

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 170**

51 Int. Cl.:

**G01N 22/00** (2006.01)

**G01N 22/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2008 E 08851966 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 2179273**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la medición de humedad y/o la medición de densidad**

30 Prioridad:

**20.11.2007 DE 102007057092**

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

**17.04.2013**

73 Titular/es:

**TEWS ELEKTRONIK GMBH & CO. KG (100.0%)  
Sperberhorst 10  
22459 Hamburg , DE**

72 Inventor/es:

**RICHTER, HENDRIK**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 401 170 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 y dispositivo para la medición de humedad y/o la medición de densidad

5 La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para la medición de humedad y/o la medición de densidad en un material que ha de ser medido, usando la técnica de microondas. La invención se refiere especialmente a la medición sin contacto de un valor de humedad independiente de la densidad y del grosor del material que ha de ser medido y/o de un valor de densidad superficial, independiente de la humedad, que al conocerse el grosor puede transformarse en una densidad. La medición se realiza en materiales dieléctricos mediante la transmisión de radiación electromagnética a través del material que ha de ser medido. La presente invención es aplicable para cualquier tipo de materiales que han de ser medidos, especialmente para la medición de humedad de grandes fardos y de cartones llenos por ejemplo de té, tabaco, algodón, textiles, celulosas, materiales orgánicos y similares, así como para materiales que han de ser medidos, en forma de placas, como por ejemplo placas de madera, placas de viruta prensada, placas de fibras de densidad media, materiales de construcción, yeso, poliestireno, plásticos y similares. Asimismo, la invención es apropiada para emplearse en materiales parados o movidos, como por ejemplo en granos, cereales, frutos secos y verduras, granulados y similares.

Por el documento DE4004119C2, por ejemplo, se conoce que es posible la medición de humedad en sustancias dieléctricas con ondas electromagnéticas. Esta medición está basada en el hecho de que el agua tiene un alto índice de refracción complejo  $n-ik$ , de modo que las propiedades dieléctricas del material húmedo que ha de ser medido son determinadas en medida decisiva por las propiedades dieléctricas del agua contenida. Además del hecho de que el agua tiene un alto índice de refracción complejo, para la evaluación de la medición es importante que el índice de refracción complejo sea proporcional a la densidad del material que ha de ser medido. Las ondas electromagnéticas que entran en interacción con el material que ha de ser medido experimentan dentro del material que ha de ser medido tanto una atenuación como un acortamiento de las longitudes de onda. La atenuación de las ondas electromagnéticas es mayor cuanto más grande es la parte imaginaria  $k$  del índice de refracción complejo del material. El acortamiento de longitud de la onda electromagnética es más intenso cuanto más grande es la parte real  $n$  del índice de refracción complejo del material. Por lo tanto, ambos efectos son tanto más grandes cuanto mayores son la humedad y la densidad del material.

La medición del índice de refracción complejo del material que ha de ser medido se consigue especialmente bien con resonadores de microondas, por ejemplo con DE4004119C2. Aquí se registran el cambio del ancho de resonancia y la modificación de la frecuencia de resonancia del resonador lleno en comparación con el resonador no lleno, y de esta manera se determinan magnitudes características para la parte imaginaria y la parte real del índice de refracción complejo o de las constantes de dielectricidad complejas del material que ha de ser medido. A partir de las magnitudes características se determinan entonces un valor de humedad independiente de la densidad y/o un valor de densidad independiente de la humedad para el material que ha de ser medido usando otros parámetros específicos. Dado que el campo electromagnético está vinculado al resonador y penetra en el material que ha de ser medido sólo hasta una pequeña profundidad de aprox. media longitud de onda, en el caso de extensos materiales que han de ser medidos y especialmente en caso de usar sensores de campo de dispersión, los procedimientos de resonador están sujetos generalmente a la limitación técnica de poder registrar la humedad y la densidad sólo en la superficie, pero no en el núcleo del material que ha de ser medido. Además, el resonador tiene que ponerse siempre cerca del material que ha de ser medido, teniendo que estar en la mayoría de los casos incluso en contacto con éste.

En muchas aplicaciones es necesario el registro de la humedad y/o de la densidad en el núcleo de extensos materiales que han de ser medidos, como por ejemplo en grandes cartones o fardos. En la técnica de microondas, para ello se emplean mediciones de transmisión en las que el material que ha de ser medido es atravesado por radiación de microondas.

Por el documento US4,727,311 se conoce un procedimiento de medición por transmisión, en el que usando microondas se determina el contenido en humedad en el material que ha de ser medido. Para ello, se usan dos señales de entrada de microondas de distintas frecuencias y se mide respectivamente su atenuación. A partir de la atenuación se determina la humedad. Para determinar la densidad del material que ha de ser medido se registra el desfase de las señales de microondas en el material que ha de ser medido.

Por el documento US5,333,493 se conocen un dispositivo y un procedimiento para la determinación del contenido en humedad en una muestra transportada sobre una cinta transportadora pasando por una disposición de medición. Para la medición se usa una serie de señales de microondas con frecuencias discretas. El desfase de las señales recibidas se promedia y se evalúa junto con un peso del material que ha de ser medido, determinado por pesaje, para determinar la humedad.

Por el documento US6,025,724 se conocen un dispositivo y un procedimiento para la determinación del contenido en

humedad en materiales embalados. En este caso, se miden varias veces el desfase y la atenuación de las microondas recibidas, pasando las microondas por diferentes zonas del material que ha de ser medido. Añadiendo otra magnitud característica para el material que ha de ser medido, a partir de los valores medidos para la atenuación se determina un valor bruto para una atenuación corregida, que sirve entonces para determinar la humedad.

Por el documento US2004/023338A1 se conoce un procedimiento y un dispositivo para la medición de la humedad y/o del contenido en sal en un material que ha de ser medido. El material que ha de ser medido es atravesado por radiación de microondas polarizada y se analiza la radiación reflejada. A partir de la atenuación de la radiación reflejada se determina entonces la humedad.

Por el documento US2005/0253595A1 se conocen un dispositivo y un procedimiento para determinar la humedad, en el que se analizan el desfase y la atenuación de la radiación transmitida. Además, se mide por separado el grosor de la muestra para analizar la humedad de la muestra.

Por un artículo de O. Schimmer y col., "Noncontacting determination of moisture content in bulk materials using sub-nanosecond UWB-pulses", Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions, junio de 2005 se conoce un procedimiento en el que un corto pulso casi Gaussiano genera ondas electromagnéticas y se irradia a través de una antena de emisión y que entonces atraviesa el material que ha de ser medido y vuelve a ser recibido por una antena receptora. Con la ayuda de una calibración multivariada, una regresión de componentes principales (PCR) o de una red neuronal artificial, la forma del impulso transmitido se compara con la forma del pulso transmitido sin material que ha de ser medido. Con esta técnica se pueden obtener al menos dos magnitudes de medición que se usan para la medición de humedad independiente de la densidad.

Por el documento US4,319,185 se conoce un procedimiento en el que se emite un pulso electromagnético, cuya intensidad después de la transmisión por el material que ha de ser medido se usa como magnitud característica para la humedad. En este procedimiento se registra exclusivamente la atenuación, de modo que es necesaria una medición de densidad adicional para poder determinar un valor de humedad independiente de la densidad.

En S.I. Elkhatali y col.: "Estimation of Electromagnetic of Libyan soil Properties by Stepped Frequency Radar", publicado en Advanced Ground Penetrating Radar, 2007, Fourth International Workshop on IEEEPE, 1 de junio de 2007, páginas 110 a 113, se dio a conocer el procedimiento de hacer pasar señales de microondas del intervalo de frecuencias de 1 a 3 GHz por un material que ha de ser medido con un grosor D definido. Las señales de microondas transmitidas se reflejan en un reflector, registrándose la radiación reflejada. Se realiza una medición de la atenuación y del desfase de las señales de microondas reflejadas. A continuación, el procedimiento se repite para una muestra para medición con el grosor  $D + \Delta Z$ . A continuación, se realiza una transformación de los valores de medición obtenidos en el intervalo de tiempo mediante una transformación de Fourier inversa, a partir de la que se determina un retardo de tiempo correspondiente. A partir del retardo de tiempo se determina un valor de humedad dependiente de la densidad.

Por Jürgen Sachs: "Principles of Ultra-Wideband Sensor Electronics", aparecido en Electromagnetic Aquametry: Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substance, editado por Klaus Kupfer, editorial Springer-Verlag, Berlin 2004, se conoce el procedimiento de desarrollar a partir de una señal de medición  $y_m(t)$  una señal de estímulo  $x_m(t)$ . Para ello, se propone la siguiente fórmula:

$$h(t) = IFT \left\{ \frac{FT\{y_m\}}{FT\{x_m\}} \right\}$$

en la que FT { } corresponde a la transformación de Fourier e IFT { } corresponde a la transformación de Fourier inversa.

Por E. Nyfors y col.: "Industrial Microwave Sensors" aparecido en ARTECH HOUSE INC. se conoce el procedimiento de contemplar la relación de la atenuación y del desfase de una onda transmitida para poder obtener información sobre la constante de dielectricidad.

La invención tiene el objetivo de proporcionar un procedimiento y un dispositivo para la medición de humedad y/o la medición de densidad en un material que ha de ser medido, que permita determinar valores exactos para la humedad y/o la densidad con los medios más sencillos posible para los materiales más diversos que han de ser medidos en diferentes posiciones espaciales con respecto a la disposición de medición.

Según la invención, el objetivo se consigue con un procedimiento según la reivindicación 1 y mediante un dispositivo con las características según la reivindicación 11.

El dispositivo según la invención sirve para la medición de humedad y/o la medición de densidad en un material que ha de ser medido mediante un emisor de microondas y un receptor de microondas. Además, está prevista una unidad de evaluación que es capaz de determinar la fase y la amplitud para la radiación del emisor de microondas, recibida por el receptor de microondas, y en la que puede almacenarse una función de transmisión compleja de la disposición de medición. La función de transmisión compleja de la disposición de medición indica cómo una onda electromagnética cambia en cuanto a su fase y su amplitud durante el paso por la disposición de medición en función de la frecuencia, cuando no está presente ningún material que ha de ser medido entre el emisor de microondas y el receptor de microondas. En el procedimiento según la invención, en un procedimiento de medición, para un número de frecuencias se determina la fase y la amplitud de la radiación de microonda transmitida a través del material que ha de ser medido, formando los valores la función de transmisión compleja del material que ha de ser medido. A partir de los valores determinados, usando la función de transmisión compleja de la disposición de medición, se calcula la función de transmisión compleja del material que ha de ser medido. La función de transmisión del material que ha de ser medido es una función de transmisión para el material que ha de ser medido, que describe cómo la onda electromagnética cambia en cuanto a su fase y su amplitud durante el paso a través del material que ha de ser medido. La función de transmisión compleja del material que ha de ser medido se transforma en el intervalo de tiempo en una función de de intervalo de tiempo compleja. A partir de la función de intervalo de tiempo, el momento en el que el pulso principal tiene su valor máximo se determina como magnitud característica A. Además, a partir de la función de intervalo de tiempo se determina el ancho, preferentemente el ancho de semiamplitud del pulso principal de la función de intervalo de tiempo compleja como magnitud característica B y/o el valor de amplitud máximo del pulso principal como magnitud característica H. La humedad y/o la densidad del material que ha de ser medido se determinan a partir de la magnitud característica A y a partir de las magnitudes características B y/o H. Como pulso principal se considera el pulso en el intervalo de tiempo, que presenta el mayor valor de amplitud y/o la mayor energía.

En contraposición a los procedimientos de transmisión conocidos, el procedimiento según la invención trabaja para la evaluación de las señales de medición con una representación de los resultados de medición tanto en el intervalo de frecuencias como en el intervalo de tiempo. Las representaciones de intervalo de frecuencias y las representaciones de intervalo de tiempo son representaciones complementarias de funciones que pueden transformarse una en otra mediante la transformación de Fourier. El procedimiento según la invención trabaja en primer lugar en el intervalo de frecuencias donde usando la función de transformación de la disposición de medición y una función de transmisión del material que ha de ser medido, registrada para una serie de frecuencias preferentemente discretas, se calcula la función de transmisión compleja del material que ha de ser medido. Para ello se aprovecha que al medir la radiación de microondas transmitida a través del material que ha de ser medido en la disposición de medición, la variación de la amplitud y de la fase pueden representarse en la intervalo de frecuencias como producto de la función de transmisión de la disposición de medición y de la función de transmisión del material que ha de ser medido. La función de transmisión del material que ha de ser medido describe la variación de la radiación electromagnética a través del material que ha de ser medido, estando ya calculadas las influencias por la disposición de medición, por ejemplo las características de irradiación y las características de recepción del emisor de microondas o del receptor de microondas. La función de transmisión del material que ha de ser medido, obtenida de esta forma, contiene sin embargo además las influencias de la radiación de microondas que ha sido reflejada en las superficies límite del material que ha de ser medido y que ha interferido con la radiación transmitida o incidida. Para descartar estas influencias, según la invención, la función de transmisión compleja del material que ha de ser medido se transforma en la función de intervalo de tiempo. En la función de intervalo de tiempo, las señales originadas por reflexión ya no están superpuestas a la señal de medición en sí, sino que, a causa de su mayor tiempo de propagación entre el emisor de microondas y el receptor de microondas, aparecen más tarde que la señal de medición en sí en la función de intervalo de tiempo. Dado que el análisis de la función de intervalo de tiempo se centra en el pulso principal de la función de intervalo de tiempo, se suprimen influjos perturbadores en la señal de medición. La aparición del pulso principal de la función de intervalo de tiempo proporciona un valor de partida muy fiable para una evaluación posterior de las señales de medición, que proporciona el valor de humedad y/o de densidad para el material que ha de ser medido. Entonces, las señales de medición se evalúan de manera conocida, por ejemplo, evaluando la magnitud característica A para el retardo de tiempo de propagación de la señal por el material que ha de ser medido y la magnitud característica B para el ancho del pulso principal o la magnitud característica H para el valor de amplitud del pulso principal. Tanto la magnitud característica B como la magnitud característica H son una medida para la parte imaginaria del índice de refracción complejo y el grosor del material que ha de ser medido, mientras que la magnitud característica A puede evaluarse como medida de la parte real del índice de refracción complejo y el grosor del material que ha de ser medido. A partir de la magnitud característica A y al menos una magnitud característica B o H adicional se determina, independientemente de la humedad, la humedad del material que ha de ser medido y/o, independientemente de la densidad, la densidad del material que ha de ser medido. Una ventaja especial del procedimiento según la invención consiste en que las magnitudes características obtenidas son independientes de la posición exacta o la alineación exacta del material que ha de ser medido en la disposición de medición entre el emisor de microondas y el receptor de microondas. Otra ventaja especial del procedimiento según la invención consiste en que la humedad medida de esta forma es también independiente del grosor del material que ha de ser medido.

5 En una forma de realización preferible del procedimiento según la invención, en un solo procedimiento de medición sin material que ha de ser medido entre el emisor de microondas y el receptor de microondas para un número de frecuencias se determinan la fase y la amplitud de la radiación de microondas emitida por el emisor de microondas y recibida por el receptor de microondas y a partir de ello se determina la función de transmisión compleja de la disposición de medición y se deposita en la unidad de evaluación. En este procedimiento de medición se pueden determinar para una o varias mediciones siguientes con el material que ha de ser medido, las características de transmisión que tiene la disposición de medición en sí. Las posibles variaciones de la disposición de medición producidas por ejemplo por la variación de las condiciones ambientales o por golpes contra el emisor o el receptor antes de la medición de la función de transmisión de la disposición de medición, pueden compensarse de esta manera y no influirán en los resultados de medición.

15 Existen diferentes soluciones para evaluar la función de intervalo de tiempo compleja, especialmente para determinar el momento en el que el importe del pulso principal tiene su valor máximo. En una forma de realización preferible de la invención, se evalúa el importe de la función de intervalo de tiempo compleja. Alternativamente, también es posible usar la parte real y/o la parte imaginaria de la función de intervalo de tiempo compleja para la determinación de las magnitudes características.

20 En otra forma de realización conveniente del procedimiento según la invención, las frecuencias en el procedimiento de medición se seleccionan de un intervalo de frecuencias que presenta una frecuencia mínima  $f_{\text{Inicio}}$  y una frecuencia máxima  $f_{\text{Parada}}$ . Un intervalo de frecuencias preferible es de 500 khz a 50 GHz. Preferentemente, tanto en la determinación de la función de transmisión de la disposición de medición como en la función de transmisión del material que ha de ser medido se trabaja con frecuencias del mismo intervalo de frecuencias.

25 En una forma de realización especialmente preferible del procedimiento según la invención se calcula la magnitud característica B con dependencia del valor de amplitud H teniendo en consideración la frecuencia inferior  $f_{\text{Inicio}}$  y la frecuencia superior  $f_{\text{Parada}}$  del intervalo de frecuencias. Dado que el procedimiento de medición se realiza siempre para un intervalo de frecuencias finito, convenientemente, ha de tenerse en cuenta el intervalo de frecuencias de la función de transmisión en la evaluación en el intervalo de tiempo. Para evitar una influencia de la limitación del intervalo de frecuencias en las magnitudes características B y H, las magnitudes B y H se ponen en interrelación y, de esta manera, preferiblemente la magnitud característica B se determina a partir de la magnitud característica H teniendo en consideración el intervalo de frecuencias finito. Alternativamente, también es posible determinar la magnitud característica H a partir de la magnitud característica B teniendo en consideración el intervalo de frecuencias finito.

35 En una forma de realización preferible del procedimiento según la invención, la magnitud característica B se determina como valor inverso del valor de amplitud H.

40 Para la humedad del material que ha de ser medido se determina un valor de humedad  $\phi$  que depende de al menos dos magnitudes características. Preferentemente, el valor de humedad  $\phi$  se aplica como valor independiente de la densidad, siendo definido con dependencia del cociente de las magnitudes características A y B. Alternativamente, el valor de humedad  $\phi$  puede limitarse también en su intervalo de valores mediante la aplicación de la función arco tangente.

45 Con el procedimiento según la invención, además de la humedad también puede determinarse la densidad superficial o la densidad del material que ha de ser medido, con dependencia del valor de humedad  $\phi$  y las magnitudes características A y B. Preferentemente, la densidad superficial depende del producto del valor de humedad y de la magnitud característica A, pudiendo sumarse convenientemente una constante al valor de humedad  $\phi$  antes de la multiplicación por la magnitud característica A.

50 En otra forma de realización preferible, la parte real y la parte imaginaria del índice de refracción complejo del material que ha de ser medido pueden determinarse a partir de las magnitudes características A y B. Preferentemente, la parte real reducida en 1 del material que ha de ser medido se obtiene dividiendo la magnitud característica A entre la extensión del material que ha de ser medido en el sentido de propagación de la microonda, y la parte imaginaria del material que ha de ser medido se obtiene dividiendo la magnitud característica B entre la extensión del material que ha de ser medido en el sentido de propagación de la microonda.

60 En otra forma de realización preferible, una densidad superficial d del material que ha de ser medido puede determinarse con dependencia del valor de humedad  $\phi$  y de las magnitudes características A o B. Un valor de densidad medio d se obtiene preferentemente dividiendo la densidad superficial d entre la extensión del material que ha de ser medido en el sentido de propagación de las microondas.

En una forma de realización preferible del procedimiento según la invención, la determinación de la humedad, de la densidad superficial y/o de la densidad se realiza con dependencia de al menos una temperatura medida. Las

temperaturas medidas pueden ser una temperatura del material que ha de ser medido, una temperatura de la disposición de medición y/o una temperatura ambiente. El registro de la temperatura permite evaluar las magnitudes características medidas, con dependencia de la temperatura, pudiendo realizarse también una evaluación con varios valores de temperatura medidos. Entonces, el resultado de la evaluación es independiente de la temperatura.

5 En una forma de realización preferible del procedimiento de medición según la invención el emisor de microondas irradia radiación de microondas polarizada. En una posible forma de realización se irradia radiación de microondas polarizada de forma circular.

10 En una forma de realización alternativa, la radiación de microondas polarizada de forma lineal es irradiada por el emisor de microondas, y para cada material que ha de ser medido, el procedimiento de medición se repite varias veces, con un sentido de polarización distinto respectivamente. En cada repetición, el sentido de polarización se cambia con respecto a los sentidos de polarización que ya se han empleado. Una evaluación de los procedimientos de medición con diferentes ángulos de polarización se realiza de tal forma que la evaluación se realiza para el  
15 ángulo de polarización con el que la magnitud característica B adopta un valor mínimo.

En una forma de realización preferible, el material que ha de ser medido se mueve entre el emisor de microondas y el receptor de microondas, y especialmente el movimiento se realiza durante el procedimiento de medición transversalmente con respecto al sentido de propagación de la radiación de microondas.

20 El objetivo según la invención asimismo se consigue mediante un dispositivo para la medición de humedad y/o de densidad en un material que ha de ser medido según la reivindicación 11. El dispositivo según la invención tiene un emisor de microondas, un receptor de microondas y una unidad de evaluación. La unidad de evaluación puede determinar la fase y la amplitud para una radiación de microondas irradiada por un emisor de microondas y recibida  
25 por el receptor de microondas, realizándose la determinación preferentemente con respecto a la microonda irradiada. Además, la unidad de evaluación puede almacenar una función de transmisión compleja de la disposición de medición. El dispositivo según la invención presenta una unidad de evaluación que evalúa la radiación de microondas transmitida a través del material que ha de ser medido y que calcula una función de transmisión compleja del material que ha de ser medido teniendo en cuenta la función de transmisión compleja de la disposición  
30 de medición. Además, la unidad de evaluación presenta medios para transformar la función de transmisión compleja en el intervalo de tiempo. La función de transmisión transformada es la función de intervalo de tiempo. El pulso principal de la función de intervalo de tiempo también es evaluado por la unidad de evaluación. Además, la unidad de evaluación presenta medios para determinar el momento A para el que el pulso principal de la función de intervalo de tiempo adopta un valor máximo y para determinar el ancho B y/o el valor de amplitud H del pulso  
35 principal de la función de intervalo de tiempo como magnitudes características para la determinación de la humedad y/o la densidad. Además, está prevista una unidad de evaluación de magnitudes características que a partir de las magnitudes características A y al menos una de las magnitudes características B y H puede determinar un valor de humedad y/o de densidad para el material que ha de ser medido.

40 El dispositivo según la invención presenta una unidad de evaluación que, en primer lugar, procesa en el intervalo de frecuencias las señales evaluadas, a fin de determinar una función de transmisión compleja para el material que ha de ser medido. Además, la unidad de evaluación presenta medios para transformar la función de transmisión compleja en una función de intervalo de tiempo compleja y determinar, para la aparición del pulso principal de la función de intervalo de tiempo compleja, las magnitudes características A y las magnitudes características B y/o H.  
45 La unidad de evaluación de magnitudes características prevista según la invención, que también puede formar parte de la unidad de evaluación, determina entonces a partir de las magnitudes características un valor de humedad y/o de densidad para el material que ha de ser medido.

50 En una forma de realización preferible, entre el receptor de microondas y el emisor de microondas está previsto un dispositivo transportador para el material que ha de ser medido. El dispositivo transportador permite transportar de forma continua un material que ha de ser medido por el trayecto de transmisión entre el receptor de microondas y el emisor de microondas y determinar de esta manera de forma continua y constante los valores de humedad y/o de densidad para el material que ha de ser medido.

55 En una forma de realización preferible, el dispositivo está dotado de al menos un dispositivo de medición de temperatura para registrar la temperatura del material que ha de ser medido, de la disposición de medición y/o una temperatura del ambiente. El registro de temperatura puede realizarse con el dispositivo de medición de temperatura para los tres valores de temperatura o para menos valores de temperatura.

60 A continuación, con la ayuda de las figuras se describe un ejemplo de realización preferible de la invención:

Muestran:

La figura 1 una estructura del trayecto de transmisión con y sin material que ha de ser medido entre el emisor y el receptor,

la figura 2 el importe absoluto de la función de intervalo de tiempo compleja,

la figura 3 la estructura para una medición de transmisión usando una placa reflectante,

la figura 4 la estructura de la disposición de medición con el emisor de microondas y el receptor de microondas opuestos,

la figura 5 una representación tridimensional de la estructura según la figura 4,

la figura 6 la dependencia de la humedad de un valor de humedad medido en un fardo de tabaco y

la figura 7 la dependencia de las magnitudes características A y B del grosor en placas de viruta prensada.

La figura 1 muestra a la izquierda un emisor de microondas 10 y un receptor de microondas 12 orientado con respecto a éste y capaz de recibir las microondas irradiadas por el emisor de microondas. En el trayecto de transmisión entre el emisor de microondas 10 y el receptor de microondas 12 está dispuesto un material que ha de ser medido 14 que está representado esquemáticamente. La distancia entre el emisor de microondas y el receptor de microondas se compone de los trayectos  $L_1$ ,  $\square x$  y  $L_2$ . La parte derecha de la figura 1 muestra la estructura en la que no está dispuesto ningún material que ha de ser medido entre el emisor de microondas 10 y el receptor de microondas 12. El trayecto de transmisión presenta la longitud  $L_1 + \square x + L_2$ .

Para una mejor comprensión de las propiedades de transmisión del trayecto de medición de la radiación de microondas entre el emisor de microondas 10 y el receptor de microondas 12, el trayecto de transmisión puede dividirse entre cuatro superficies límite con las siguientes reflexividades, tal como están representadas en la parte izquierda de la figura 1:  $\Gamma$ ,  $R_1$ ,  $-R_2$  y  $-\Gamma$ . En total, de las superficies límite resultan cinco áreas a las que puede asignarse respectivamente una de las funciones de transmisión  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , y  $T_4$ . Las distintas funciones de transmisión están asignadas, a la izquierda de la figura 1, a las distintas áreas del trayecto de transmisión. Contemplando las distintas áreas, para la función de transmisión T del trayecto de medición total resulta aproximadamente la siguiente expresión:

$$T = T_0 \cdot (1 - \Gamma) \cdot e^{-i \cdot k_0 \cdot L_1} \cdot (1 - R_1) \cdot e^{-i \cdot k_0 \cdot (n - i \cdot k) \cdot \Delta x} \cdot (1 + R_2) \cdot e^{-i \cdot k_0 \cdot L_2} \cdot (1 + \Gamma) \cdot T_4$$

Aquí,  $\Gamma$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  se refieren a la reflexividad en las transiciones entre los límites de área, tal como están representados en la parte izquierda de la figura 1, correspondiendo

$$k_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c_0}$$

al número de ondas, con la frecuencia f y con la velocidad de la luz en el vacío  $c_0$ , con la parte real n y con la parte imaginaria k del índice de refracción complejo n-ik.  $T_0$  y  $T_4$  son funciones de transmisión, no especificadas en detalle, de las áreas delante o detrás del emisor de microondas / receptor de microondas 10 y 12.

Contemplando con la misma fórmula la disposición de medición vacía sin material que ha de ser medido en el trayecto de transmisión, resulta aproximadamente la siguiente función de transmisión de la disposición de medición  $T_{vacío}$ :

$$T_{vacío} = T_0 \cdot (1 - \Gamma) \cdot e^{-i \cdot k_0 \cdot (L_1 + \Delta x + L_2)} \cdot (1 + \Gamma) \cdot T_4$$

En caso de una división de la función de transmisión T por la función de transmisión de la disposición de medición  $T_{vacío}$ , resulta la siguiente expresión que representa una aproximación de la función de transmisión del material que ha de ser medido:

$$\frac{T}{T_{vacío}} = (1 - R_1) \cdot (1 + R_2) \cdot e^{-i \cdot k_0 \cdot ((n-1) - i \cdot k) \cdot \Delta x}$$

En la expresión se puede ver claramente que ya sólo depende de parámetros del material que ha de ser medido, a saber  $R_1$ ,  $R_2$ , n, k y  $\square x$ , correspondiendo  $\square x$  a la longitud del trayecto transmitido en el material que ha de ser

medido, es decir al grosor de éste. Todas las características que resultan por la disposición de medición se han omitido en la representación de frecuencias con este modo de contemplación. Esto quiere decir que de la función de transmisión del material que ha de ser medido se suprime la dependencia de las magnitudes  $L_1$  y  $L_2$ . Además, se suprimen las reflexividades  $\Gamma$  del emisor de microondas y del receptor de microondas. Las funciones de transmisión  $T_0$  y  $T_4$  no determinadas en detalle igualmente se suprimen de la expresión, de modo que resulta una representación de la función de transmisión que depende únicamente del material que ha de ser medido.

Se trata de un modo de contemplación de las relaciones de transmisión de primer orden que también se puede continuar en segundo orden. En segundo orden se tiene en consideración la radiación que transcurre de un lado a otro entre el material que ha de ser medido y las superficies de apertura de la antena y que interfiere con la radiación restante. En una aproximación en segundo orden resulta la siguiente función de transmisión para el material que ha de ser medido:

$$\frac{T'}{T_{\text{vacío}}} = \frac{T}{T_{\text{vacío}}} \cdot (1 - \Gamma \cdot R_1 \cdot e^{-2i \cdot k_0 \cdot L_1} - \Gamma \cdot R_2 \cdot e^{-2i \cdot k_0 \cdot L_2} - \Gamma^2 e^{-2i \cdot k_0 (L_1 + \Delta x + L_2)})$$

en la que la expresión  $T/T_{\text{vacío}}$  corresponde a la expresión que figura arriba. En la expresión se puede ver claramente que existe una dependencia de los términos  $L_1$ ,  $L_2$  y  $\Gamma$ . En la contemplación en segundo orden se ve ya claramente que el resultado tiene una fuerte dependencia del número de ondas, es decir la frecuencia y el cambio de distancia dentro de la disposición de medición. Cada uno de los términos adicionales se multiplica por el término  $T/T_{\text{vacío}}$  que ha de ser medido y depende de magnitudes desconocidas. Por lo tanto, estos términos no pueden calcularse sin suposiciones o procedimientos adicionales, en especial el último término que depende sólo de magnitudes no pertenecientes al material que ha de ser medido. En el estado de la técnica, hasta ahora se intentaba suprimir el término perturbador antes citado, promediando las frecuencias y/o las distancias, o minimizar mediante diferentes medidas las reflexividades  $\Gamma$ ,  $R_1$  y  $R_2$ . Procedimientos de este tipo se describen, por ejemplo, en los documentos US3,079,551, US3,501,692, US3,681,684, US4,788,853. La fórmula según la invención se aleja de esta contemplación del término perturbador y no intenta promediarlo en el intervalo de frecuencias o suprimirlo de otra manera.

En la fórmula según la invención, la función de transmisión medida para el material que ha de ser medido se transforma al intervalo de tiempo y se sigue evaluando como función del tiempo.

En la fórmula según la invención, la función de transmisión medida para el material que ha de ser medido se transforma al intervalo de tiempo mediante una transformación de Fourier inversa. La denominación transformación de Fourier se refiere a la clase de transformaciones lineales que transforman la representación de intervalo de tiempo de una función en la representación de su intervalo de frecuencias. Por ejemplo, se puede emplear una transformación rápida de Fourier y/o una transformación de seno y coseno que transforma respectivamente la representación más discreta del intervalo de frecuencias en la representación discreta del intervalo de tiempo.

Para ilustrar el resultado, a continuación, la función  $T$  dividida entre  $T_{\text{vacío}}$ , se contempla como función compleja  $\square$  en el intervalo de tiempo. La función de intervalo de tiempo  $\square$  resulta en primer orden con:

$$\tau_{\text{Intervalo de tiempo}} = \text{inv.F.}(T/T_{\text{vacío}}) = (1 - R_1)(1 + R_2) \frac{c_0 / 2\pi}{k \cdot \Delta x - i \cdot (t \cdot c_0 - (n-1) \cdot \Delta x)}$$

Contemplando el importe de la función  $\square$ , resulta la siguiente representación:

$$\left| \tau_{\text{Intervalo de tiempo}} \right| = (1 - R_1)(1 + R_2) \frac{c_0 / 2\pi}{\sqrt{(k \cdot \Delta x)^2 + (t \cdot c_0 - (n-1) \cdot \Delta x)^2}}$$

En la fórmula se puede ver claramente que la función de intervalo de tiempo  $\square$  tiene un máximo que para el momento  $t = A$  se alcanza con

$$A = \frac{(n-1) \cdot \Delta x}{c_0}$$

Se puede ver también claramente que el momento  $A$  del máximo de la función de intervalo de tiempo depende solamente de las magnitudes de material  $n$  y  $\square x$ .

El valor máximo de la amplitud  $H$  en la función de intervalo de tiempo resulta con:



$$H = \frac{c_0}{2\pi \cdot k \cdot \Delta x}$$

5 Se puede ver claramente que la magnitud depende a su vez solamente de la parte imaginaria del índice de refracción  $k$  y del grosor del material que ha de ser medido  $\Delta x$ .

10 El producto de la parte imaginaria  $k$  del índice de refracción complejo y del grosor  $\Delta x$  del material que ha de ser medido también puede determinarse a partir del ancho de semiamplitud del pulso principal de la función de intervalo de tiempo. Partiendo de la función de intervalo de tiempo resulta un ancho de semiamplitud de un pulso principal con

$$B = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot k \cdot \Delta x$$

15 Por lo tanto, la magnitud  $B$  o bien puede determinarse a partir del ancho de semiamplitud del pulso principal, o bien calcularse a partir de la magnitud característica  $H$ .

$$B = \frac{c_0 \sqrt{3}}{H \pi}$$

20 La figura 2 muestra el importe de la función de intervalo de tiempo tal como se produce durante una medición. Se puede ver claramente que tras la transformación al intervalo de tiempo se perfila un pico 16 nítido y claro. En este pico se pueden determinar las magnitudes  $A$  y  $H$  y/o  $B$ .

25 Contemplando ahora en segundo orden las perturbaciones mencionadas anteriormente, que se producen por reflexiones en el trayecto de medición y que dependen en fuerte medida de las magnitudes  $L_1$ ,  $L_2$  y  $\Delta x$ , éstas se suprimen de la función de intervalo de tiempo compleja, porque posteriormente aparecen como pulso principal 16. Además, debido a que están basadas en una perturbación de segundo orden y por tanto dependen del producto de dos reflexividades, las perturbaciones aparecen con menores valores de amplitud que la señal principal que se refleja en el pulso principal.

30 En la figura 2, por ejemplo, las señales de perturbación que dependen de  $L_1$  puede identificarse por 18, las que dependen de  $L_2$  pueden identificarse por 20 y las señales de perturbación basadas en  $L_1 + L_2 + \Delta x$  pueden identificarse por 22.

35 Contemplando la función de transmisión del material que ha de ser medido en el intervalo de frecuencias, una separación fiable entre la señal de medición y las señales de perturbación es extremadamente difícil y requiere un complicado tratamiento numérico de los términos de perturbación. Por la transformación al intervalo de tiempo, las señales útiles 16 y las señales de perturbación 18, 20 y 22 superpuestas a éstas se separan unas de otras por el tiempo de propagación distinto.

40 Según la invención, se produce entonces una evaluación de la señal útil principal en su pulso principal 16, proporcionando el momento  $A$  de la aparición del valor máximo del pulso principal una primera magnitud característica para la determinación de la humedad y/o de la densidad, ya que es proporcional a la parte reducida en 1 del índice de refracción  $n$  y al grosor  $\Delta x$  del material que ha de ser medido. La altura  $H$  del pulso principal es proporcional a la inversa a la parte imaginaria  $k$  del índice de refracción y al grosor  $\Delta x$  del material que ha de ser medido.

45 A causa de la banda de frecuencias limitada durante la medición, el pulso principal experimenta cierta desviación en su altura  $H$  y su ancho  $B$  con respecto a un pulso que resultaría en caso de una banda de frecuencias infinita. El momento  $A$  en el que aparece el pulso principal no cambia por el intervalo de frecuencias finito. Contemplando una transformación del intervalo de frecuencias al intervalo de tiempo en un intervalo de frecuencias finito de  $f_{Inicio}$  a  $f_{Parada}$ , usando  $f_{Centro} = \frac{1}{2} (f_{Inicio} + f_{Parada})$  resulta aproximadamente la siguiente expresión:

$$B = \frac{1 - \frac{H}{H_0}}{2 \cdot \pi \cdot f_{centro}} \text{ con } f_{centro} = \frac{f_{Inicio} + f_{Parada}}{2}$$

55  $H_0$  es una constante específica del producto que se determina para la evaluación de forma única para el producto que ha de ser medido.

La figura 3 muestra la estructura esquemática durante una medición de transmisión usando un reflector. El emisor de microondas 24 está orientado hacia el material que ha de ser medido 26 dispuesto sobre un reflector 28. La radiación de microondas 30 irradiada por el emisor de microondas 24 atraviesa el material que ha de ser medido 26 e incide en el reflector 28 y después de volver a atravesar el material que ha de ser medido 26 es recibida por el emisor de microondas 34 como radiación 32 reflejada. Para evitar la diafonía entre el emisor de microondas 24 y el receptor de microondas 34, éstos están apantallados uno respecto a otro por una pared de separación 36. El emisor de microondas 24 y el receptor de microondas 34 conducen sus señales al analizador de red 42 a través de un cable 38 o de un cable 40. El analizador de red 42 determina entonces la atenuación, por el material que ha de ser medido 26, de la radiación de microondas 30 emitida. Igualmente, el analizador de red determina el desfase de la señal de microondas 30 a causa del doble paso por el material que ha de ser medido 26 y, dado el caso, a causa de la reflexión en el reflector 28.

La figura 4 muestra una estructura alternativa, en la que el material que ha de ser medido 44 se encuentra entre el emisor de microondas 46 y el receptor de microondas 48. La radiación de microondas 50 emitida por el emisor de microondas 46 es transmitida por el material que ha de ser medido 44 cambiando su fase y amplitud e incide en el receptor de microondas 48. Para el análisis de la atenuación y del desfase, el emisor de microondas y el receptor de microondas están conectados a un analizador de red 58 a través de dos cables 54 y 56.

La figura 5 muestra un detalle de una configuración preferible de la estructura de medición. A lo largo de un trayecto de transmisión 60, el material que ha de ser medido 62 se mueve en dirección 64 entre el emisor de microondas 60 y el receptor de microondas 68. La unidad de evaluación no está representada en la figura 5.

Partiendo de las magnitudes características A y B se determina un valor de humedad independiente de la densidad y/o un valor de densidad independiente de la humedad. A continuación, se representan en primer lugar la determinación del valor de humedad independiente de la densidad: La evaluación de las magnitudes características para determinar la humedad en el producto se realiza en un procedimiento conocido de por sí, tal como se emplea por ejemplo también en la técnica de resonadores.

Para la calibración se miden con el procedimiento según la invención muestras de distinta humedad y se determinan las magnitudes características A y B siendo conocida la humedad del producto. Cuando en lo sucesivo se habla de la magnitud característica B, se puede usar siempre también la magnitud característica H, si esta se convirtió correspondientemente en la magnitud característica B. Para las magnitudes características medidas, el valor de humedad

$$\phi = \frac{B}{A}$$

se compara respectivamente con la humedad del producto que se determinó con la ayuda de un procedimiento de referencia. En la figura 7 se puede ver claramente que respectivamente el valor A y el valor B son proporcionales al grosor del material que ha de ser medido. Por lo tanto, el valor de humedad  $\phi$ , tal como se ha definido anteriormente, es independiente del grosor del material que ha de ser medido. Otras mediciones arrojaron que lo análogo es válido también para la densidad del material que ha de ser medido. Por lo tanto, el valor de humedad  $\phi$  es también independiente de la densidad y del grosor del material que ha de ser medido.

Mediante una adaptación de curva se determina una relación de calibración y se deposita, por ejemplo, en la unidad de evaluación. Dicha relación de calibración puede tener generalmente la fórmula:

$$\text{humedad} = f(\phi)$$

en la que  $f$  es una función dependiente del producto y constante al menos por unidad. En el caso más sencillo, entre la humedad y el valor de humedad  $\phi$  existe una relación lineal:

$$\text{humedad} = \alpha \cdot \phi + \beta,$$

en la que los parámetros de calibración  $\alpha$  y  $\beta$  reales pueden determinarse por ejemplo mediante la regresión lineal de los valores de humedad y los valores de humedad de referencia.

La figura 6 muestra tal regresión lineal de los valores de humedad  $\phi$  medidos, denominados valores de humedad MW, con respecto a la humedad de referencia. Se puede ver claramente que a lo largo de un amplio intervalo de los valores de humedad MW existe una relación lineal con la humedad de referencia.

En otra fase de calibración también se puede determinar la densidad superficial  $g$ . La densidad superficial  $g$  está

definida como la masa del material que ha de ser medido con respecto a una unidad de superficie de un plano, situada perpendicularmente con respecto al sentido de propagación de la microonda. La densidad superficial se compara respectivamente con el valor de humedad  $\phi$  medido, con los valores A correspondientes y con los valores B correspondientes. Mediante una adaptación de curva se determina una relación de calibración para la densidad superficial. Dicha relación de calibración para la densidad superficial tiene generalmente la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad superficial} = g(A, B, \phi)$$

en la que g es una función dependiente del producto, pero independiente de la humedad. Las mediciones de comparación arrojaron que entre la densidad superficial, el valor de humedad  $\phi$  y el valor A, en el caso más sencillo, existe la siguiente relación lineal.

$$\text{Densidad superficial} = \gamma \cdot \phi \cdot A + \delta \cdot A + \varepsilon,$$

en la que los parámetros de calibración  $\gamma, \delta, \varepsilon$  pueden obtenerse por ejemplo mediante la regresión lineal de los valores de humedad  $\phi$  y los A en las densidades superficiales de referencia.

En la figura 7, los valores A y B para una humedad están aplicados encima del grosor. Se puede ver claramente que aquí existe respectivamente una relación lineal con respecto al grosor del material que ha de ser medido, de modo que a partir de ello se puede calcular la densidad superficial.

Si se conoce la extensión del material que ha de ser medido en el sentido de propagación, por ejemplo porque se define de manera constante, o porque se mide adicionalmente mediante un procedimiento independiente, a partir de la densidad superficial medida se puede determinar la densidad media del material que ha de ser medido en su totalidad. Entonces, especialmente, a partir de los valores A y B puede determinarse también tanto la parte real n como la parte imaginaria k del índice de refracción complejo. Si se conoce la densidad del material que ha de ser medido, igualmente es posible determinar a partir de la densidad superficial medida el grosor del material que ha de ser medido.

Las magnitudes características A, B y H medidas, generalmente, dependen de la temperatura. Diversos estudios comparativos arrojaron que la dependencia de diferentes temperaturas  $Te_1, Te_2, Te_3, \dots$  puede aproximarse linealmente. Por ejemplo, la humedad puede representarse, con dependencia de la temperatura, como:

$$\text{Humedad} = \left( \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \cdot Te_i \right) \cdot \phi + \beta_0 + \sum_i \beta_i \cdot Te_i$$

en la que  $\alpha_i, \beta_i$  son coeficientes reales, independientes de la temperatura, y  $\{Te_i\}$  corresponde a diferentes temperaturas.

La independencia de la densidad superficial de la temperatura puede determinarse en analogía a la fórmula para la determinación de la humedad, de la siguiente manera:

$$\text{Densidad superficial} = \left( \lambda_0 + \sum_i \lambda_i \cdot Te_i \right) \cdot \phi \cdot A + \left( \delta_0 + \sum_i \delta_i \cdot Te_i \right) \cdot A + \varepsilon_0 + \sum_i \varepsilon_i \cdot Te_i,$$

en la que los coeficientes  $\{\lambda_i, \delta_i, \varepsilon_i\}$  son coeficientes independientes de la temperatura. Las diferentes temperaturas que pueden registrarse son, por ejemplo, la temperatura del material que ha de ser medido, la temperatura ambiente o la temperatura del aparato de medición.

Experimentos en materiales que han de ser medidos, dispuestos en capas, arrojaron que, usando radiación electromagnética polarizada de forma circular, los valores de medición A y B son independientes de la orientación espacial de las capas de material, si la radiación de microondas incide oblicuamente en las capas. Los materiales que han de ser medidos, dispuestos en capas, pueden medirse independientemente de su orientación, si se usa radiación electromagnética polarizada de forma circular.

En caso de usar radiación electromagnética, polarizada linealmente, pueden determinarse en materiales que han de ser medidos, dispuestos en capas, valores de humedad independientes de la densidad o valores independientes de la humedad para la densidad superficial, si durante un segundo procedimiento de medición, el sentido de polarización de la radiación de microondas se gira  $90^\circ$  con respecto al sentido en el primer procedimiento de

medición o si el sentido de propagación de la microonda incide es perpendicular a las capas de material.

Alternativamente, el procedimiento de medición también puede repetirse varias veces con diferentes sentidos de polarización, modificándose el sentido de polarización de la radiación electromagnética respectivamente en un ángulo con respecto al procedimiento de medición anterior. Mediante interpolación, de las magnitudes características determinadas de esta manera, dependientes del sentido de polarización, puede determinarse aquel ángulo de polarización en el que el valor B tiene su valor mínimo o, alternativamente, su valor máximo. Para dicho ángulo de polarización se puede repetir la medición y evaluar las correspondientes magnitudes características obtenidas, como se ha descrito anteriormente.

Para un extenso material que ha de ser medido, como por ejemplo un cartón o un fardo, se puede medir un valor de humedad o un valor medio para la densidad superficial o la densidad del material que ha de ser medido a lo largo del perfil del material que ha de ser medido. Para ello, el material que ha de ser medido se hace pasar por el trayecto de medición, o bien, la disposición de medición con el emisor de microondas y el receptor de microondas se mueve a lo largo del material que ha de ser medido.

El procedimiento de medición según la invención se caracteriza por una serie de características frente al procedimiento de transmisión conocido. Se trata en primer lugar de un procedimiento de medición con dos parámetros, en el que se determinan dos magnitudes características A y B para su siguiente evaluación. Se puede prescindir de pesar el producto o de medir el grosor del material que ha de ser medido. El procedimiento según la invención resulta especialmente apropiado para medir la humedad sin contacto, independientemente de la densidad y del grosor. Un aspecto importante es realizar la medición en el intervalo de frecuencias y cambiar al intervalo de tiempo sólo después de una primera evaluación en el intervalo de frecuencias, es decir después de dividir la función de transmisión compleja registrada entre la función de transmisión de la disposición de medición, para determinar la función de transmisión compleja para el material que ha de ser medido. La medición en el intervalo de frecuencias tiene la ventaja de que por la división por la función de transmisión compleja de la disposición de medición, el efecto del trayecto de antena vacío se elimina de los datos de medición. Por lo tanto, la función de transmisión del material que ha de ser medido, determinada de esta manera, es independiente de la función de transmisión del trayecto de antena, es decir independiente de las antenas empleadas, de las longitudes de cable, de las distancias de las antenas con respecto al material que ha de ser medido, y similares. Mediante la transformación de la función de transmisión medida del material que ha de ser medido, al intervalo de tiempo, las partes de onda que son reflejadas en las capas de salto del índice de refracción, es decir, por ejemplo en el material que ha de ser medido o en las superficies de apertura de la antena y que por tanto tienen un mayor trayecto de propagación que la señal útil, pueden separarse de la señal útil. En la representación del intervalo de tiempo, estas señales son posteriores al valor máximo y tienen amplitudes muy pequeñas en el intervalo del pulso principal. Así, la posición del material que ha de ser medido dentro del trayecto de antena y su orientación exacta influye sólo en pequeña medida en los resultados de medición.

Por lo tanto, la evaluación del pulso principal de la función de intervalo de tiempo garantiza que las reflexiones y superposiciones se eliminaron de las señales. Por la combinación según la invención en el modo de contemplación en el intervalo de frecuencias y en el intervalo de tiempo pueden encontrarse magnitudes características muy exactas para una determinación de humedad independiente de la densidad y una determinación de densidad independiente de la humedad. La determinación de la magnitud de medición B a partir de la magnitud de medición H con dependencia de la frecuencia de inicio y la frecuencia de parada hace que el valor B se encuentra en muy buena aproximación proporcionalmente con respecto al grosor  $\Delta x$  y a la parte imaginaria  $k$  del índice de refracción complejo del material que ha de ser medido.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la medición de humedad y/o de densidad en un material que ha de ser medido, con un emisor de microondas, un receptor de microondas y una unidad de evaluación que es capaz de determinar la fase y la amplitud para la radiación de microondas del emisor de microondas recibida por el receptor de microondas y en la que puede almacenarse una función de transmisión compleja de la disposición de medición, presentando el procedimiento los siguientes pasos:
- en un procedimiento de medición, para un número de frecuencias se determina la fase y la amplitud de la radiación de microondas transmitida por el material que ha de ser medido, y a partir de los valores determinados se determina una función de transmisión compleja de la disposición de medición,
  - una función de transmisión compleja del material que ha de ser medido se calcula mediante la formación de la relación de la función de transmisión compleja de la disposición de medición con material que ha de ser medido y sin material que ha de ser medido, y se transforma al intervalo de tiempo como función de intervalo de tiempo compleja mediante transformación de Fourier inversa,
  - a partir de la función de intervalo de tiempo se determina como magnitud característica A el momento en el que el importe del pulso principal tiene su valor máximo,
  - a partir de la función de intervalo de tiempo se determina el ancho del pulso principal como magnitud característica B y/o el valor de amplitud del pulso principal como magnitud característica H,
  - una humedad independiente de la densidad y/o una densidad del material que ha de ser medido se determinan con dependencia de la magnitud característica A y de las magnitudes características B y/o H.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque en la función de intervalo de tiempo compleja, para determinar las magnitudes características se evalúan una o varias de las siguientes magnitudes: el importe, la parte real y/o la parte imaginaria.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la magnitud característica B se calcula con dependencia del valor de amplitud H teniendo en consideración una frecuencia  $f_{Inicio}$  más baja y una frecuencia  $f_{Parada}$  más alta de un intervalo de frecuencias del que proceden las frecuencias durante el procedimiento de medición, o bien, se determina como valor inverso del valor de amplitud H.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se determinan una densidad superficial g del material que ha de ser medido, con dependencia del valor de humedad  $\phi$  y al menos una de las magnitudes características A, B y H.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque adicionalmente se determina una densidad del material que ha de ser medido, con dependencia del valor de humedad  $\phi$ , del grosor del material que ha de ser medido y de al menos una de las magnitudes características A, B y H.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque se realiza la determinación de al menos uno de los siguientes valores: la humedad, la densidad superficial o la densidad, con dependencia de al menos una temperatura medida.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque se miden una o varias de las siguientes temperaturas: la temperatura del material que ha de ser medido, la temperatura de la disposición de medición y la temperatura del ambiente.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la radiación de microondas irradiada está polarizada de forma circular o lineal.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque, para cada material que ha de ser medido, el procedimiento de medición se repite varias veces con un sentido de polarización distinto, modificándose el sentido de polarización en cada repetición.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado porque en el caso de la radiación de microondas polarizada de forma lineal, la determinación de las magnitudes características A, B se realiza con un ángulo de polarización con el que la magnitud característica B tiene un valor mínimo.
11. Dispositivo para la medición de humedad y/o de densidad en un material que ha de ser medido, con

5 un emisor de microondas, un receptor de microondas y una unidad de evaluación que es capaz de determinar la fase y la amplitud para la radiación de microondas recibida por el receptor de microondas e irradiada por el emisor de microondas y en la que puede almacenarse una función de transmisión compleja de la disposición de medición, caracterizado porque la unidad de evaluación evalúa la radiación de microondas transmitida por el material que ha de ser medido y determina una función de transmisión compleja del material que ha de ser medido formando la relación de la función de transmisión compleja de la disposición de medición con material que ha de ser medido y sin material que ha de ser medido, y porque además, la unidad de evaluación presenta medios para transformar la función de transmisión compleja en el intervalo de tiempo como función de intervalo de tiempo mediante una transformación de Fourier inversa, y para evaluar el pulso principal de la función de intervalo de tiempo, y porque además, la unidad de evaluación presenta medios para determinar un momento A para el pulso principal de la función de intervalo de tiempo como magnitud característica y el ancho B y/o el valor de amplitud H del pulso principal de la función de intervalo de tiempo como magnitud característica adicional, y porque presenta una unidad de evaluación de magnitudes características para la humedad y/o la densidad, que a partir de la magnitud característica A y al menos una de las magnitudes características B y H puede determinar un valor de humedad independiente de la densidad y/o un valor de densidad para el material que ha de ser medido.

12. Dispositivo según la reivindicación 11, caracterizado porque entre el receptor de microondas y el emisor de microondas está previsto un dispositivo transportador para el material que ha de ser medido.

20 13. Dispositivo según la reivindicación 11 ó 12, caracterizado porque está previsto al menos un dispositivo de medición de temperatura para registrar la temperatura del material que ha de ser medido, de la disposición de medición y/o del ambiente.

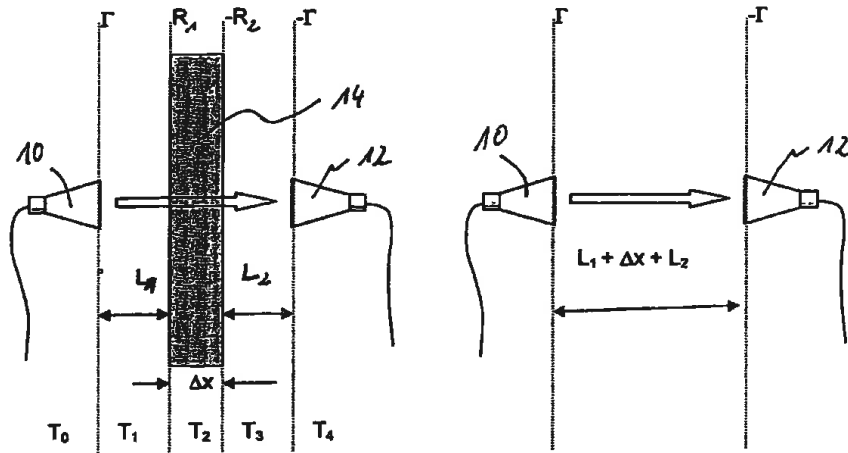


Fig. 1

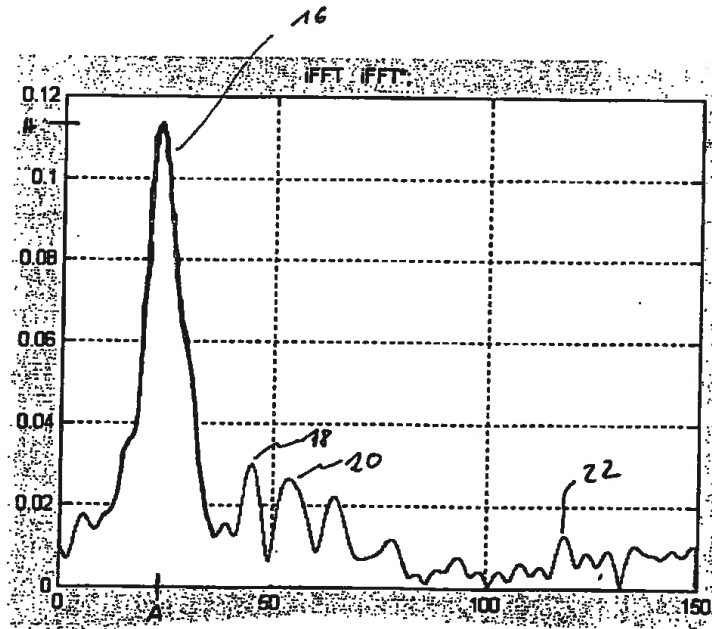


Fig. 2

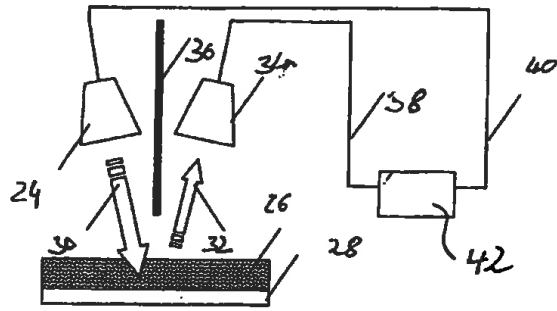


Fig. 3

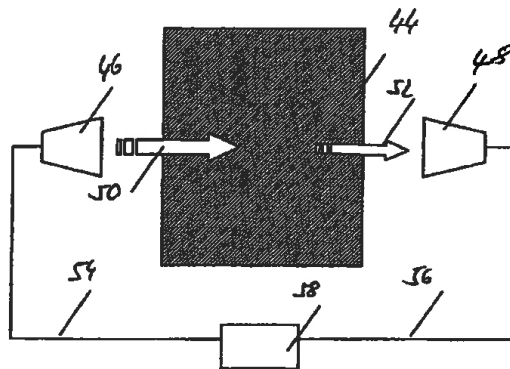


Fig. 4

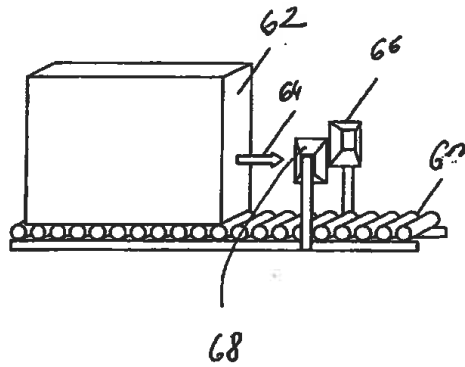


Fig. 5



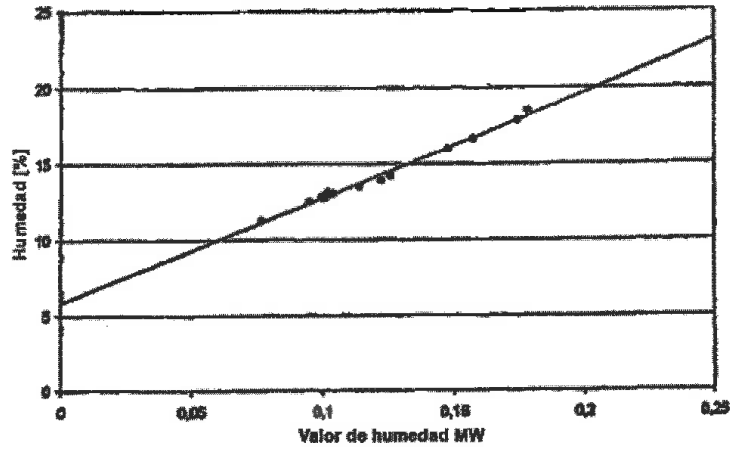


Fig. 6

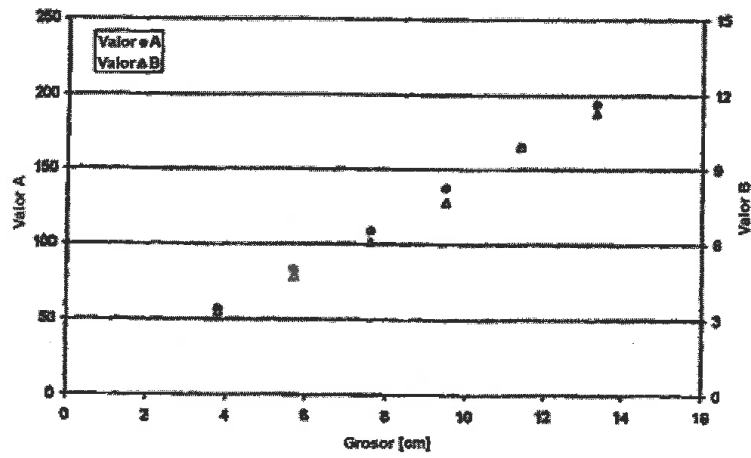


Fig. 7