de interferencias, como aparición de ondas estáticas, torsiones, etc., en una proporción mucho mayor de lo esperado. Con esto pueden calcularse, de forma rápida y racional, valores muy precisos para el factor d de pérdida.

Lista de signos de referencia

50	1	Disposición de medición
	2	Viga de soporte
55	3	Shaker
	4	Probeta de dos partes
	5	Parte superior de la probeta
60	6	Soporte
	7	Recubrimiento insonorizante
65	8	Probeta ficticia
	7b	Recubrimiento insonorizante (probeta ficticia)

ES 2 342 534 T3

9	Soporte
10	onda transversal de flexión
5 11	Posición 0
12	Vector
13	Función exponencial
10 20	Horquilla
21, 21'	Vibrómetro láser
15 30	Eje X
31	Eje Y
32	Curva superior
20 33	Curva inferior
40	Eje X
25 41	Eje Y

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para la determinación de las características dinámicas de materiales, especialmente el factor de pérdida en recubrimientos para el aislamiento acústico de sonido en cuerpos sólidos en la industria del automóvil, con los pasos siguientes:

- (1) Generar una muestra representativa del material en forma de tira.
- 10 (2) Sujeción de la muestra en un extremo, y excitación de la muestra mediante un excitador de vibraciones hasta una onda transversal de flexión.
- (3) Determinación de un parámetro de desviación, o de la velocidad de desviación, al menos en una parte de la muestra.

15 **caracterizado** porque

- (4) la excitación de la probeta tiene lugar en el extremo sujeto, de modo que se configura una onda de flexión, con amplitud decreciente, que transcurre hacia el otro extremo de la probeta;
- 20 (5) se determina el parámetro de la desviación o de la velocidad de desviación en un punto de medición doble, formado por dos puntos de medición individuales situados a una cierta distancia entre sí;
- (6) se determina la longitud de onda de la onda de flexión que transcurre; y
- 25 (7) de los valores medidos se determina el factor d de pérdida de la probeta.

30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la probeta se sujeta colgada de un cabezal de sujeción, el cual sirve como excitador de vibraciones.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque el cuerpo de la probeta está formado por un soporte recubierto el material a medir, y porque en su extremo libre se ha sujetado, como absorbedor de ondas de flexión, una probeta ficticia en forma de banda.

35 4. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** porque la determinación de los parámetros de la desviación, o bien de la velocidad de desviación, tiene lugar en varios puntos dobles de medición contrapuestos entre sí, siendo calculada la característica de amortiguación de la probeta como el valor medio de las características de amortiguación determinadas para cada punto doble de medición.

40 5. Procedimiento según la reivindicación 1, 2 o 3, **caracterizado** porque la probeta es excitada con una señal de banda ancha, porque la determinación de los parámetros de la desviación, o bien de la velocidad de desviación, tiene lugar en un punto doble de medición, siendo calculada para ello la función compleja de transmisión, y de ahí se determina la característica de amplitud y de fase, y con ello finalmente el factor de pérdida.

45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la medición de los tamaños de las desviaciones tiene lugar con la ayuda de un vibrómetro láser.

50

55

60

65

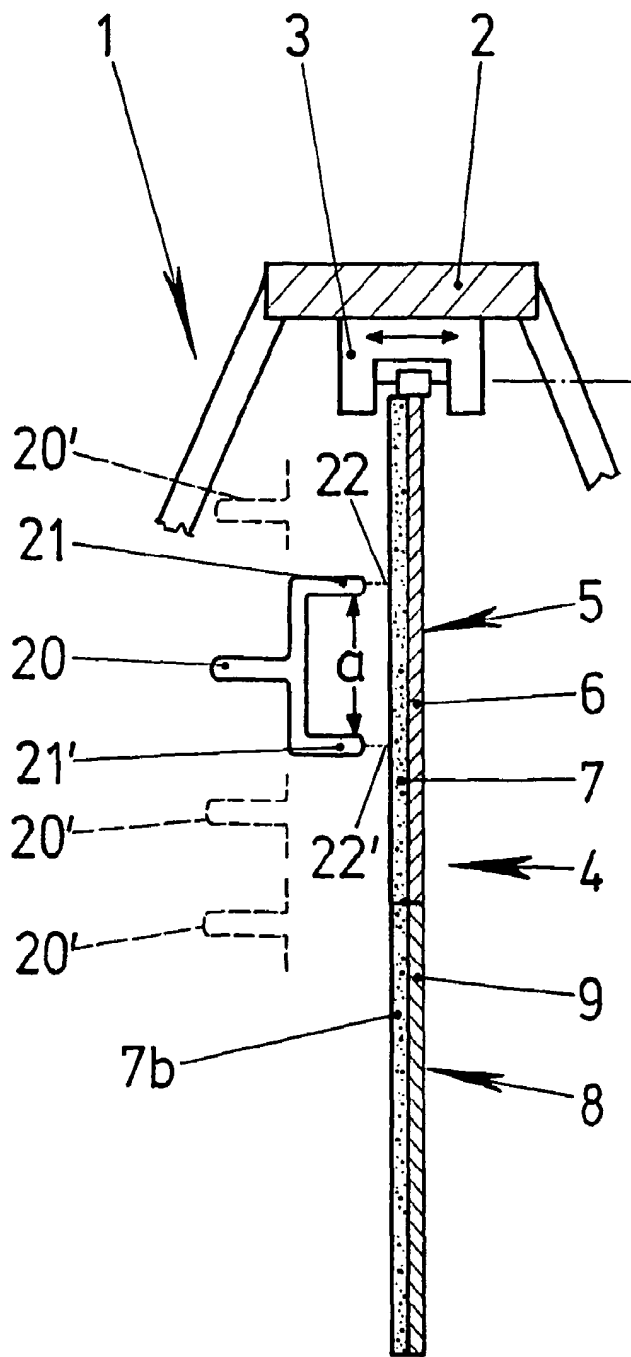


Fig.1

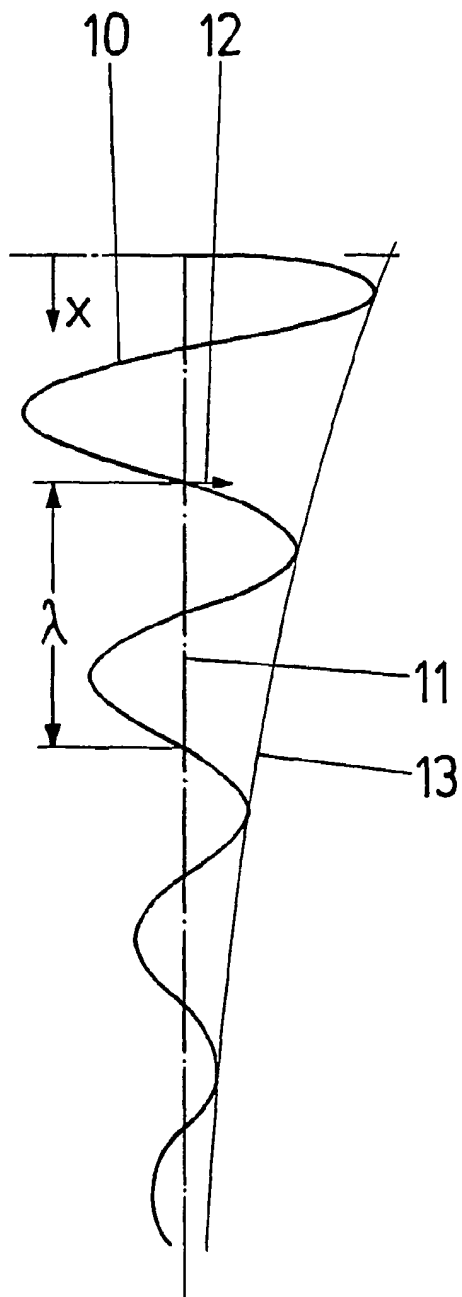


Fig. 2

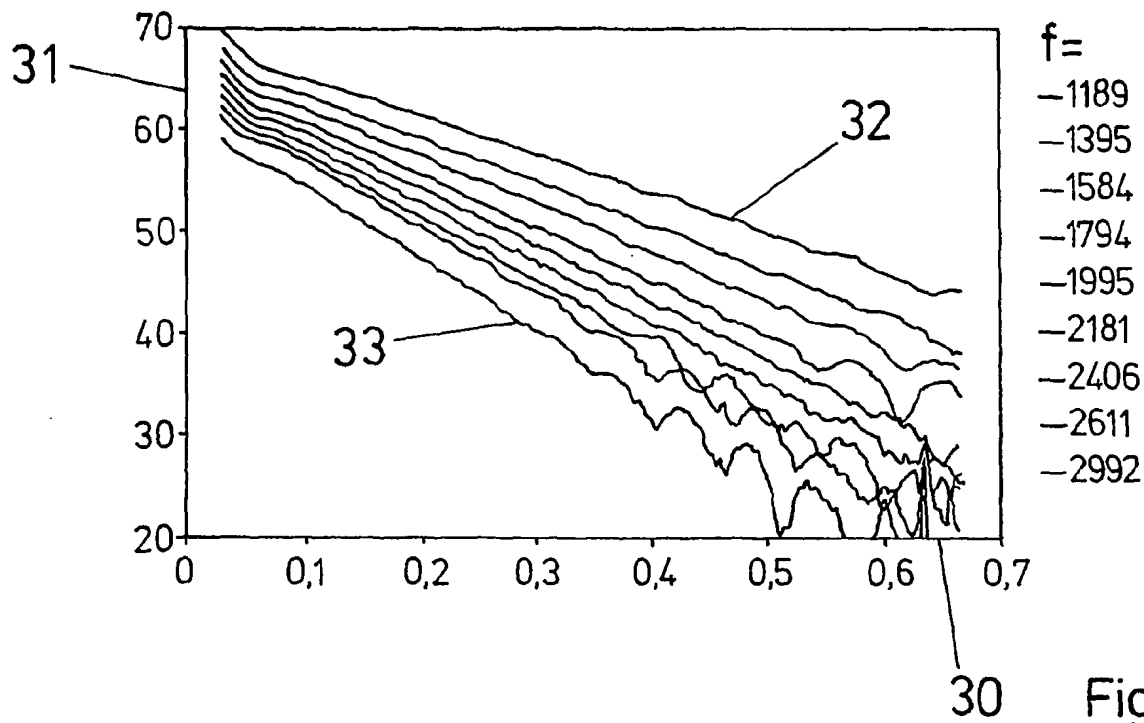


Fig. 3

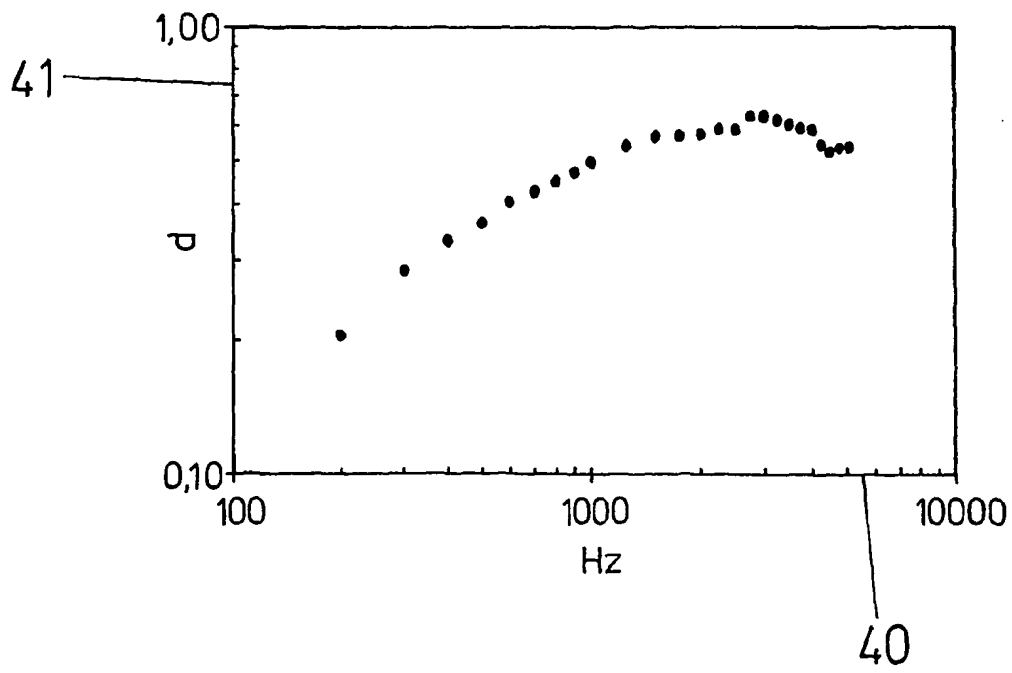


Fig. 4

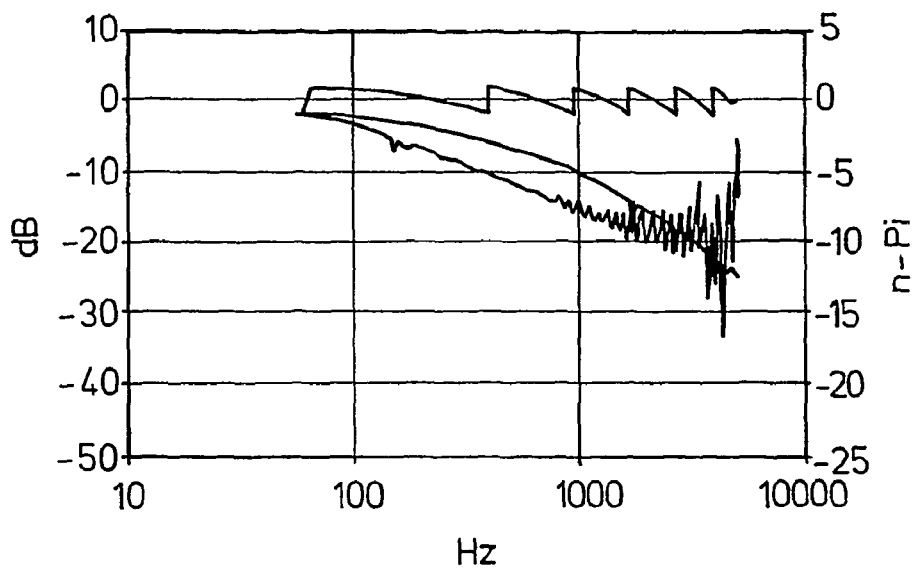


Fig.5

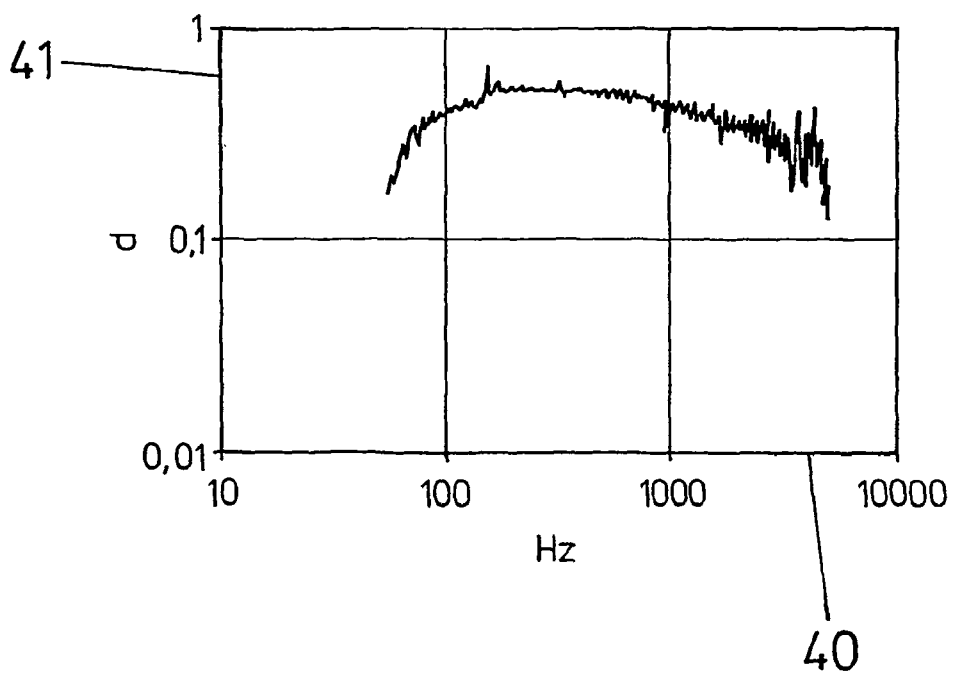


Fig.6