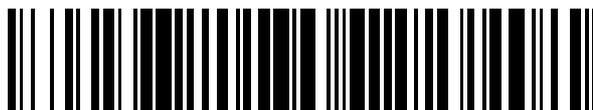


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 560 625**

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: **29.05.2008** **E 14163172 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2015** **EP 2801817**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos mediante determinación de la calidad y frecuencia de resonancia de tres modos no degenerados, ortogonales de un resonador de cavidad**

30 Prioridad:

**28.06.2007 DE 102007029908**

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

**22.02.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HERRMANN, RAINER y  
SCHLEMM, UDO**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 560 625 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

Dispositivo y procedimiento para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos mediante determinación de la calidad y frecuencia de resonancia de tres modos no degenerados, ortogonales de un resonador de cavidad

5

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos.

La invención se basa en cuanto a la medición de la masa y/o de la humedad de objetos dieléctricos en la técnica de las microondas de por sí conocida, en la que el objeto a medir se introduce en un resonador. En base a sus características dieléctricas, modifica el objeto una resonancia electromagnética inducida en el resonador. En base a la modificación de la curva de resonancia así como al desplazamiento de la frecuencia de resonancia, se determinan entonces la masa y la humedad del objeto dieléctrico.

15 Por el documento EP 1 669 755 B1 se conoce un procedimiento para medir la masa y/o la humedad del contenido de cápsulas. Para la medición se prevé un dispositivo de medida, que presenta al menos dos resonadores. El desplazamiento de de la frecuencia de resonancia (A) y el ensanchamiento de la curva de resonancia (B) provocados por la cápsula se determina y evalúa en ambos resonadores. El primer resonador posee un campo de medida homogéneo en toda la dimensión de la cápsula para determinar la masa total y/o la humedad de la cápsula.

20 En el segundo resonador, en el que se conduce la cápsula mediante una guía de la muestra que depende del formato, el contenido de la cápsula no está distribuido homogéneamente en la cápsula, debido a la fuerza de la gravedad, sino que se encuentra en una parte de la cápsula, con la que se recorre un estrecho campo de medida para determinar un perfil de la masa y/o de la humedad que depende del lugar. Cuando varía el formato de la cápsula es necesario reequipar la configuración de medida con una nueva guía de la muestra que depende del  
25 formato.

Por el documento EP 1 467 191 B1 se conoce un procedimiento y un dispositivo para determinar la masa de las unidades de principio activo porcionadas. En el procedimiento se conducen cápsulas, tabletas o grageas a través de un resonador de microondas, que determina un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y un  
30 ensanchamiento de la curva de resonancia. Las magnitudes medidas sirven para determinar la masa compensando la influencia de la humedad, suponiéndose que la masa es directamente proporcional al desplazamiento de la frecuencia de resonancia y directamente proporcional al ensanchamiento de la curva de resonancia. No obstante se ha comprobado que los resultados quedan siempre afectados en algunas aplicaciones en una cierta medida por  
35 inexactitud.

Por el documento EP 0 372 992 A1 se conoce un dispositivo de medida que presenta un resonador con forma de esfera. En el resonador se inducen dos modos de resonancia idénticos, que esencialmente poseen la misma frecuencia de resonancia, pero distinta orientación del campo entre sí. La estructura de medida debe servir para  
40 determinar la masa de filamentos alargados. La evaluación de los resultados se basa en una diferencia de la frecuencia de resonancia entre ambos modos. La diferencia de frecuencias de resonancia depende con bastante sensibilidad tanto de la masa como también de la humedad, por lo que no es posible una medición de la humedad independiente de la masa.

Por el documento US 5,124,662 se conoce un procedimiento para clasificar objetos que se introducen en un resonador. Los objetos a clasificar son atravesados en el centro del resonador por un campo eléctrico lo más fuerte posible. Para poder medir la muestra independientemente de su posición en el centro del resonador, se superpone la radiación de microondas procedente de distintas direcciones, con lo que las mismas difieren en el centro del resonador en un campo de la máxima intensidad de campo. Al moverse la muestra mediante la superposición de tres campos ortogonales con aproximadamente las mismas resonancias, se promedian la forma y la orientación de  
50 la muestra y el resultado es independiente de la posición de la muestra. El promediado se realiza mediante la rotación del vector del campo eléctrico y no significa ningún análisis independiente en distintas orientaciones espaciales. En este proceso de clasificación es un inconveniente que solo puedan medirse valores medios espaciales y con ello queda limitada la resolución de la medida. Además es un inconveniente que el procedimiento solo funcione cuando la muestra a probar se coloca exactamente en el centro del resonador. Para ello es necesaria  
55 una sensorica adicional.

Por el documento DE 102 26 845 A1 se conoce una configuración para determinar la distribución de la permitividad compleja de un objeto a investigar. En el resonador se introducen microondas de una sola frecuencia y se evalúan la amplitud y la fase de las señales transmitidas y reflejadas. No se realiza una evaluación de la resonancia del

resonador. El material a medir reposa durante la medición en el resonador, que solo tiene la función de apantallamiento. La distribución espacial de la permitividad se investiga acoplando y desacoplando microondas en diversas posiciones.

- 5 En B.J. Downing y col. "Online Fruit Weighing Using a 500 MHz Waveguide Cavity" (Pesaje de frutas online usando una cavidad guíaondas de 500 MHz), *Electronics Letters*, vol. 24, nº 4, páginas 212 a 213, se propone un procedimiento para medir frutas de forma irregular, en el que se mide a la vez en planos de polarización perpendiculares entre sí.
- 10 La tesis doctoral "ROCK DIFFERENTIATION USING THE PROPERTIES OF RESONANT WAVEGUIDE CAVITIES AT 500 MHZ (diferenciación de rocas usando las propiedades de cavidades guíaondas resonantes a 500 MHz) de A. De Waal en Profesor B.J. Downing (Universidad de Cape Town, 3 noviembre 1987) da a conocer un dispositivo para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos, con una unidad evaluadora, un generador de alta frecuencia, un detector de alta frecuencia y un resonador de alta frecuencia, en el que
- 15 - el detector de alta frecuencia puede medir las frecuencias que se presentan en el resonador, presentando el resonador una abertura de entrada y una abertura de salida, que permiten un movimiento del objeto dieléctrico a medir mediante el resonador y
- 20 - la unidad evaluadora puede determinar para las frecuencias medidas un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y una modificación de la curva de resonancia y a partir de los valores determinados relativos al desplazamiento de la frecuencia de resonancia y/o de la modificación de la curva de resonancia, puede determinar la masa y/o la humedad del objeto dieléctrico que se mueve a través del resonador, registrándose uno tras otro los valores de medida 1800 veces para un objeto que se mueve a través del resonador y evaluándose en un momento
- 25 en el que se ha detectado para el modo el máximo de la desintonización de la frecuencia de resonancia cuando pasa el objeto a medir a través del resonador.

El trabajo doctoral señala también que para aumentar la dependencia de la orientación en la medición, puede activarse el resonador con modos perpendiculares entre sí.

- 30 La invención tiene como objetivo básico proporcionar un dispositivo y un procedimiento para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos, que permita con medios sencillos una medición rápida y precisa en los objetos dieléctricos.
- 35 Según la invención se logra el objetivo mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 1. El objetivo se logra igualmente mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 7. Ventajosas configuraciones del procedimiento así como del dispositivo son objeto de las reivindicaciones secundarias.
- El dispositivo correspondiente a la invención sirve para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos. El
- 40 dispositivo utiliza la técnica de la resonancia de microondas y posee una unidad evaluadora, al menos un generador de alta frecuencia, al menos un detector de alta frecuencia y un resonador de alta frecuencia. Los campos electromagnéticos que generan la resonancia se generan mediante el generador de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, y se introducen en el resonador de alta frecuencia. Mediante el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, pueden medirse las propiedades eléctricas y/o magnéticas de resonancias en el resonador
- 45 de alta frecuencia. Según la invención genera el generador de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, tres modos independientes entre sí con distintas frecuencias de resonancia en el resonador de alta frecuencia. Modos independientes significa en este contexto que cuando se activa el primer modo no se genera ninguna activación, o solo una muy pequeña, para los otros modos y los campos eléctricos de los modos abarcan entre sí un ángulo distinto de 0° y 180°. Las direcciones de los campos eléctricos no son coincidentes, sino que están orientadas en
- 50 diversas direcciones espaciales independientes entre sí, encontrándose entonces tres campos perpendiculares entre sí. Además puede medir el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, para cada modo en el resonador las frecuencias que se presentan. El detector de alta frecuencia está en condiciones de medir en cada modo separadamente las frecuencias que se presentan, permitiendo la medición de las frecuencias determinar una curva de resonancia y la frecuencia de resonancia. La unidad evaluadora determina para las frecuencias medidas de
- 55 cada modo un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y una modificación de la curva de resonancia. A partir de los valores determinados para el desplazamiento de la frecuencia de resonancia y para la modificación de la curva de resonancia, se determinan los valores de la masa y/o humedad del objeto dieléctrico independientemente entre sí en el resonador, siendo entonces los valores determinados independientes de la posición, de la clase de movimiento y de la forma especial del objeto. Una particularidad del dispositivo correspondiente a la invención reside

en que se generan varios modos independientes entre sí en un resonador y se evalúan independientemente entre sí. La invención se basa en el conocimiento de que las oscilaciones sistemáticas de los valores de medida que resultan en la estructura conocida son debidas a la distinta posición del objeto a medir. Si se considera por ejemplo un objeto dieléctrico que respecto a dos ejes posee una extensión diferente y con ello diferentes distribuciones de la masa y de la humedad, entonces depende el resultado de la medición de la posición del objeto a medir respecto al campo eléctrico. Mediante la utilización de dos o más modos independientes puede realizarse el proceso de medición en direcciones independientes entre sí del objeto a medir y por lo tanto compensan distintas orientaciones espaciales de la muestra durante los movimientos y distintas formas de la muestra a lo largo de las direcciones medidas.

- 5
- 10 Según la invención determina el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, durante un ciclo de medida varias veces las frecuencias que se presentan en el resonador. Esto significa que durante un ciclo de medida no se mide solo una vez la variación del campo electromagnético, sino que durante un ciclo de medida se realiza una pluralidad de procesos de medida.
- 15 Según la invención presenta cada modo una frecuencia de resonancia que es distinta de las frecuencias de resonancia de los demás modos. Las frecuencias de resonancia de los modos poseen en cada caso por pares una distancia mínima entre frecuencias, que es de al menos 100 MHz. Mediante la distancia entre las frecuencias de resonancia de los distintos modos puede asegurarse que las señales para cada frecuencia de resonancia pueden evaluarse sin distorsión debida a las señales de las demás frecuencias de resonancia. De esta manera es posible un análisis independiente del objeto dieléctrico en cada dirección espacial, que viene prescrito por uno de los modos y puede evitarse una formación del valor medio.
- 20

Para poder aportar los objetos eléctricos para la medición en la zona de medida del resonador, está dotado el resonador según la invención de una abertura de entrada y una abertura de salida. Las aberturas están situadas en el resonador tal que permiten un movimiento del objeto dieléctrico a medir a través del resonador. El movimiento puede ser entonces un movimiento libre, en el que el objeto a medir cae por ejemplo libremente bajo la influencia de la fuerza de la gravedad a través del resonador. También es posible mover el objeto a medir en un flujo de aire libremente a través del resonador.

- 25
- 30 Además la clase de movimiento del objeto de muestra a través del resonador solo juega un papel secundario, por lo que no es imprescindible una conducción de las muestras a probar en función del formato. Con ello se evita no solo un reequipamiento que cuesta mucho tiempo en la secuencia de fabricación en el aparato al cambiar el formato, sino que también es posible aumentar el rendimiento de paso de muestras a probar por unidad de tiempo sin una limitación mecánica. Con ello es posible por ejemplo en tasas de producción de  $10^6$  muestras a probar por hora un control al ciento por ciento de la masa y humedad de cada muestra individual a probar.
- 35

Preferiblemente se prevén al menos dos generadores de alta frecuencia cuyas respectivas frecuencias de resonancia son distintas entre sí. Preferiblemente está previsto para cada modo de resonancia con su frecuencia de resonancia un generador de alta frecuencia propio.

- 40
- En una configuración preferente determina la unidad evaluadora como modificación de la curva de resonancia un ensanchamiento de la curva de resonancia en la zona de la frecuencia de resonancia. Alternativamente es posible que la unidad evaluadora determine como modificación de la curva de resonancia la variación de la amplitud de resonancia. También es posible utilizar para la evaluación una combinación de la variación de la amplitud de resonancia y del ensanchamiento de la curva de resonancia. Para la evaluación se combina la modificación de la curva de resonancia con un desplazamiento de la frecuencia de resonancia debido al objeto dieléctrico que ha penetrado.
- 45

- En cuanto a la evaluación de los resultados de medida para los distintos modos, hay distintos planteamientos. En un planteamiento preferente evalúa la unidad evaluadora simultáneamente la modificación de la curva de resonancia y el desplazamiento de la frecuencia de resonancia para cada modo. Esto significa que los resultados de la medición de los tres modos se evalúan en un instante común. En un planteamiento alternativo evalúa la unidad evaluadora la modificación de la curva de resonancia y el desplazamiento de la frecuencia de resonancia independientemente para cada modo. Ambos planteamientos para la evaluación permiten obtener resultados de medida independientes de la posición para el objeto dieléctrico.
- 50
- 55

En una configuración preferente están previstos para cada modo exactamente un generador de alta frecuencia y exactamente un detector de alta frecuencia. En una configuración alternativa está previsto al menos uno de los generadores de alta frecuencia para generar varios modos. Igualmente es posible prever un detector de alta

frecuencia que puede medir las frecuencias que se presentan para varios modos. En una configuración preferente pueden conmutarse el detector de alta frecuencia y el generador de alta frecuencia entre los modos, con lo que durante un ciclo de medida puede captarse una pluralidad de valores de medida.

- 5 En el dispositivo correspondiente a la invención está diseñado el resonador tal que se generan tres modos en el resonador. Según la invención están orientados en una zona de medida central los campos eléctricos de los modos en distintas direcciones espaciales, estando las direcciones espaciales perpendiculares entre sí. Adicionalmente están desacoplados los tres modos. Con ello en un dispositivo desacoplador que pertenece a un modo y que conduce al correspondiente detector solo se detectan oscilaciones de resonancia que pertenecen a ese modo, no  
10 teniendo otros modos que oscilan independientemente del mismo ninguna componente en esta señal de medida.

En una configuración preferente se encuentran los modos del resonador en una gama de frecuencias de 0,5 GHz y 20 GHz.

- 15 Las dimensiones geométricas del resonador, en particular del espacio interior del resonador, pueden tener diferentes formas. En una configuración preferente está realizado el espacio interior del resonador como un paralelepípedo. Alternativamente puede presentar el resonador también un espacio interior en forma de un elipsoide o bien una forma cilíndrica con una sección en forma de elipse.

- 20 En un perfeccionamiento está prevista entre la abertura de entrada y la abertura de salida del resonador una pieza de formato para conducir el objeto a medir. Por ejemplo puede resbalar o caer el objeto a medir libremente a través del resonador a lo largo de la pieza de formato. Este tubo que conduce el producto, no metálico y con forma circular o rectangular tiene un diámetro de sección tan grande que todas las muestras a probar de las que se trata pueden  
25 atravesarlo, no teniendo por lo tanto ninguna importancia el formato de las muestras a probar. No obstante, en una forma de realización preferente es posible también adaptar el diámetro del tubo para las muestras al formato de las muestras a probar, para limitar las posibilidades de movimiento de las muestras a probar cuando se mueven a través del resonador. En este caso cuando cambia el formato del producto ha de cambiar también el formato del tubo que conduce la muestra. Es especialmente ventajosa la utilización de piezas de formato cuando se realiza la medición con dos modos independientes.

- 30 El objetivo de la invención se logra igualmente mediante un procedimiento para la medición independiente una de otra de masa y/o humedad de objetos dieléctricos. En el procedimiento correspondiente a la invención está prevista una unidad evaluadora, al menos un generador de alta frecuencia y al menos un detector de alta frecuencia, que interactúan con un resonador, para detectar la modificación de un modo en el resonador. Durante el proceso de  
35 medida se generan en el resonador tres modos desacoplados entre sí y se miden con el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, para cada uno de los modos las frecuencias que se presentan en el resonador. Los modos desacoplados son independientes entre sí y constituyen preferentemente en el resonador una zona de medida en la que los campos eléctricos están orientados en direcciones espaciales linealmente independientes. La unidad evaluadora determina para las frecuencias medidas para cada modo un desplazamiento de la frecuencia de  
40 resonancia y evalúa una modificación de la curva de resonancia. A partir del desplazamiento de la frecuencia de resonancia y de la modificación de la curva de resonancia, se determinan independientemente entre sí la masa y/o la humedad del objeto dieléctrico.

- Preferentemente evalúa la unidad evaluadora como modificación de la curva de resonancia un ensanchamiento de  
45 la curva de resonancia.

En un procedimiento alternativo evalúa la unidad evaluadora como modificación de la curva de resonancia una variación de la amplitud de resonancia.

- 50 Según la invención determina el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, las frecuencias que se presentan en el resonador varias veces durante un ciclo de medida.

- En el procedimiento correspondiente a la invención se genera cada modo con una frecuencia de resonancia que es diferente a las frecuencias de resonancia de los demás modos. Las frecuencias de resonancia de los modos  
55 presentan en cada caso por pares una distancia mínima entre frecuencias. La distancia mínima entre frecuencias, que es de al menos 100 MHz, asegura que los modos de resonancia pueden evaluarse individual e independientemente entre sí. De esta manera es posible detectar en los objetos dieléctricos a medir las características dieléctricas para cada dirección de un modo independientemente de las direcciones de los otros modos, con lo que es posible un análisis preciso de los resultados de medida y no tienen que promediarse los

resultados.

En la evaluación evalúa la unidad evaluadora la modificación de la curva de resonancia y el desplazamiento de la frecuencia de resonancia para cada modo simultáneamente.

5

La exigencia de simultaneidad de la evaluación, que debe formularse para muestras a probar que se mueven rápidamente, exige la utilización independiente de tres generadores de microondas y tres detectores de microondas. Cuando el movimiento de la muestra a probar es suficientemente lento, puede realizarse también la medición de los modos de resonancia independientes entre sí también una tras otra en secuencia en el tiempo mediante un conmutador de generadores de microondas y/o detectores a los distintos modos de resonancia.

10

En una configuración ventajosa del procedimiento se evalúa la modificación de la curva de resonancia y el desplazamiento de la frecuencia de resonancia para cada modo en un instante independiente de los momentos en los que se evalúan los valores de los otros modos.

15

También en cuanto a la generación de las resonancias en el resonador son posibles distintos planteamientos. En un primer planteamiento se genera cada modo mediante exactamente un generador de alta frecuencia y se mide mediante exactamente un detector de alta frecuencia. Alternativamente es posible también generar al menos dos modos mediante un generador de alta frecuencia. También es posible alternativa o complementariamente medir las frecuencias que se presentan en al menos dos modos mediante exactamente un detector de alta frecuencia.

20

Preferiblemente está previsto para cada modo un equipo desacoplador, que se encuentra en un nodo de oscilación de los otros modos. Tomando medidas constructivas especiales en el resonador, están convenientemente tan espaciadas entre sí las frecuencias de resonancia de los distintos modos que la separación de los modos puede reforzarse mediante filtros pasabanda especiales en cada línea individual de detector.

25

En una realización alternativa del procedimiento correspondiente a la invención se conmuta el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno y/o el generador de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, entre los modos.

30

Según la invención se generan en el resonador tres modos. Los modos están orientados en el resonador tal que en una zona de medida los campos eléctricos de los modos presentan distintas orientaciones. Los campos eléctricos son según la invención perpendiculares entre sí.

35

Para lograr el máximo flujo de paso de objetos a medir, se mueven los mismos a través del resonador durante el proceso de medida. Al respecto es posible que los objetos se muevan libremente a través de la zona de medida. Un movimiento libre puede generarse mediante la fuerza de la gravedad cuando los objetos caen libremente o deslizan por resbaladeros y/o mediante un flujo de aire. En una configuración alternativa se mueven los objetos a medir conducidos a través de la zona de medida. Esto significa que los objetos a medir resbalan por ejemplo a través de la zona de medida en tubos que dependen del formato.

40

Un ejemplo de realización preferente se describirá a continuación más en detalle. Se muestra en:

Figura 1: resultados de medida para distintas clases de tableta, para un calibrado unificado del dispositivo de medida, moviéndose las mismas sobre un resbaladero con 40° de inclinación a través del resonador de microondas,

45

Figura 2: resultados de medida para distintas tabletas que se mueven, para un calibrado unificado del dispositivo de medida, sobre un resbaladero del 40° a través del resonador,

Figura 3: un resonador con tres modos de resonancia independientes.

50

Una medición rápida y muy precisa de la masa de objetos relativamente pequeños es de especial importancia en el ámbito de los productos farmacéuticos, como por ejemplo en tabletas o cápsulas, ya que en estos objetos la masa total es proporcional a su contenido en principios activos. De una medición de la humedad resultan importantes informaciones adicionales sobre las características de estos objetos, siendo por ejemplo las características mecánicas de tabletas prensadas o cápsulas de gelatina dura fuertemente dependientes de su contenido en humedad y también el contenido de la cápsula muestra distintas características con distintas humedades. Una dificultad especial en la medición de tabletas prensadas consiste en que éstas pueden presentar cualquier forma espacial. Así pueden estar conformados los objetos a medir por ejemplo con forma esférica, forma de cubo,

55

alargados, triangulares o de cualquier otra forma. En objetos de medida de no presentan simetría esférica, la medición en un resonador depende siempre de la posición. El resultado depende de la relación entre la parte de superficie del objeto que se encuentra en paralelo a las líneas de campo del resonador y la parte de superficie del objeto sobre la que se encuentran perpendiculares las líneas de campo. Cuando hay paralelismo de las líneas de campo y las partes de la superficie del objeto a medir, continúa el campo eléctrico por el producto sin discontinuidades, resultando el desplazamiento de la frecuencia de resonancia del resonador del efecto de acortamiento de la longitud de onda dentro del producto a medir. Cuando desciende la frecuencia de resonancia hasta el nuevo valor, tiene el campo prácticamente una evolución espacial idéntica a en el caso del resonador vacío. La solución teórica a la perturbación correspondiente a la ecuación de Maxwell da como resultado en este caso, cuando la evolución del campo no se modifica debido a un producto presente, a la siguiente expresión de la variación relativa de la frecuencia de resonancia:

$$\frac{f_0 - f_p}{f_0} = F(\epsilon - 1)$$

15 siendo  $f_0$  la frecuencia de resonancia del resonador vacío,  $f_p$  la frecuencia de resonancia que resulta para la acción de las partes de superficie paralelas del objeto a medir que llena el resonador,  $F$  la relación entre la energía de campo de microondas en la zona de la muestra y la del resonador completo y  $\epsilon$  la constante dieléctrica relativa (parte real) del material de muestra.

20 Por el contrario cuando la orientación del campo es perpendicular a la parte de superficie del objeto a medir, realiza el campo eléctrico al pasar al material a probar un salto en el factor  $\epsilon$  hasta el valor  $E/\epsilon$ . Si se denomina  $f_s$  la frecuencia de resonancia que resulta debido a la acción de la parte perpendicular de superficie del objeto a medir en el resonador lleno, entonces aporta la teoría de la perturbación para el desplazamiento relativo de la frecuencia para orientación perpendicular del campo en la siguiente fórmula:

25

$$\frac{f_0 - f_s}{f_0} = F \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$$

Al comparar ambas fórmulas queda claro que un objeto de forma arbitraria que se encuentre en el resonador de microondas, provoca en función de su orientación respecto al campo de microondas en la zona de medición distintas señales de medida. Esto es especialmente importante al medir objetos móviles que a igualdad de volumen pueden atravesar el campo de medida en distinta orientación y con ello provocan distintos valores de medida de microondas. Debido a ello se tiene una precisión limitada en la medición de la masa y/o de la humedad. También el movimiento de balanceo o de caer rodando de los objetos a medir al pasar el objeto a medir originan errores de medida.

35 En una forma de realización preferente del procedimiento correspondiente a la invención se funciona, para una medición rápida de la masa y/o de la humedad de objetos de forma arbitraria en cualquier posición, con un resonador de microondas utilizando tres modos de resonancia que pueden activarse simultáneamente. Los campos eléctricos de estos modos de resonancia son perpendiculares entre sí y forman un trípode ortogonal. Así es posible captar las correspondientes partes de volumen del objeto a medir en las tres orientaciones espaciales con la misma orientación del campo eléctrico.

La figura 3 muestra básicamente la estructura de medida de un resonador 12 con tres modos de resonancia independientes perpendiculares entre sí. Los modos de resonancia son generados por tres generadores de alta frecuencia 14, 16, 18 y acoplados a distintos lados del resonador 12. El acoplamiento de los correspondientes modos de resonancia se representa esquemáticamente mediante flechas 20, 22 y 24. Igualmente se representa esquemáticamente mediante flechas la línea de entrada a los filtros de banda 26, 28, 30. Tal como puede observarse en el esquema básico de la figura 3, introduce el generador de alta frecuencia 16 su señal en un lado plano del resonador 12, la cual se desacopla en el lado plano opuesto y se retransmite al filtro de banda 28, desde donde se conducen los resultados filtrados al detector 34. Igual es el comportamiento con las otras direcciones espaciales, acoplándose el generador 14 a un lado plano del resonador 12 y desacoplándose las señales recibidas en el lado opuesto y retransmitiéndose al filtro de banda 26. Los valores filtrados llegan al detector 32. Para la tercera dirección espacial se procede análogamente, acoplándose aquí las señales del generador 18 al lado plano grande del resonador 12 y desacoplándose en el lado plano grande opuesto, desde donde se retransmiten a través del filtro de banda 30 al detector 36.

Igualmente se representa esquemáticamente en la figura 3 un tubo de guía 38, a través del que pueden caer libremente las tabletas 40 a medir. El tubo de guía está compuesto por un material no metálico y conduce a través del centro del resonador 12. Tal como se indica en la figura 3 mediante el trípode 42, en el centro del resonador 12 los campos eléctricos de los modos son perpendiculares entre sí. Las funciones de los filtros de banda 26, 28, que consisten en filtrar los valores de resonancia medidos y amortiguar o suprimir aportaciones no deseadas a las resonancias.

Evidentemente es una premisa para utilizar filtros de banda que los tres generadores de alta frecuencia 14, 16, 18 funcionen con frecuencias de resonancia distanciadas entre sí.

Los datos tomados por los detectores 32, 34, 36 se retransmiten a una unidad evaluadora 44. La unidad evaluadora 44 está conectada igualmente con los generadores 14, 16, 18, para controlar los mismos.

La unidad evaluadora 44 calcula entonces como resultado la masa 46 del cuerpo dieléctrico 6 y la humedad 48 del cuerpo dieléctrico. Como humedad se entiende en general siempre una magnitud de concentración que resulta como cociente entre la masa de agua y la masa total (masa en seco) de una muestra a probar, indicada en porcentaje.

Un resonador con tres modos de resonancia que pueden activarse a la vez y perpendiculares entre sí puede fabricarse en distintas realizaciones. Una forma de realización posible consiste en un resonador conformado como un elipsoide. Otra forma posible de realización es la forma de un paralelepípedo. Igualmente es posible prever un resonador que presente la forma de un cilindro, cuya superficie de sección posea la forma de una elipse. El acoplamiento del modo al resonador se realiza entonces tal que para los tres campos eléctricos queda asegurado en cada caso que solo se activa el modo de resonancia deseado. Además debe quedar asegurado que no se presenta entre los distintos modos diafonía alguna, que falsearía los resultados de medida. En una diafonía se presenta el fenómeno de que al activar un modo se activan otros modos adicionales, que realizan una aportación al resultado de la medición. Una tal diafonía puede evitarse por un lado mediante una configuración especial de los acoplamientos del campo, montando las antenas de acoplamiento o aberturas de acoplamiento del modo de resonancia activado en el nodo eléctrico de los otros modos de resonancia. Por otro lado puede cuidarse mediante medidas constructivas en el resonador de que las tres frecuencias de resonancia estén tan distanciadas entre sí que mediante filtros pasabanda especialmente adaptados los otros modos no puedan provocar perturbación alguna en el modo de resonancia propiamente dicho.

Según la invención se toma en cada modo de resonancia como valor de medida la modificación de la curva de resonancia en interacción con el producto a medir. Además se registra el desplazamiento de la frecuencia de resonancia (A) para cada modo. Como modificación de la curva de resonancia se mide en el ejemplo de ejecución el ensanchamiento de la curva de resonancia (B). El proceso de medición aporta en total en conjunto tres valores de medida en cada caso, con lo que se dispone de los valores de medida  $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$  para cada objeto a medir.

Estos valores de medida dependen de la humedad y de la masa del objeto a medir en las tres direcciones espaciales asociadas a los modos de resonancia. A partir de los seis valores de medida pueden calcularse la masa y la humedad del objeto a medir completo. Los valores calculados para masa y humedad son entonces independientes de la orientación del objeto a medir en el campo de medida e independientes de la forma de la muestra del objeto a medir. Al variar la orientación del objeto a medir en el campo de medida varían las señales en las distintas direcciones espaciales, pero la masa medida y la humedad del objeto a medir completo permanece sin verse influidas por la orientación.

El cálculo de la masa y de la humedad del objeto a medir completo a partir de los seis valores de medida individuales ( $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ ) se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Masa} = k_1 \cdot A_1 + k_2 \cdot A_2 + k_3 \cdot A_3 + k_4 \cdot B_1 + k_5 \cdot B_2 + k_6 \cdot B_3 + k_7$$

$$\text{Humedad} = c_1 \cdot B_1/A_1 + c_2 \cdot B_2/A_2 + c_3 \cdot B_3/A_3 + c_4$$

siendo los coeficientes  $k_j$  ( $j = 1, \dots, 7$ ) y  $c_j$  ( $j = 1, \dots, 4$ ) los coeficientes de calibración. La medición de la masa está compensada en cuanto a humedad, siendo la medición de la humedad así obtenida igualmente independiente de la masa del objeto a medir.

Si se considera ahora que el objeto a medir necesita un cierto tiempo para su movimiento a través del campo de

medida, entonces pueden registrarse durante un tal ciclo de medida varias veces las seis magnitudes de medida una tras otra. Para evaluar a partir de esta serie temporal de valores de medida los correctos, existen básicamente dos planteamientos diferentes. En el primer planteamiento, que preferiblemente se aplica cuando se impide o limita un movimiento incontrolado de la muestra a través del resonador mediante una conducción de la muestra que depende del formato, se elige para cada modo el máximo del desplazamiento de la frecuencia de resonancia y en ese instante se determinan los valores de medida A y B para ese modo. En un proceso de evaluación alternativo se determina para un modo el máximo del desplazamiento de la frecuencia de resonancia cuando pasa el objeto a medir a través del resonador. Si entonces se ha detectado para un modo el máximo de la desintonía de la frecuencia de resonancia, entonces se evalúan los valores de medida de los demás modos en el mismo momento. De esta manera se logra que el objeto de medida se mida mediante los tres modos ortogonales entre sí en una posición unificada. Con ello se considera la muestra a probar en cualquier posición desde distintos lados, con lo que es posible una compensación completa de la influencia de la posición. Este segundo proceso de evaluación puede aplicarse allí donde muestras a probar atraviesan el resonador en cualquier movimiento y en interés de un elevado rendimiento del flujo por unidad de tiempo de muestras a probar se renuncia a toda conducción.

15 El transporte de los objetos a medir a través del resonador puede realizarse mediante un tubo metálico bien en caída libre o resbalando. La figura 1 muestra por ejemplo los resultados de medida en un resbaladero inclinado en  $40^\circ$ , sobre el que resbala una pluralidad de tabletas de distintas formas con distinto peso a través del campo de medida. En la medición representada en la figura 1 se han representado estas tabletas en función de su masa de referencia.

20 La curva muestra ya muy claramente que con una tal técnica de medida de tres modos es posible incrementar claramente la precisión de medida para la medición de la masa de las muestras a probar con una única curva de calibración, independientemente de variaciones de posición de las muestras a probar, de su forma, de su contenido en humedad y composición. Este resultado se confirma también mediante la figura 2, en la que en cada caso han resbalado 50 muestras de tabletas con una forma y una masa sobre un resbaladero de  $40^\circ$ , a través del campo de

25 medida del resonador. También aquí queda claro que en una gama de masas de 50 mg hasta 450 mg pueden obtenerse mediciones fiables sin que se presenten errores sistemáticos en el marco de la precisión deseada.

Para mediciones en objetos a medir muy pequeños puede seguirse configurando la precisión de medida al detectar la masa utilizando piezas de formato adicionales para conducir los objetos a medir. Éste es el caso especialmente cuando los tres campos de medida utilizados para la medición no son completamente homogéneos en la zona de medida. La homogeneidad de los campos incide fuertemente en la determinación de la masa, pero para determinar la humedad juega un papel secundario. Como piezas de formato pueden utilizarse por ejemplo tubitos para muestras con distintos diámetros interiores, adaptados al tamaño de la muestra. También pueden utilizarse resbaladores de distintas zonas como piezas de formato.

35 Además de la medición ya expuesta antes con tres modos de resonancia, es posible también realizar el procedimiento de medición correspondiente a la invención solo mediante un único generador de AF y un único detector de AF, realizando durante la medición un conmutador semiconductor una conmutación rápida. Al respecto es importante que la velocidad de conmutación sea grande respecto a la velocidad del objeto a medir en la zona de

40 medida, con lo que resulta posible realizar la medición en los tres modos para aproximadamente la misma posición del objeto a medir. La evaluación de las magnitudes de medida  $A_i$ ,  $B_i$  ( $i = 1, \dots, 3$ ) puede realizarse entonces tal como antes se describió.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para medir la masa y/o la humedad de objetos dieléctricos (40), con una unidad evaluadora (44), al menos un generador de alta frecuencia (14, 16, 18), al menos un detector de alta frecuencia (32, 34, 36) y un resonador de alta frecuencia (12), **caracterizado porque**
- 5
- el generador de alta frecuencia (14, 16, 18), de los que al menos hay uno, puede generar tres modos independientes entre sí con distintas frecuencias de resonancia en el resonador, encontrándose los campos eléctricos de los modos en una zona de medición perpendiculares (42) entre sí y teniendo dos resonancias contiguas una distancia mínima de 100 MHz,
  - 10
  - el detector de alta frecuencia (32, 34, 36), de los que al menos hay uno, puede medir las frecuencias que se presentan para cada modo en el resonador, presentando el resonador una abertura de entrada y una abertura de salida, que permiten un movimiento del objeto dieléctrico a medir a través del resonador y
  - 15
  - la unidad evaluadora (44) puede determinar para las frecuencias medidas en cada modo un desplazamiento de la frecuencia de resonancia (A) y una modificación de la curva de resonancia y a partir de los valores determinados relativos al desplazamiento de la frecuencia de resonancia (A) y a la modificación de la curva de resonancia, puede calcular la masa y/o la humedad del objeto dieléctrico (40) que se mueve a través del resonador (12), registrándose varias veces los valores de medida de los modos uno tras otro mediante la unidad evaluadora (44) para un objeto a medir (40) que se mueve a través del resonador (12) y evaluándose en un momento en el que se ha detectado para un modo el máximo de la desintonización de la frecuencia de resonancia cuando pasa el objeto a medir (40) a través del resonador (12).
  - 20
- 25 2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la unidad evaluadora puede determinar cómo modificación de la curva de resonancia un ensanchamiento (B) de la curva de resonancia.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** los modos del resonador se encuentran en una gama de frecuencias entre 0,5 GHz y 20 GHz.
- 30 4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el resonador presenta la forma de un paralelepípedo, la forma de un elipsoide o la forma de un cilindro con sección con forma de elipse.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** entre las aberturas de entrada y de salida está prevista una pieza de formato para conducir el objeto a medir a través del resonador.
- 35 6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** para cada modo está previsto un equipo desacoplador, que se encuentra en un nodo de oscilación de los otros modos.
- 40 7. Procedimiento para medir masa y/o humedad de objetos dieléctricos, con una unidad evaluadora, al menos un generador de alta frecuencia, al menos un detector de alta frecuencia y un resonador, **caracterizado porque** para el proceso de medida genera el generador de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, tres modos independientes entre sí en el resonador, encontrándose los campos eléctricos de los modos en una zona de medición perpendiculares entre sí y teniendo dos resonancias contiguas una distancia mínima de 100 MHz y con el detector de alta frecuencia, de los que al menos hay uno, se miden para cada modo las frecuencias que se presentan en el resonador, presentando el resonador una abertura de entrada y una abertura de salida, que permiten un movimiento del objeto dieléctrico a medir a través del resonador y la unidad evaluadora evalúa para las frecuencias medidas de cada modo un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y una modificación de la curva de resonancia y a partir de la evaluación determina masa y/o humedad del objeto dieléctrico, registrándose varias veces uno tras otro los valores de medida de los modos para un objeto a medir que se mueve a través del resonador y evaluándose en un momento en el que se ha detectado para un modo el máximo de la desintonización de la frecuencia de resonancia cuando pasa el objeto a medir a través del resonador.
- 45 50
8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la unidad evaluadora evalúa como modificación de la curva de resonancia el ensanchamiento (B) de la curva de resonancia.
- 55

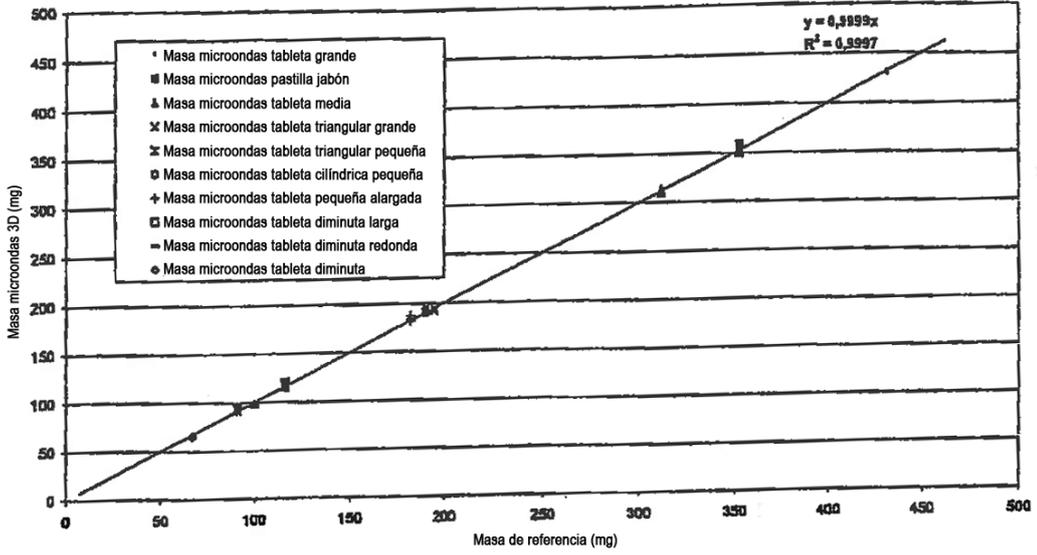


Fig. 1

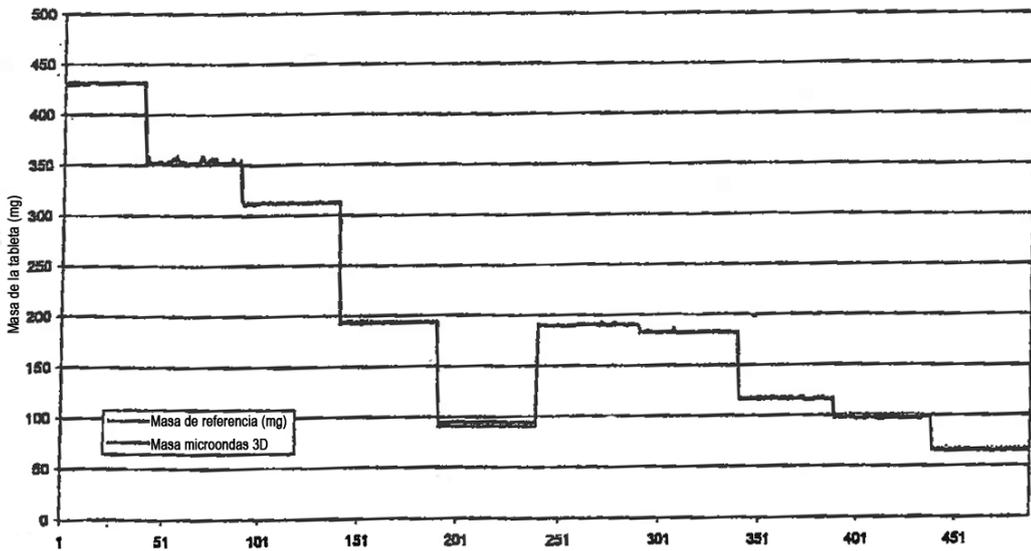


Fig. 2

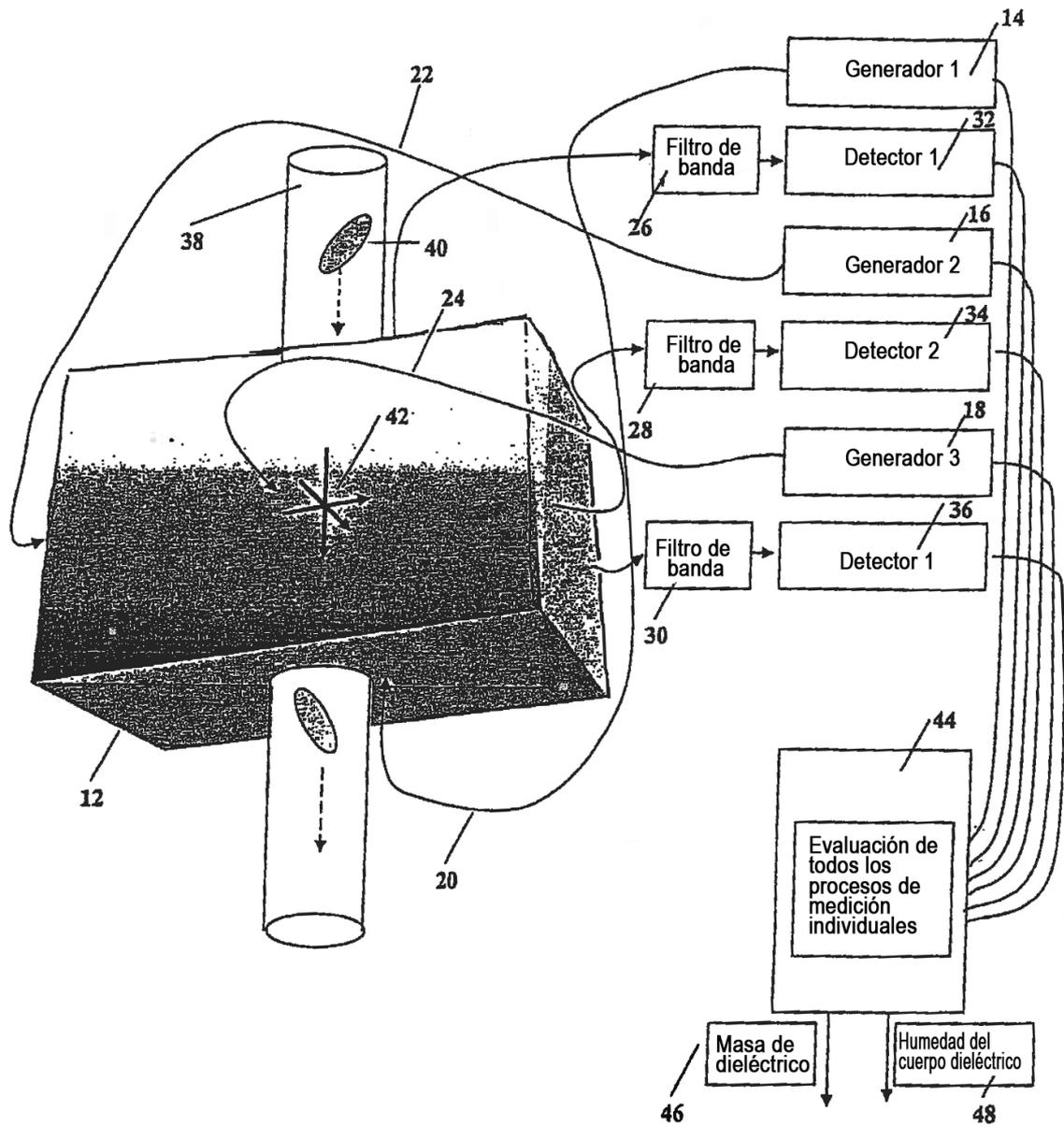


Fig. 3