(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 553 751**

(51) Int. CI.:

G01N 27/90 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.07.2012 E 12743940 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.09.2015 EP 2734837**

(54) Título: **Método y dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado**

(30) Prioridad:

19.07.2011 DE 102011079438

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2015

(73) Titular/es:

INSTITUT DR. FOERSTER GMBH & CO. KG (100.0%)
In Laisen 70
72766 Reutlingen, DE

(72) Inventor/es:

HOLZMAYER, BERNHARD y
HALTER, MICHAEL

(74) Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

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

Método y dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado

[0001] La invención se refiere a un método y un dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado.

[0002] Con la prueba de materiales no destructiva se detectan errores en un material examinado, por ejemplo en forma de un producto semiacabado metálico.

[0003] En una variante del procedimiento de control, al producto examinado se le aplican campos electromagnéticos variables mediante una bobina de transmisión de forma senoidal energizada.
Las corrientes parásitas inducidas así en el producto examinado inducen a su vez en una sonda, por ejemplo en forma de bobina o sistema de bobinas, una señal eléctrica periódica que presenta una oscilación portadora, cuya amplitud y/o fase se modula a través de un error en el material examinado de una manera característica cuando un error alcanza una zona de medición de la sonda.

[0004] Con de la prueba de materiales, el material examinado a se puede mover de manera relativa a esta sonda con una velocidad relativa variable, por ejemplo cuando se frena o se aceleral material examinado de manera relativa a esta sonda.
El espectro de una de las señales causadas en la sonda debido a un error en el material examinado depende de la velocidad relativa, de modo que normalmente son necesarios conjuntos de filtros dependientes de la velocidad relativa para la señal de la sonda, lo que implica un gasto suplementario.

[0005] Lo mismo sirve para variantes del procedimiento de control en las que al material examinado no se le aplica una señal portadora, puesto que también allí un espectro de la señal de sonda depende de la velocidad relativa.

[0006] WO 2006/007826 A1 divulga un método para la captación de errores sin contacto y no destructiva en un material examinado movido de manera relativa a una sonda con una velocidad relativa variable, donde al material examinado se le aplican campos electromagnéticos periódicos variables mediante un emisor y se detecta mediante la sonda una señal eléctrica periódica que presenta una oscilación portadora, cuya amplitud y/o fase se modula por un error en el material examinado, donde se activa un convertidor de fase A/D con una fracción n entera de una frecuencia de una oscilación portadora, donde n se elige entre varias en función de la velocidad relativa.

[0007] La invención tiene por objeto poner a disposición un método y un dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado, que permite una prueba de materiales fiable y fácil de implementar con velocidades relativas variables entre el material examinado y la sonda.

[0008] La invención cumple este cometido mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y un dispositivo según la reivindicación 7.

[0009] El método para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado que se mueve de manera relativa a una sonda con una velocidad relativa variable, comprende los siguientes pasos: registro de una señal de sondas, por ejemplo una corriente de sonda y/o una tensión de sonda, mediante la sonda; transformación analógicodigital de la señal de sonda para producir una señal de sondas digitalizada en forma de una secuencia de palabras digitales con un índice de repetición de palabra dado especialmente constante; diezmado de escala-n del índice de repetición de palabra de la señal de sonda digitalizada o de una señal de demodulación digital derivada de la señal de sonda digitalizada por medio de una escala-n de diezmo en cascada, donde n ≥ 2, donde una escala de diezmo respectiva emite una señal de salida digital con un índice de repetición de palabra, por ejemplo de una (1) octava, reducido pero de constante longitud de la palabra; selección de las señales de salida de una de los escalas n de diezmo dependiendo de la velocidad relativa momentánea y filtrado de las señales de salida seleccionadas mediante un filtro digital, que es temporizado con el índice de repetición de palabra de las señales de salida seleccionadas.

[0010] La realización de filtros digitales es tanto más problemática cuanto más alejada esté una frecuencia de filtro de ángulo de un índice de repetición de palabra o de muestra (longitud de palabra necesaria, inestabilidades, etc.).
Por lo tanto, según la invención el índice de repetición de palabra se reduce tanto como sea posible antes de la filtración.
El índice de repetición de palabra reducido puede corresponderse por ejemplo con aproximadamente entre 20 y 30 partes de la frecuencia de señal máxima ocurrida.
Para aplicaciones con velocidad relativa fluctuante se encuentra una frecuencia de señal fluctuante.
Esta circunstancia requiere que las frecuencias de corte del filtro o de los filtros se adapten a la frecuencia de señal durante el funcionamiento.
Un cambio de la frecuencia de corte del filtro mediante el transbordo de coeficientes de filtro durante el servicio en funcionamiento resulta problemático (efectos transitorios, prueba de estabilidad de todos las coeficientes, etc.).

Puesto que hay filtros digitales de la frecuencia de corte en una proporción fija al índice de repetición de palabra o de muestra, en lugar de esto, según la invención se adapta dinámicamente el índice de repetición de palabra o de ejemplo utilizado a la frecuencia de señal momentánea, es decir a la velocidad relativa.
Las coeficientes del filtro pueden permanecer entonces inalterados.

[0011] En un perfeccionamiento, el diezmo en n grados del índice de repetición de palabra comprende los pasos: diezmo del índice de repetición de palabra en uno de los grados de diezmo, particularmente el primer grado de diezmo, para un factor regulable K, donde $K \geq 2$, preferiblemente $20 \leq K \leq 40$, y diezmo del índice de repetición de palabra en los grado de diezmo permanentes, particularmente el del segundo grado de diezmo de hasta n, respectivamente para un factor constante dos, es decir para exactamente una octava.
De este modo puede recorrerse un amplio rango dinámico gradualmente con precisión.
Preferiblemente k se ajusta dependiendo de la velocidad relativa momentánea.

[0012] En un perfeccionamiento el filtro digital es un filtro paso banda, particularmente con coeficientes de filtro constantes dados durante un funcionamiento, es decir durante la prueba de materiales no destructiva del material examinado.

[0013] En un perfeccionamiento el índice de repetición de palabra de la señal de sonda digitalizada o de la señal de demodulación digital se encuentra en una zona de 1 kHz hasta 200 Mhz, preferiblemente de 2 Mhz hasta 6 Mhz.

[0014] En un perfeccionamiento el método perfeccionado incluye los siguientes pasos: aplicación sobre el material examinado de un campo magnético variable, para generar en el material examinado un campo magnético variable eficaz correspondiente, donde el campo magnético variable se modifique periódicamente con al menos una frecuencia portadora prefijada, de modo que la señal de la sonda presente al menos una frecuencia portadora y esté modulada en su amplitud y/o fase dependiendo de las características del material del material examinado, y demodulación digital de la señal de sonda digitalizada, con que la señal de la sonda digitalizadas se multiplica con una señal portadora digitalizada con al menos una frecuencia portadora, para la producción de la señal de demodulación digitalizada en forma de una secuencia de palabras digitales con el índice de repetición de palabra prefijado de la transformación analógicodigital.

[0015] El dispositivo está formado para la realización del procedimiento y comprende la sonda, un convertidor analógicodigital que se forma para ello, la señal de la sonda para la producción de la señal de sonda digitalizada de la conversión analógicodigital, los n grados de diezmo en cascada, un medio de selección, por ejemplo una matriz de conmutación o un multiplexor, que están formados para ello, la señal de salida de uno de los n grados de diezmo dependientes de la velocidad relativa, y el filtro digital.

[0016] En un perfeccionamiento la sonda es una sonda de campo magnético que se forma particularmente para ello, un campo magnético inductivo o se incluye mediante el uso del efecto Hall.

[0017] En un perfeccionamiento están provistos: medio de reproducción de campos magnético, que se forman para la aplicación sobre el material examinado del campo magnético variable, y un demodulador digital, que se forma para demodular digitalmente la señal de sonda digitalizada.

[0018] La invención se describe a continuación con referencia al dibujo, que representa formas de realización preferidas de la invención.
A este respecto se muestra esquemáticamente: Fig. 1 dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado.

[0019] Fig. 1 muestra un dispositivo para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado 8, que se mueve de manera relativa a una prueba de campo magnética 1 con una velocidad variable relativa conocida en el dispositivo y a la que se aplica, mediante medios de producción de campo magnético no mostrados en más detalle, un campo magnético variable conocido en el dispositivo, que es producido mediante una señal de provocación, donde la señal de provocación y por lo tanto también el campo magnético variable se modifican periódicamente con al menos una frecuencia portadora o de provocación prefijada.
La frecuencia portadora o de provocación puede estar por ejemplo en una zona de 1 kHz hasta 500 kHz.

[0020] De esta manera se produce en el material examinado un campo magnético variable eficaz correspondiente, de modo que hay una señal de sonda US que muestra al menos una frecuencia portadora y se modula en su amplitud y/o fase dependiendo de las características del material del material examinado.

[0021] La señal de la sonda US se filtra mediante unos filtros antialias (AAL) 2 conectados después y luego mediante un convertidor analógicodigital 3 para la producción de una señal de sonda digitalizada USD en forma de una secuencia de palabras digitales con un índice de repetición de palabra prefijado constante y una longitud de palabra prefijada constante convertida analógicodigitalmente.
La señal de la sonda US está por consiguiente digitalizada, de manera discreta en tiempo y amplitud, con un índice de repetición de palabra o de muestra constante.

El índice de repetición de palabra se determina con el convertidor analógicodigital 3 y dispone de 4Mmuestra/s ejemplar/es.
El convertidor analógicodigital 3 y el precableado en forma del filtro antialias 2 se ocupa del cumplimiento del teorema de Shannon, es decir que la señal de entrada del convertidor analógicodigital 3 contenga sólo componentes de frecuencia < 2MHz.

[0022] Un demodulador digital 4 sirve a un demodulador digital de la señal de sonda digitalizada USD, con que la señal de la sonda digitalizada USD con una señal portadora digitalizada no representada en más en detalle se multiplique por al menos una frecuencia portadora, para de este modo producir una señal de demodulación digitalizada UM en forma de una secuencia de palabras digitales con el índice de repetición de palabra prefijado.
La demodulación realiza con la señal de provocación el bloqueado en la fase, para que se pueda procurar el desfase entre la señal de provocación y la señal de la sonda US, que contiene información de control.
La demodulación se realiza mediante una multiplicación con la señal de provocación bajo el mantenimiento del índice de repetición de palabra completo del convertidor analógicodigital 3.

[0023] La demodulación se puede realizar dos veces, es decir por un lado como multiplicación con una señal de coseno con la frecuencia portadora para la producción de un componente-X y como multiplicación con una señal de seno con la frecuencia portadora para la producción de un componente-Y. Con estas multiplicaciones surgen la suma y la diferencia del espectro presente con la frecuencia portadora.
La elaboración posterior de ambos componentes demodulados se realiza de manera respectivamente idéntica, donde subsecuentemente la elaboración posterior ejemplar se describe únicamente para un componente.

[0024] Convencionalmente la demodulación se realiza con 1 ó 2 exploraciones o muestras por período portador con ángulos de fase fijos.
En este caso significa la demodulación simultáneamente de un muestreo con la frecuencia portadora o la frecuencia portadora doble.
Para evitar la interferencia de productos de aliasing, se deben reprimir antes de esta demodulación las gamas de frecuencias a 0Hz y la frecuencia portadora y su múltiplos con un filtro antialias.

[0025] Según la invención se realiza la demodulación con el índice de repetición de palabra completo y constante del convertidor analógicodigital 3, de modo que la demodulación es independiente de la frecuencia portadora o de provocación.
Así se reduce un gasto de circuito análogo ante el convertidor analógicodigital 3 sobre un mínimo, es decir un filtro de paso bajo AAL constante con el medio índice de repetición de palabra o frecuencia de repetición de palabra del convertidor analógicodigital 3. Dado que el índice de repetición de palabra antes de la demodulación y durante ella no es reducido, no es necesario ningún filtro AAL antes de la demodulación.

[0026] Un decimador con n grados de diezmo en cascada de 5_1 hasta 5_n sirve para el diezmo de n grados del índice de repetición de palabra de la señal de demodulación digital UM, donde las salidas de los grados de diezmo respectivos de 5_1 hasta 5_n están conectadas con las entradas correspondientes de un medio de selección en forma de una matriz de conmutación 6.
El número n los grado de diezmo puede sumar por ejemplo 13.

[0027] En el demodulador 4 o posteriormente se prevé un filtro de paso bajo no mostrado que se dimensiona de tal manera que se suprimen de forma suficiente los subproductos de demodulación con la frecuencia portadora doble.
El filtro sirve simultáneamente como filtro AAL antes de la diezma del índice de repetición de palabra.

[0028] Una salida de la matriz de conmutación 6 está conectada con un filtro paso banda digital 7 como filtro de aplicación, donde la matriz de conmutación 6 se selecciona de un grado de diezmo dependiente de la velocidad relativa momentánea, que la matriz de conmutación 6 de un dispositivo medidor de velocidad 9 se pone a disposición.
El medio de la señal de salida seleccionada de la matriz de conmutación 6 sirve como señal de entrada para el filtro paso banda 7, que se temporiza con el índice de repetición de palabra correspondientemente reducido de las señales de salida seleccionadas.

[0029] A causa de la temporalización dependiente de la velocidad relativa del filtro de paso banda 7 surgen automáticamente sus frecuencias de corte de manera adecuada a la velocidad relativa momentánea, de modo que el espectro dependiente de la velocidad relativa de la señal producida en la sonda 1 es considerado automáticamente, sin que a tal objeto, como de costumbre, fueran necesarios conjuntos de filtros convencionales dependientes de la velocidad relativa.

[0030] El filtro paso banda o filtro de aplicación 7, que incluye un paso bajo 7a y un paso alto 7b, sirve esencialmente para la supresión de interferencias específicas de la aplicación.
Con las alteraciones filtradas surgen principalmente en el material examinado, por ejemplo debido a la modificación estructural, fluctuaciones de permeabilidad, rugosidad de la superficie, etc. Para esto resulta significativo el paso alto 7b.

El filtro de paso bajo 7a sirve para la supresión de interferencias de baja frecuencia, por ejemplo para la supresión de distorsión de red etc.

[0031] El área de paso del filtro de aplicación 7 corresponde a las frecuencias de los diferentes defectos por encontrar del material a la velocidad en pista dada (saltar contorno más estrecho perpendicularmente hasta saltar el contorno más ancho oblicuamente).
En una salida del filtro de aplicación 7 se emite una señal de demodulación correspondientemente filtrada por el filtro paso banda, que por ejemplo, puede ser evaluado eventualmente según una otra reducción del índice de repetición de palabra, en un microprocesador y/o hardware dedicado a la identificación de errores en el material examinado.

[0032] En aplicaciones con velocidad relativa o curso fluctuante se encuentra una frecuencia de señal fluctuante.
Esta circunstancia requiere adaptar en funcionamiento las frecuencias de corte del filtro o de los filtros de aplicación a la frecuencia de señal.
Un cambio de la frecuencia de corte del filtro por el transbordo de los coeficientes en el servicio en funcionamiento resulta sin embargo problemático (efectos transitorios, prueba de estabilidad de todas las series de coeficientes, etc.).
Puesto que sin embargo con los filtros digitales, la frecuencia de corte está en una proporción fija a la frecuencia de reloj, es decir al índice de repetición de palabra, en lugar de esto la frecuencia de reloj será adaptada dinámicamente a la frecuencia de señal.
Los coeficientes del filtro de aplicación 7 pueden entonces permanecer inalterados durante todo el funcionamiento.

[0033] Dependiendo de los errores existentes de material por un lado y la producción de señal de interferencias por otra parte, el ancho de banda debe ser ajustable.
Mientras que el filtro paso bajo 7a del filtro de aplicación 7 siempre se opera con el mismo coeficiente, para el paso alto 7b pueden del filtro de aplicación 7 ya se pueden mantener más coeficientes específicos, que un usuario puede seleccionar específicamente para un uso en una fase de instalación.
Durante todo el funcionamiento del dispositivo de prueba no es necesario sin embargo cambiar un coeficiente.

[0034] La realización del filtro de aplicación 7 es más compleja, conforme más se aleja una frecuencia de corte del filtro de la frecuencia de reloj del filtro de aplicación 7.
A causa del decimador se proporciona siempre a este respecto una frecuencia de reloj optimizada, es decir el índice de repetición de palabra.
El índice de repetición de palabra se puede diezmar por medio del decimador, por ejemplo hasta que la parte 24 de máxima señal de frecuencia esperada sea diezmada.

[0035] El diezmar no se lleva a cabo en un paso, sino dividido en un primer grado de diezmo 5_1, que varía dentro en una octava el índice de repetición de palabra, y los grados de diezmo 5_2 a 5_n, que respectivamente reducen a la mitad el índice de repetición de palabra en una cadena.

[0036] La cadena de los grados de reducción a la mitad o de diezmo 5_2 a 5_n mete ya después de cada grado una toma.
Eso significa que se ponen a disposición señales en muchas frecuencias de captación en escala octavaria simultáneamente.
En caso de modificaciones, la frecuencia de señal puede cambiarse por medio de la matriz de conmutación 6 por otra toma correspondiente.
El campo dinámico sobre el cual se puede cambiar puede aumentar principalmente a voluntad alargando la cadena de los grados de reducir a la mitad 5_2 a 5_n.

[0037] Cada uno de los grados de diezmo 5 _ a 5_n presenta un filtro de diezma no mostrado con una pequeña distancia entre la frecuencia de corte y el índice de repetición de palabra respectivo, de modo que los filtros de diezma son simples y realizables de manera estable.

[0038] El primer grado de diezmo 5_1 baja el índice de repetición de palabra del convertidor analógicodigital 3 hasta la frecuencia de captación más alta necesitada a partir de un índice decimal variable sobre una octava K, con K siendo por ejemplo 20, 21,22 ... 40. La reducción del índice se puede producir por ejemplo con que se eliminan las siguientes muestras k-1 después de una muestra.
Mediante el primer grado de diezmo 5_1 se puede variar el índice de repetición de palabra, por ejemplo en 20 grados sobre una octava con un incremento <= 5%.

[0039] Una variación de K se efectúa en la adaptación en la frecuencia de señal, que se detecta a su vez sobre la velocidad relativa.
Con velocidad relativa fluctuante se detectan valores registrados de velocidad regulares, y la reducción del índice K es conducida de forma dinámica en funcionamiento.

[0040] El alcance de variación del índice de repetición de palabra se amplia sobre una octava además por medio de los grados de diezmo 5_2 a 5_n hasta el índice de repetición de palabra necesitado más bajo esperado.

La reducción del índice para el factor 2 surge al omitir cada segunda muestra.

[0041] La cadena de los grado de diezmo 5_2 a 5_n se opera siempre sobre la longitud completa correspondiente a la frecuencia de señal mínima.
Después de cada grado de reducción a la mitad se puede efectuar la toma para la elaboración posterior de la señal de control.
El decimador mismo permanece inalterado siempre.

[0042] Se entiende que en el caso de señales de sondas no moduladas se puede prescindir del demodulador.

[0043] Las formas de realización mostradas permiten una prueba de materiales fiable y fácil de implementar entre el material examinado y la sonda con velocidades relativas variables.

REIVINDICACIONES

1. Método para la prueba de materiales no destructiva de un material examinado (8), que se mueve de manera relativa a una sonda (1) con una velocidad relativa variable, con los siguientes pasos:
- registro de una señal de sonda (US) mediante la sonda (1),
- transformación analógicodigital de la señal de sonda (US) para la producción de una señal de sonda digitalizada (USD) en forma de una secuencia de palabras digitales prefijada con un índice de repetición de palabra particularmente constante,
- diezmo en escala-n del índice de repetición de palabra de la señal de sonda digitalizada (USD) o de una señal de demodulación digital desviada de la señal de la sonda digitalizada (UM) mediante n grados de diezmo en cascada (5_1 a 5_n), donde n ≥ 2,
- selección de una señal de salida (UA_1 a UA_n) de uno de los n grados de diezmo (5_1 a 5_n) dependiendo de la velocidad relativa momentánea y
- filtrado de la señal de salida seleccionada por medio de un filtro digital (7), temporalizado con el índice de repetición de palabra de la señal de salida seleccionada.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el diezmo en n grados del índice de repetición de palabra comprende los siguientes pasos:
- diezmo del índice de repetición de palabra en uno de los grados de diezmo, particularmente el primer grado de diezmo (5_1), en un factor regulable K, donde K ≥ 2, preferiblemente 20 ≤ K ≤ 40, y
- diezmo del índice de repetición de palabra en los grados de diezmo restantes, particularmente en los segundos grados n de diezmo (5_2 a 5_n), respectivamente para un factor constante dos.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por el hecho de que** K se ajusta dependiendo de la velocidad relativa momentánea.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que**
- el filtro digital (7) es un filtro paso banda, en particular con coeficientes de filtrado constantes, prefijados durante el funcionamiento.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que**
- el índice de repetición de palabra de la señal de sonda digitalizada o de la señal de demodulación digital se encuentra en un margen de 1 kHz hasta 200 Mhz, particularmente de 2 Mhz hasta 6 Mhz.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por** los pasos:
- aplicación sobre el material examinado (8) de un campo magnético variable para generar en el material examinado (8) un campo magnético variable eficaz correspondiente, donde el campo magnético alternativo varía periódicamente con al menos una frecuencia portadora prescrita de manera que la señal de sonda (US) presenta al menos una frecuencia portadora y se modula con relación a su amplitud y/o su fase dependiendo de las propiedades del material examinado, y
- demodulación digital de la señal de sonda digitalizada (USD), multiplicando la señal de la sonda digitalizada (USD) por una señal portadora digitalizada con al menos una frecuencia portadora para la producción de la señal de demodulación digitalizada (UM) en forma de una secuencia de palabras digitales con el índice de repetición de palabra prefijado.

7. Dispositivo para la ejecución del procedimiento según una de las reivindicaciones de la 1 a la 6, **caracterizado por**
- la sonda (1),
- un convertidor analógicodigital (3), que se configura para transformar analógicodigitalmente la señal de la sonda (US) para la producción de la señal de sonda digitalizada,
- los n grados de diezmo en cascada (5_1 a 5_n),
- medio de selección (6) formados para seleccionar la señal de salida (UA_1 a UA_n) de uno de los n grados de diezmo (5_1 a 5_n) dependiendo de la velocidad relativa, y
- el filtro digital (7).

8. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado por el hecho de que**
- la sonda (1) es una sonda de campo magnética, que se configura particularmente para registrar un campo magnético inductivo o por el uso del efecto Hall.

9. Dispositivo según la reivindicación 7 u 8, **caracterizado por**
- medios de reproducción del campos magnético, formados para aplicar el campo magnético variable sobre el material examinado y
- (4) un demodulador digital que se configura para demodular digitalmente la señal de sonda digitalizada.

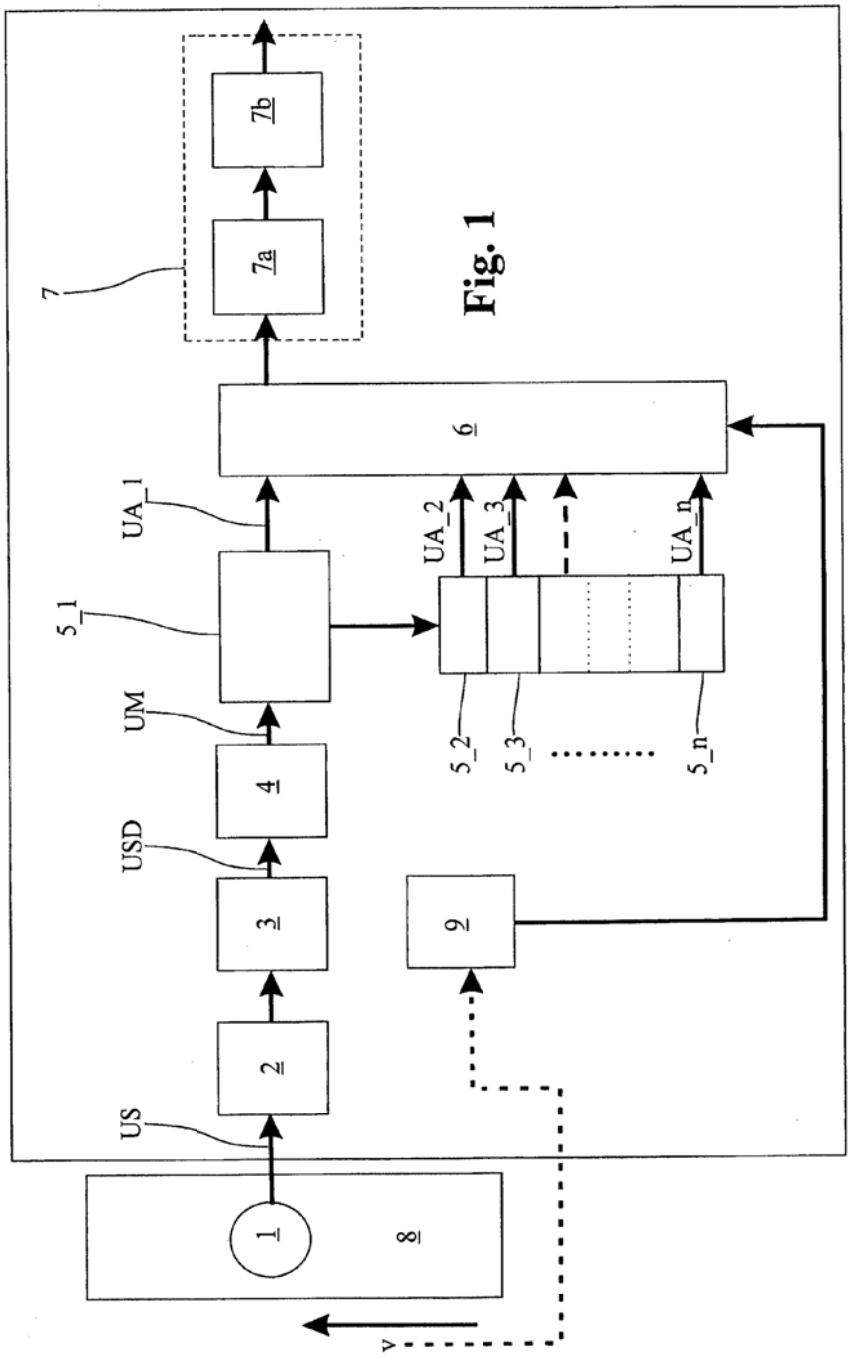

Fig. 1