

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 924 949**

21 Número de solicitud: 202130940

51 Int. Cl.:

A01G 25/16 (2006.01)

G01N 33/18 (2006.01)

G01N 33/24 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

07.10.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.10.2022

Fecha de concesión:

24.04.2024

45 Fecha de publicación de la concesión:

03.05.2024

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (45.0%)

Plaza de Santa Cruz , 5 Bajo

47002 Valladolid (Valladolid) ES y

ARGOTEC SOLUCIONES INNOVADORAS EN

TELECOMUNICACIONES, S.L. (55.0%)

72 Inventor/es:

DE LA ROSA STEINZ, Ramón;

CARRERA GONZÁLEZ, Albano;

SAINZ SANTOS, Antonio y

HUIDOBRO GARCÍA, Francisco

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **SISTEMA PARA MEDIR LA HUMEDAD EN UN MEDIO**

57 Resumen:

Sistema para medir la humedad en un medio que incluye un generador (1) que inyecta potencia al medio, en la banda de radiofrecuencias de absorción del agua comprendida entre 2 GHz y 130 GHz, a través de un puerto de entrada (4), transfiriéndose dicha potencia a un puerto de salida (5), conectado a un medidor de potencia (2). El grado de humedad del terreno influirá en la potencia transferida, cuya medida es entregada a la salida (8) del medidor de potencia (2). Por otra parte, entre la señal inyectada al puerto de entrada (4) y la recibida en el de salida (5) existirá una diferencia de fase relacionada con el comportamiento del terreno y el grado de humedad, la cual será registrada como medida a la salida (9) del comparador de fase (3). El sistema no requiere que haya contacto directo entre sus elementos conductores y el terreno, aumentando así la robustez del sensor frente a agentes externos.

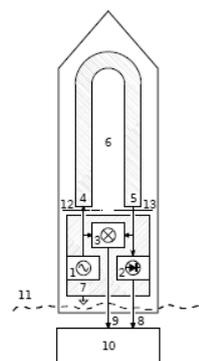


Fig. 3

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 924 949 B2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA PARA MEDIR LA HUMEDAD EN UN MEDIO

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se encuadra dentro del sector de la agricultura de precisión, en el ámbito de los sensores de humedad. La invención emplea la transferencia de potencia en la banda de absorción del agua.

10

Una aplicación de la presente invención es la medición de la humedad del suelo con el fin de optimizar el cultivo de plantas, aunque puede ser destinada a otras aplicaciones que requieran obtener mediciones de la humedad del terreno.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las principales técnicas de medición de humedad en aplicaciones de agricultura se basan en el uso de sensores capacitivos, técnicas de reflectometría, medición de la conductividad eléctrica o técnicas ópticas en el rango de infrarrojos.

20

Los documentos de patente CN207516300U, JP2012112801A o GB2398637A son ejemplos de sensores capacitivos. Su fundamento es el de emplear un diseño electrónico que contiene un condensador al cual se aplica un voltaje alterno. Dicho condensador, el cual tiene al menos dos electrodos separados por un dieléctrico, es el que actúa como elemento sensor. El medio o terreno del que se quiere obtener la humedad formará parte de ese dieléctrico.

25

El voltaje alterno aplicado se sitúa habitualmente en el rango de frecuencias de MHz, como en el documento WO2007002994A1, donde el diseño opera a 10 MHz. Esto reduce las complicaciones inherentes a diseños electrónicos de frecuencias más altas, que requieren aumentar la precisión en el diseño de la geometría del circuito y de sus características electromagnéticas en frecuencias altas, así como seleccionar adecuadamente los componentes electrónicos para frecuencias elevadas.

30

35

Puesto que el terreno va a formar parte del dieléctrico del sensor capacitivo, dependiendo de las características generales del terreno, como son la humedad, los

- compuestos orgánicos o los minerales de que esté formado dicho terreno, se verán afectadas las características de dicho dieléctrico y por tanto, su capacidad. Estos cambios de capacidad en el sensor pueden ser medidos como cambios de voltaje en un divisor de impedancias en el que participa el sensor capacitivo, como en los
- 5 documentos WO2007002994A1, US2015330932A1 o CN101281152A. Otras opciones son registrar los cambios en la medida de un puente equilibrado de impedancias que incluya al sensor capacitivo, o medir los tiempos de carga y descarga del condensador.
- 10 Como resumen de lo expuesto, en las técnicas de medición que emplean sensores capacitivos, el componente fundamental del sensor es un condensador con al menos dos terminales y un dieléctrico, siendo el objetivo del sensor el de relacionar los cambios en su capacidad con la humedad del terreno.
- 15 Otra de las técnicas de medición de humedad en agricultura se fundamenta en la reflectometría, la cual está basada en lanzar una señal de excitación al medio y registrar las características de la señal reflejada debido a que se produce un cambio de impedancia en la interfaz sensor-medio. Esta excitación puede ser un pulso de voltaje o pueden ser pulsos de alta frecuencia, como en un radar.
- 20 Una forma de inyectar el pulso de voltaje al medio es utilizando dos electrodos en contacto con el medio para luego medir en ellos las características de la señal reflejada. El pulso puede ser inyectado periódicamente, formando una señal cuadrada. Las características a medir pueden ser la amplitud del voltaje reflejado, los retardos en
- 25 la llegada de las reflexiones respecto al instante de excitación o los cambios en el espectro de frecuencias recibido si se compara con el espectro de la señal de excitación. Ejemplos de esta técnica se muestran en los documentos de patente US6104200A, EP0297604A2 o US6441622B1.
- 30 Los diseños basados en técnicas de reflectometría en el dominio temporal (TDR) se centran en registrar el retardo de propagación entre el pulso inyectado o incidente y el pulso reflejado, además de medir características de la señal reflejada respecto a la incidente, como los cambios de amplitud o el cambio en la pendiente de los pulsos reflejados por efecto del terreno circundante al sensor, como en los documentos
- 35 US6657443B2, US6831468B2 o US8285503B1. En este tipo de diseños, la precisión de la electrónica de control de tiempos o sincronización es especialmente importante y representa una dificultad añadida.

Por otra parte, existen diseños de alta frecuencia basados en reflectometría que incluyen geometrías de guiado electromagnético a través de las cuales se inyectan pulsos de alta frecuencia, como en un radar. Estos pulsos de alta frecuencia van a ser reflejados al interaccionar con el medio, como el suelo del cual se quiere medir la humedad, de forma que analizando la reflexión recibida es posible caracterizar el medio.

El sistema TRIME de alta frecuencia del fabricante IMKO está basado en esta combinación de reflectometría y sistema guiado. TRIME utiliza reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), lanzando pulsos de 1 GHz para luego caracterizar las reflexiones que se producen. Las primeras publicaciones de TRIME se remontan al año 1998 [1,2] y el documento de patente WO2019214924A1 contiene un ejemplo de geometría utilizada. De este sistema se han derivado otros diseños, como los publicados en documentos de patente como CN101210899A o CN201007712Y.

Además de las técnicas descritas para la medición de humedad, también existen diseños basados en la medición de la conductividad eléctrica, como los mostrados en los documentos US10247687B2, CN207036751U, o diseños que emplean técnicas de medición óptica, empleando longitudes de onda a partir del infrarrojo, como en el documento US6079433A, donde se muestran diseños basados en la emisión de radiación infrarroja, para luego medir las características de la señal recibida tras ser influida por el terreno.

Estas técnicas registran el comportamiento conjunto de todos los componentes del terreno, de forma que, si los cambios principales de ese comportamiento se deben principalmente a cambios en la humedad, es posible relacionar las medidas con el valor de la humedad del terreno.

30 **Referencias**

- [1] Wegehenkel M., *Using TRIME-TDR for the determination of soil water dynamics on sandy soils*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science (1998). DOI: 10.1002/jpln.1998.3581610512
- [2] Wegehenkel M., *The validation of soil water balance models based on measurements of soil water contents by gravimetry and by TRIME-TDR and of soil water suctions determined by tensiometer*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science (1998). DOI: 10.1002/jpln.1998.3581610513

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

5 La presente invención propone un sistema para medir la humedad en un medio de acuerdo con la reivindicación independiente de manera más general. Realizaciones particulares se definen en las reivindicaciones dependientes. El sistema utiliza la absorción y transferencia de potencia electromagnética como técnica para medir la humedad de un medio (suelo, terreno). El sistema mide la transferencia de potencia
10 de radiofrecuencia desde un puerto de entrada acoplado al medio hasta otro de salida, también acoplado al medio. La potencia transferida entre los puertos se verá reducida por la absorción de potencia efectuada por el medio, de forma que la potencia medida en el puerto de salida se verá reducida respecto a la del puerto de entrada en función de la humedad del medio. El término puerto se entiende como la zona de conexión de geometría controlada en una aplicación de alta frecuencia. En concreto, el término
15 puerto es la sección transversal que define la frontera o zona de unión entre dos estructuras que transportan potencia electromagnética de alta frecuencia. Por tanto, esta técnica emplea el fenómeno opuesto al usado en las técnicas de reflectometría: la transferencia en lugar de la reflexión. En este documento se ha de entender por alta
20 frecuencia 1 GHz o más.

Para maximizar la absorción de potencia al medir humedad, el sistema para medir la humedad aplicará una excitación al puerto de entrada orientada a potenciar este efecto de máxima absorción por el agua. El agua, como material dieléctrico con pérdidas,
25 presenta un efecto de absorción o disipación de potencia electromagnética notable a las frecuencias de microondas, es decir, por encima de 1 GHz, siendo especialmente perceptible en el rango de frecuencias comprendido entre los 2 GHz y los 130 GHz para la temperatura de 17 °C, alcanzando un máximo de absorción en torno a la frecuencia de 20 GHz. Por tanto, este será el rango de frecuencias de operación idóneo
30 para el sistema para medir la humedad, por debajo del espectro electromagnético de la radiación infrarroja.

MEDICIÓN DE LA POTENCIA TRANSFERIDA

35 El sistema para medir la humedad tendrá, por una parte, un módulo generador de potencia conectado a un puerto de entrada, que puede ser un oscilador de radiofrecuencia que generará un voltaje sinusoidal continuo de valor medio nulo. Por

otra parte, el sensor tendrá un módulo medidor de potencia conectado a un puerto de salida, que puede ser un circuito que transforme la potencia recibida en una señal útil, como puede ser un voltaje que sea función de la potencia recibida.

5 Hay que destacar que el sistema se fundamenta en la transferencia de potencia de un puerto a otro. La potencia eléctrica involucra simultáneamente a las magnitudes voltaje y corriente o impedancia, que no pueden analizarse de forma aislada, de manera que la potencia eléctrica en un instante se puede definir como el producto del voltaje instantáneo por la corriente instantánea. A partir de este fundamento, hay que tener
10 en cuenta que, de forma general, para obtener la máxima transferencia de potencia eléctrica de un generador a una carga se debe cumplir el principio de adaptación de impedancias. En el caso en que se trabaje con impedancias resistivas, las impedancias de generador y carga deben ser iguales.

15 Estas consideraciones de adaptación de impedancias deben tenerse en cuenta en el diseño del sistema. Desde el punto de vista del módulo generador de potencia, para obtener la máxima transferencia de potencia, la impedancia del generador debe estar adaptada a la impedancia ofrecida por el puerto de entrada. De forma equivalente, para transferir la máxima potencia al módulo medidor de potencia, la impedancia del
20 puerto de salida debe estar adaptada a la impedancia que ofrece el medidor de potencia. La influencia del medio a medir provocará un fenómeno de absorción de potencia y de desviación del principio de adaptación de impedancias en cada punto, influyendo en la transferencia de potencia registrada por el módulo medidor de potencia.

25 El sistema objeto de esta invención tiene la ventaja de que permite inyectar potencia de forma continua en el tiempo, ya que mide la transferencia de potencia de un puerto de entrada a otro de salida. Si se compara con las técnicas de reflectometría que requieren conmutar entre la transmisión de pulsos incidentes y la detección de pulsos
30 reflejados, en la invención se reduce la complejidad del diseño evitando elementos adicionales de amplificación, conmutación y sincronización temporal ya que no hay que distinguir pulsos incidentes de reflejados.

35 El sistema objeto de esta invención ofrece la ventaja de no necesitar un material conductor en contacto con dicho medio, minimizándose problemas de corrosión en elementos metálicos, ya que acopla al medio potencia electromagnética a través de una señal alterna cuyo voltaje promedio es nulo.

El sistema objeto de esta invención no altera las características del medio y evita problemas de polarización del medio, puesto que la señal alterna acoplada al medio es de alta frecuencia y tiene voltaje promedio nulo. Al no aplicarse voltajes continuos al medio de forma sostenida, no se producen problemas de polarización del medio por desplazamiento de iones, evitándose tener que compensar posteriormente dicha polarización, por ejemplo, aplicando un voltaje opuesto. Además, las frecuencias de excitación aplicadas son muy elevadas, del orden de GHz, lo cual unido a la muy baja movilidad iónica de los componentes del suelo a esas frecuencias, hace que el sistema para medir la humedad no altere las características del suelo durante la medición.

La respuesta del sistema para medir la humedad es muy rápida: una vez activada la potencia de excitación en el puerto de entrada, la potencia es recibida de forma prácticamente instantánea en el puerto de salida ya que, puesto que solo hay que medir la transferencia de potencia de un puerto a otro, el retardo está relacionado fundamentalmente con el tiempo de propagación del campo electromagnético del puerto de entrada al puerto de salida.

El sistema para medir la humedad permite encendidos y apagados rápidos de la excitación en el puerto de entrada, con el objetivo de muestrear puntualmente la humedad en el puerto de salida y apagar la excitación para ahorrar energía. Esto es debido a la rápida propagación de la potencia al puerto de salida sin que haya efectos transitorios perceptibles, debido a la combinación de la elevada frecuencia de excitación utilizada, en el rango de GHz, con la baja movilidad de los iones del terreno a dicha frecuencia de excitación.

Desde el punto de vista del medio a medir, el sistema para medir la humedad permite mantener aplicada la excitación de forma continua y por tanto, permite detectar de forma continua en el tiempo y con precisión temporal las variaciones rápidas en la humedad y en la actividad del medio mientras esté activa la excitación. Esto es consecuencia de la rápida respuesta del sistema para medir la humedad y su nula influencia sobre el medio durante la medición.

MEDICIÓN DEL DESFASE INTRODUCIDO

Siguiendo el mecanismo descrito de transferencia de señal de un puerto de entrada a uno de salida, realizaciones del sistema para medir la humedad pueden incorporar una

medida del desfase introducido entre la señal de radiofrecuencia inyectada al puerto de entrada y la señal obtenida en el puerto de salida. Con esto se obtiene información adicional sobre el efecto en la transferencia de la señal en términos del desfase introducido. Por tanto, bien sola la medida de potencia transferida explicada
5 previamente, como combinadamente con esta medida de desfase introducido pueden emplearse como información conjunta o utilizarse como dos técnicas diferentes de medición de la humedad.

Como ejemplo de funcionamiento del circuito comparador de fase, si el voltaje de la
10 señal oscilante que se transmite por el puerto de entrada se expresa como un voltaje alterno de la forma $A_T \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_T)$ y el voltaje de la señal que se recibe en el puerto de salida como $A_R \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_R)$, donde f es la frecuencia, t el tiempo y φ_T y φ_R las fases adicionales de la señal transmitida y recibida respectivamente, el dispositivo comparador de fase generará a su salida un voltaje proporcional al desfase entre
15 ambas señales que puede expresarse como $V_d = k \cdot (\varphi_R - \varphi_T)$, donde k es una constante.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

25

Fig. 1.- Muestra un esquema explicativo del principio de adaptación de impedancias para máxima transferencia de potencia de generador al medidor de potencia, cuya impedancia interna actúa como carga del circuito.

30

Fig. 2.- Muestra un esquema explicativo del proceso de transferencia de potencia de generador al medidor de potencia, cuya impedancia interna actúa como carga, incluyendo el medio del que se quiere obtener la humedad.

35

Fig. 3.- Muestra una vista esquemática en planta con una posible realización del sistema para medir la humedad en un medio de acuerdo con la presente invención.

Fig. 4.- Muestra una vista esquemática en planta con otra posible realización del

ES 2 924 949 B2

sistema para medir la humedad en un medio de acuerdo con la presente invención.

REFERENCIAS NUMÉRICAS

- 1 Generador de voltaje.
- 2 Medidor de potencia cuya impedancia interna es R_0 .
- 5 3 Detector de fase.
- 4 Terminal de entrada al medio.
- 5 Terminal de salida del medio.
- 6 Substrato del circuito.
- 7 Plano conductor común.
- 10 8 Terminal de salida del medidor de potencia.
- 9 Terminal de salida del detector de fase.
- 10 Procesador.
- 11 Medio.
- 12 Puerto entrada.
- 15 13 Puerto salida.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- 20 A la vista de las mencionadas figuras y de acuerdo con la numeración adoptada, las Figs. 1 y 2 permiten detallar los fundamentos físicos en que se basa la invención para luego mostrar en las Figs. 3 y 4 dos posibles realizaciones preferentes de la invención, apoyadas en los mencionados fundamentos físicos.
- 25 La presente invención utiliza el principio de transferencia de potencia eléctrica o electromagnética de un extremo a otro. La situación óptima de transferencia de potencia eléctrica en el caso de impedancias resistivas se describe en la Fig. 1. En dicha figura se muestra un generador de voltaje 1, cuyo valor eficaz de fuerza electromotriz es V_g y que está conectado directamente a una carga R_0 que representa
- 30 la impedancia interna del medidor de potencia 2. Las impedancias de generador y carga son resistivas y están adaptadas, es decir, tienen un valor idéntico R_0 . En estas condiciones de adaptación de impedancias, la transferencia de potencia a la carga P es máxima y es $P = V_g^2/(4 \cdot R_0)$.
- 35 En la realización de la presente invención se incluirá un medio 11, del que se quiere obtener la humedad, entre el generador 1 y el medidor de potencia 2, cuya impedancia interna es R_0 , tal y como se indica en la Fig. 2. Dicha realización incluye un generador

ES 2 924 949 B2

- de voltaje 1, cuyo valor eficaz de fuerza electromotriz es V_g y que inyecta su potencia al medio 11 a través de un puerto de entrada compuesto por el terminal de entrada 4 y el plano conductor común 7. La potencia se propaga por el medio 11 hasta un puerto de salida compuesto por el terminal de salida 5 y el plano conductor común 7, para ser
- 5 entregada al medidor de potencia 2. El efecto del medio 11 es el de reducir la potencia P transferida al medidor de potencia 2 por efecto de las características físicas del medio 11, entre ellas, la humedad, por lo que la potencia entregada al medidor de potencia 2 será inferior al caso óptimo descrito en la Fig. 1, es decir $P < V_g^2/(4 \cdot R_0)$.
- 10 Basándose en estos principios, la Fig. 3 muestra una posible realización preferente del sistema medidor de humedad para ser desarrollada con tecnología de fabricación de circuitos impresos. Las zonas rayadas corresponden con el terminal de entrada 4, el terminal de salida 5 y el plano conductor común 7, y son superficies conductoras y la zona sin rayar corresponde con el substrato dieléctrico 6 sobre el que se apoyan los
- 15 elementos conductores, de los cuales forman parte los terminales de entrada 4 y de salida 5 y el plano común 7. Dicho substrato 6 se termina en punta para facilitar su inserción en el suelo, es decir, el medio 11 del que se quiere medir la humedad. El conjunto no requiere contacto directo entre las superficies conductoras y el suelo a
- 20 medir, por lo que puede incluir una cubierta protectora aislante, aumentando así la robustez del sistema para medir la humedad frente a agentes externos. Dicho conjunto se enterrará en el medio 11, incluyendo los terminales de entrada 4 y de salida 5, aunque el extremo opuesto a la punta, donde no se encuentra el elemento en forma de herradura que interacciona con el medio 11 para medir la humedad, puede sobresalir ligeramente del suelo. El elemento conductor comprendido entre los
- 25 elementos 4 y 5, en forma de herradura, no es una superficie equipotencial en alta frecuencia y ofrece una distribución de amplitudes de voltajes y corrientes que es variable a lo largo de su área, distribución responsable de generar un campo electromagnético en el entorno de la herradura. El plano común conductor 7 es aproximadamente equipotencial en la extensión de su superficie, minimizando la
- 30 emisión de campo electromagnético en la zona comprendida por dicho conductor y reduciendo efectos espurios de ruido de alta frecuencia que puedan afectar a los componentes electrónicos de los bloques 1, 2 y 3 ubicados en dicha zona.
- Los números indicativos de la Fig. 3 se corresponden con los empleados en las Figs.
- 35 1 y 2, de forma que un circuito generador de señal, representado por el generador de voltaje 1, cuya impedancia de generador es R_0 , inyecta potencia entre el terminal de entrada 4 y el terminal común 7. La señal alterna generada por el generador 1 tendrá

valores de frecuencia dentro del rango de absorción del agua, de 2 GHz a 130 GHz. La potencia inyectada en el puerto de entrada, compuesto por el terminal de entrada 4 y el plano conductor común 7, se propagará hasta el puerto de salida, compuesto por el terminal de salida 5 y el plano conductor común 7, por lo que el medio a medir, el suelo, tendrá influencia en esta propagación. El medidor de potencia 2, con una impedancia interna R_0 , se conectará al puerto de salida, es decir, entre el terminal de salida 5 y el terminal común 7. Dicho medidor de potencia ofrecerá en su terminal de salida 8 una magnitud útil relacionada con la medida, como puede ser un voltaje proporcional a la potencia registrada.

10

La Fig. 3 incluye un detector de fase 3, que mide el desfase entre la señal procedente del generador 1 y la que entra al medidor de potencia 2, ofreciendo en su terminal de salida 9 una magnitud útil relacionada con dicho desfase, como puede ser un voltaje proporcional al desfase detectado. Estas magnitudes útiles de potencia y desfase son transferidas a un procesador 10, que las procesa para determinar un valor de humedad en el medio 11. Dicho procesador recibe, en un determinado momento, información de la potencia transferida desde el generador 1 al medidor de potencia 2 en el terminal de salida 8 y, opcionalmente, información de desfase en el terminal 9. El procesador 10 convertirá esta información a un valor de humedad. Para realizar esta conversión, hay diferentes opciones. Una de ellas es que el procesador 10 almacene una tabla de correspondencias cuya entrada sea la potencia recibida en el terminal 8 o el desfase recibido en 9 y su salida la humedad correspondiente. Esta tabla debe generarse previamente para cada tipo de medio del que se va a obtener la humedad. Otra opción es que el procesador almacene parámetros físicos de calibración del terreno e implemente una fórmula matemática por la cual, a partir de la potencia recibida en 8 y/o el desfase recibido en 9, junto con los parámetros físicos del medio, calcule el valor de humedad. Esta fórmula matemática puede ser un modelo polinómico que obtenga la humedad en tanto por ciento como: $h = k_0 + k_1 \cdot (v - v_0) + k_2 \cdot (v - v_0)^2 + \dots + k_n \cdot (v - v_0)^n$, siendo v el voltaje (proporcional a la potencia), ofrecido por el medidor de potencia 2 en el terminal 8 y v_0 una constante cuyo valor corresponde al voltaje registrado en el terminal 8 para una humedad del 0%. Los coeficientes k_i están relacionados con las características físicas del medio, de forma que, a partir de varias mediciones de calibración del terreno, tantas como coeficientes k_i se deseen calcular, se obtienen dichos coeficientes k_i y estos quedan almacenados en la configuración del procesador. Teniendo en cuenta que el voltaje en el terminal 8 del medidor de potencia 2 disminuye con la humedad, la aproximación lineal más simple calcula la humedad utilizando $k_0 = 100$ y $k_1 = -100$, de forma que $h = 100 - 100 \cdot (v - v_0)$, expresión que en la práctica funciona

35

aceptablemente como primera aproximación. No obstante, este modelo polinómico no es único y es posible definir fórmulas alternativas basadas en parámetros electromagnéticos del terreno como la constante dieléctrica y la conductividad del medio, parámetros que quedan almacenados en la configuración del procesador. El
5 procesador 10 puede obtener valores de humedad utilizando solo la medida de potencia, solo la medida de desfase, o combinando ambas medidas de potencia y desfase, según se implemente la operación en el procesador.

La Fig. 4 muestra otra posible realización preferente del medidor de humedad
10 siguiendo las mismas convenciones que se han explicado para la Fig. 3. Las únicas diferencias radican en la geometría de los terminales de entrada 4 y de salida 5. En este caso el conductor rectangular asociado al terminal de entrada 4 se puede asimilar a una antena transmisora y el conectado al terminal de salida 5, a una antena receptora. De forma idéntica a como se ha explicado para la Fig. 3, la potencia a
15 transmitir se inyecta en el puerto de entrada, formado por el terminal de entrada 4 y el plano conductor común 7, mientras que la potencia a recibir se medirá en el puerto de salida, formado por el terminal de salida 5 y el plano conductor común 7.

Tanto para la Fig. 3 como para la Fig. 4, la geometría de los elementos que componen
20 el diseño debe elaborarse cuidadosamente, ya que se trata de un diseño de alta frecuencia, con lo cual las características eléctricas, así como las dimensiones de los elementos conductores y dieléctricos empleados influirán en la transferencia de la potencia de unos puntos a otros del circuito. Mencionar que, en la Fig. 4, aunque no
estén unidos los terminales de entrada 4 y de salida 5 por un material conductor, están
25 unidos electromagnéticamente a altas frecuencias.

Para realizar el diseño de forma óptima, se partirá de la especificación de la impedancia del generador R_0 , que supondremos puramente resistiva, de forma que el generador 1 deberá conectarse a una línea de transmisión o guía de onda de
30 impedancia característica R_0 . De esta forma, el voltaje del generador V_g al ser aplicado a través de su impedancia de generador R_0 sobre la línea de impedancia característica R_0 , se convierte en una onda de potencia de valor $P = V_g^2/(4 \cdot R_0)$ que es transportada hasta el puerto de entrada formado por el terminal de entrada 4 y el plano conductor
7. La línea de transmisión puede realizarse con tecnología de microtira (*microstrip*),
35 ajustando la anchura y separación de los elementos conductores en función de la conductividad y constante dieléctrica del substrato con el fin de obtener una impedancia característica de línea de valor R_0 . Las dimensiones de la estructura

conductora comprendida entre los terminales de entrada 4 y de salida 5 deberán ajustarse de forma que la impedancia vista en el puerto de salida, formado por el terminal de salida 5 y el plano conductor 7, en condiciones de ausencia de humedad, se aproxime lo más posible a la impedancia de referencia R_0 . La potencia recibida en el puerto de salida se guiará con otro tramo de línea de transmisión o guía de onda, de impedancia característica R_0 , hasta el medidor de potencia 2, cuya impedancia de entrada coincidirá con la de referencia R_0 . En el caso en el que en alguno de los puntos de interconexión descritos se trabaje con una impedancia diferente a la de referencia R_0 , la potencia transferida desde el generador al medidor de potencia será menor, por lo que se deberán considerar estos efectos o incluir etapas de adaptación de impedancias para maximizar la transferencia de potencia.

Ambas realizaciones admiten variantes en su geometría, pero los conceptos clave de la invención son: el utilizar un puerto de entrada 12 al medio 11 (terminal 4 y plano común 7) al que se va a inyectar potencia en el rango de radiofrecuencias de absorción del agua y un puerto de salida 13 del medio 11 (terminal 5 y plano conductor 7), del cual se va a obtener la lectura de la potencia transferida tras ser afectada por el medio 11, además de obtenerse (opcionalmente) información de fase a través del detector de fase 3.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de voltajes obtenidos en el terminal 8 en una prueba real efectuada con este sistema medidor de humedad. Dichos voltajes son proporcionales a la potencia recibida en el medidor de potencia 2 y entran al procesador 10 para ser transformados en valores de humedad con las operaciones descritas anteriormente.

La gráfica mostrada en la Fig. 6 muestra los valores calculados por el procesador y puesto que se trata de una prueba real, efectuada en un terreno cultivado, puede observarse cómo se va perdiendo humedad a lo largo de varios días, formando un gráfico escalonado descendente si se observa de izquierda a derecha. Esto es debido a que la pérdida de humedad es más acusada durante parte del día (flancos descendentes) que durante la noche (zonas planas del escalón). Este comportamiento se revierte en el momento en que se activa el sistema de riego del terreno, realizando irrigaciones a intervalos regulares que son mostradas como escalones ascendentes e incrementos abruptos de la humedad en forma de picos cada vez que el riego es activado. La activación del riego a lo largo de varios días hace que la humedad del terreno vuelva a ascender, tal y como se muestra en la parte derecha de la Fig. 6.

Habiendo descrito suficientemente con los ejemplos anteriores, diferentes aspectos para llevar a la práctica la invención, se reivindica protección para el siguiente sistema para medir la humedad en un medio.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para medir la humedad en un medio (10) caracterizado por que comprende:
- 5 un generador de voltaje (1) configurado para generar una señal de voltaje de alta frecuencia;
- un medidor de potencia (2) configurado para medir una señal de potencia;
- un puerto de entrada (12) que comprende un terminal de entrada (4) que, en funcionamiento, está dentro del medio (11), donde el terminal de entrada (4) está
- 10 conectado eléctricamente con el generador de voltaje (1) para entregar una señal de potencia de alta frecuencia al medio (10);
- un puerto de salida (13) que comprende un terminal de salida (5) que, en funcionamiento, está dentro del medio (11), donde el terminal de salida (5) está conectado eléctricamente con el medidor de potencia (2) para recibir una señal de
- 15 potencia de alta frecuencia del medio (10);
- un procesador (10) configurado para procesar la señal de potencia entregada al medio (11) y la señal de potencia medida del medio (11) y, en función de dichas señales de potencia, determinar un valor de humedad en el medio (11).
- 20 2. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según la reivindicación 1, que comprende además un detector de fase (3) conectado eléctricamente con el terminal de entrada (4) del puerto de entrada (12) y con el terminal de salida (13) del puerto de salida (13), donde el detector de fase (3) está configurado para medir la diferencia de fase entre señales de ambos terminales, donde el procesador (10) está configurado
- 25 para procesar la diferencia de fase medida por el detector de fase (3) y realizar un ajuste del valor de humedad en el medio (11) adicionalmente en función de la diferencia de fase medida.
3. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según la reivindicación 1 o 2,
- 30 donde el generador de voltaje (1) genera una señal alterna cuyo voltaje promedio es nulo.
4. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el terminal de entrada (4) y el terminal de salida (5) están
- 35 conectados por un material conductor.
5. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las

ES 2 924 949 B2

reivindicaciones 1 a 4, donde el terminal de entrada (4) y el terminal de salida (5) están conectados por un material no conductor.

5 6. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende un plano conductor común (7) conectado eléctricamente con el generador de voltaje (1), con el medidor de potencia (2), con el detector de fase (3), actuando como referencia de voltaje.

10 7. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el procesador comprende una memoria donde se almacena una tabla de correspondencias entre un valor de potencia y un valor de humedad asociado.

15 8. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, que comprende una memoria de correspondencias donde se almacena información entre un valor de desfase y un valor de humedad; donde el procesador (10) está configurado para acceder a la memoria de correspondencias.

20 9. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el procesador (10) está configurado calcular el valor de humedad en función de un conjunto de parámetros físicos del medio (11) y la potencia medida.

25 10. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según la reivindicación 9, donde el procesador (10) está configurado para acceder a una pluralidad de parámetros físicos de calibración del medio (11) y para calcular el valor de humedad, se efectúa la aplicación de una fórmula matemática basada en un modelo polinómico.

30 11. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende un substrato (6) con geometría en punta.

12. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según la reivindicación 11, donde el substrato (6) comprende una cubierta protectora aislante.

35 13. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, donde la señal de voltaje está dentro del rango de frecuencias comprendido entre 2 GHz y 130 GHz.

14. Sistema para medir la humedad en un medio (11) según la reivindicación 13, donde la señal de voltaje es 20 GHz.

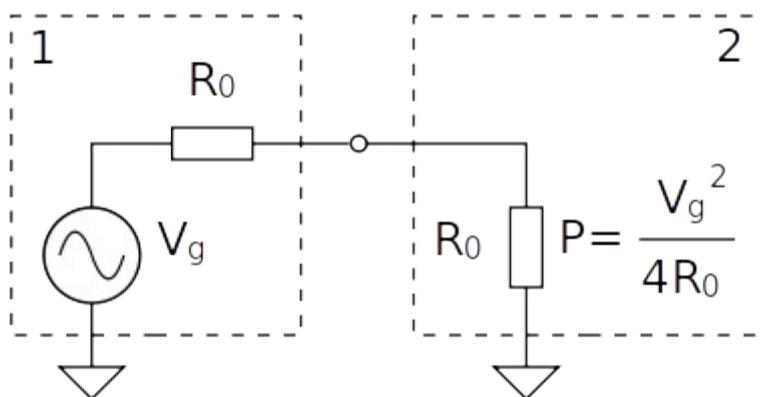


Fig. 1

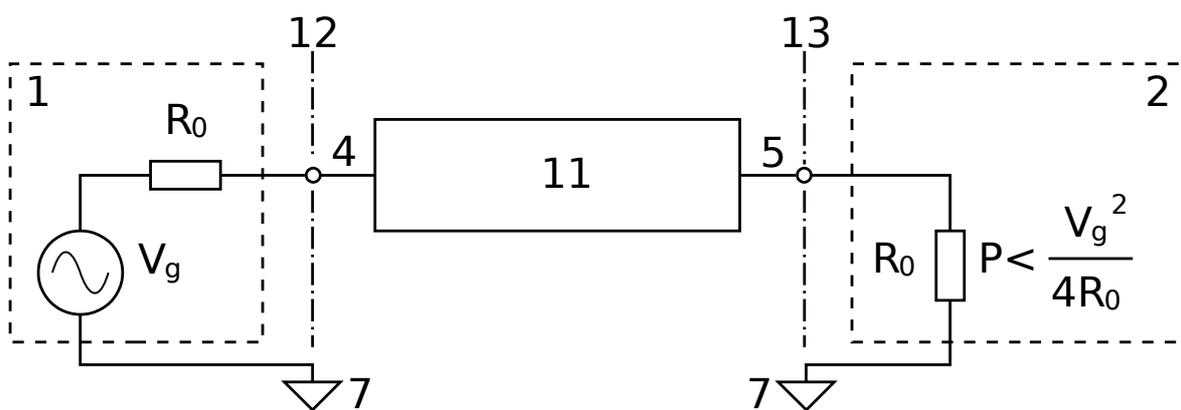


Fig. 2

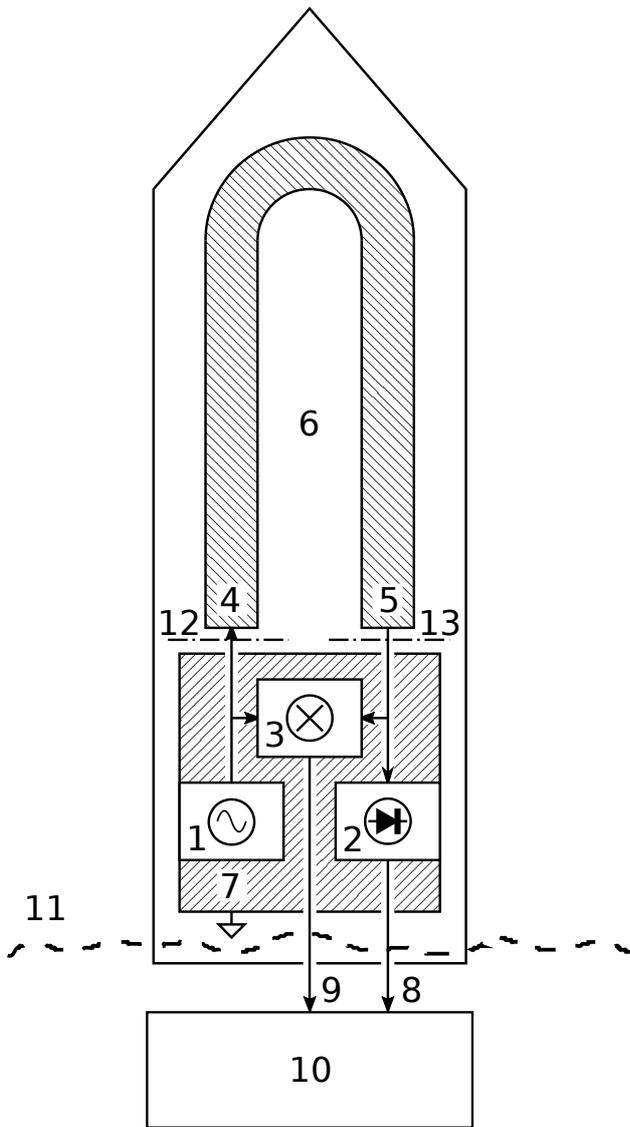


Fig. 3

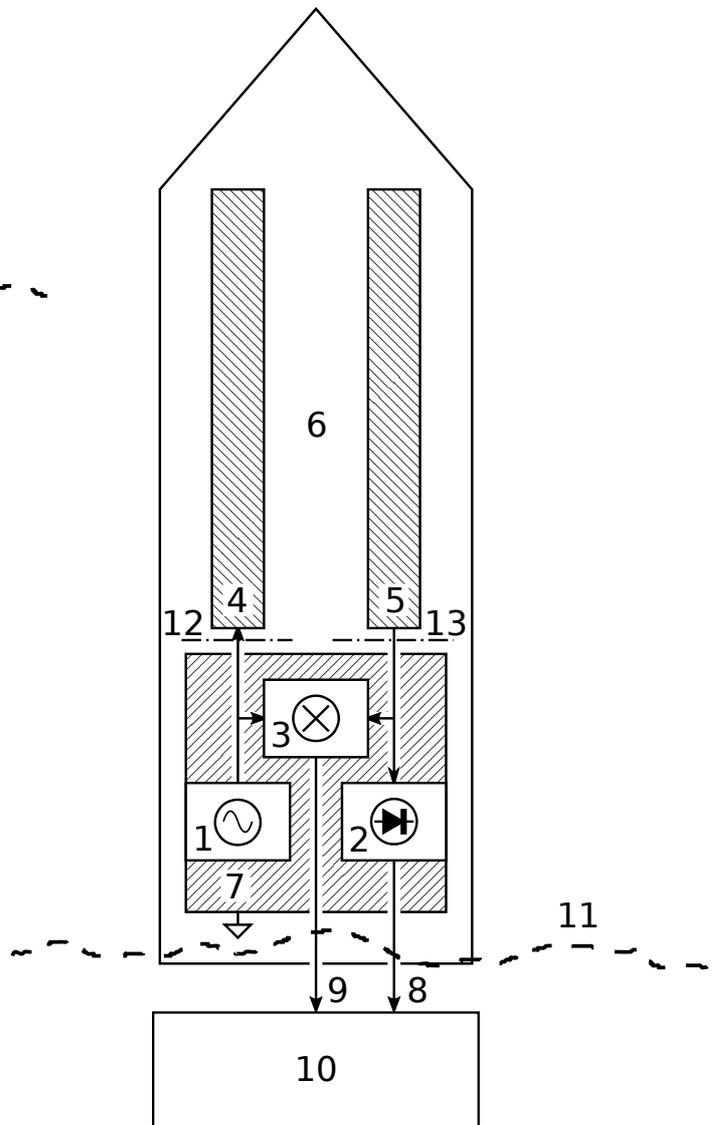


Fig. 4

ES 2 924 949 B2

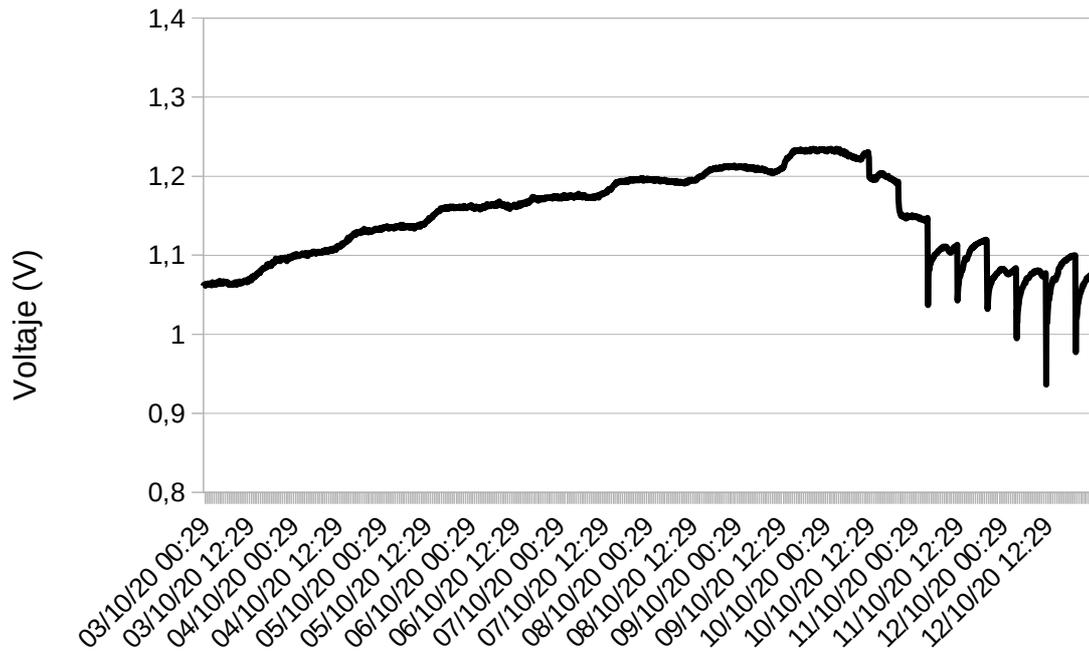


Fig. 5

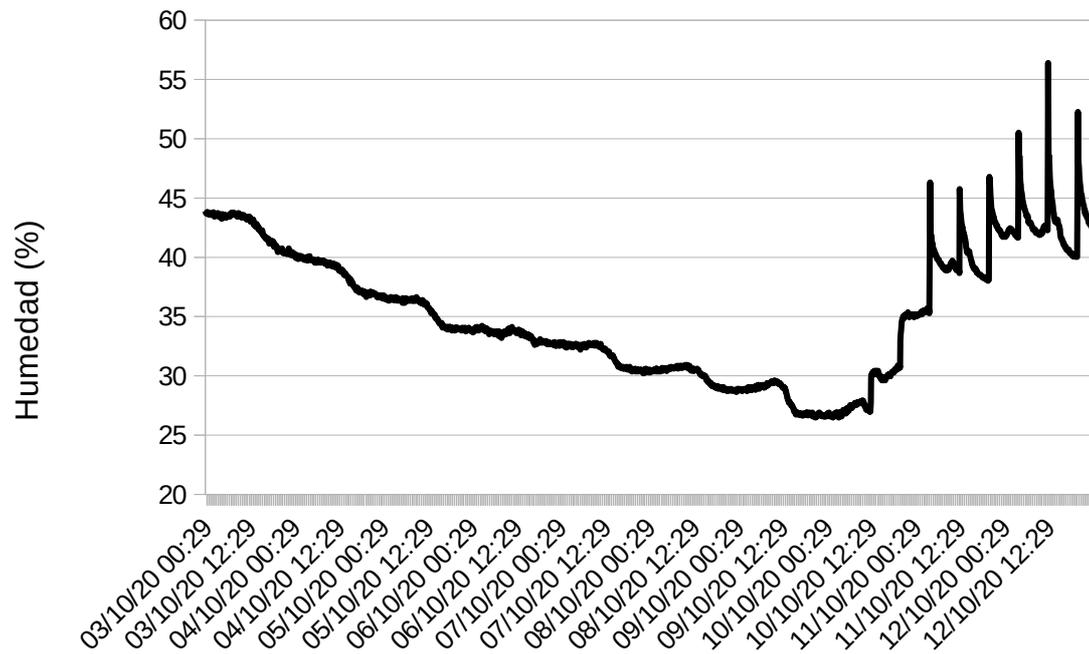


Fig. 6