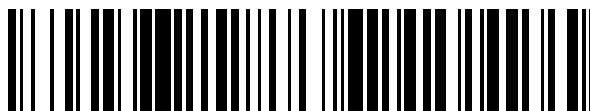


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 753**

51 Int. Cl.:

H02J 50/27 (2006.01)

H02M 1/12 (2006.01)

H02M 7/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2015** **PCT/EP2015/053031**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015** **WO15121388**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2015** **E 15705572 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018** **EP 3108569**

54 Título: **Dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en una corriente continua (antena rectificadora) y sensor correspondiente**

30 Prioridad:

14.02.2014 FR 1451192

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

04.04.2019

73 Titular/es:

INSTITUT MINES-TELECOM (100.0%)
Chez Telecom Bretagne, Technopôle Brest, Iroise
CS 83818
29238 Brest Cedex 3, FR

72 Inventor/es:

KUHN, VÉRONIQUE;
SEGUIN, FABRICE;
LAHUEC, CYRIL y
PERSON, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 707 753 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 de conversión de la energía de radiofrecuencia en una corriente continua (antena rectificadora) y sensor correspondiente

1. Campo del invento

5 El campo del invento es el de la recuperación de energía.

De una manera más precisa, el invento se refiere a una técnica que permite convertir la energía de radiofrecuencia en una corriente continua o en una tensión continua, para alimentar, por ejemplo, circuitos electrónicos.

10 El invento encuentra, especialmente, aplicaciones en el campo de la alimentación de sensores con hilos o sin hilos, por ejemplo, en el campo textil (sensores soportados en la vestimenta de las personas), médico (implantes biomédicos, estimulador cardíaco, termómetros, etc.), en la meteorología (estaciones de meteorología a distancia, termómetros, etc.), del deporte (cardiofrecuenciometría, acelerometría, oximetría, etc.), de la identificación por radiofrecuencia (en inglés, RFID por "Radiofrequency Identification"), de la telefonía móvil (recarga de baterías, etc.) de la vigilancia, etc..

2. Técnica anterior.

15 La disminución en el consumo de los componentes electrónicos ha permitido el relanzamiento de las aplicaciones móviles, tales como los sensores sin hilos. La mayoría de estos sensores, o redes de sensores sin hilos (en inglés WSN por "Wireless Sensor Network"), como los que lleva una persona (en inglés, BSAN, por "Body Sensor Area Network") están alimentados por baterías / pilas. Los sensores sin hilos RFID, que son los utilizados más corrientemente, consumen decenas de microvatios en el modo vigilia y varios centenares de microvatios en el modo activo.

Incluso aunque se han registrado progresos notables en el transcurso de los últimos años, las baterías tienen todavía una duración de vida limitada y su utilización puede ser problemática en función de su accesibilidad y de los problemas de volumen (especialmente, para los implantes médicos sub-cutáneos).

25 Por lo tanto, se busca explorar otras alternativas para alimentar a estos sensores, por ejemplo, recuperando la energía disponible en el entorno medioambiental. De esta manera, los gradientes térmicos, las vibraciones mecánicas, las ondas luminosas o las radiofrecuencias especialmente, constituyen fuentes potenciales de energía para la alimentación de estos sensores.

30 En particular, las fuentes de radiofrecuencia presentan la ventaja de ser omnipresentes en nuestra vida cotidiana, particularmente en el medio urbano. En efecto, una multitud de normas de comunicación sin hilos de nos lleva a una proliferación de los emisores de radio tales como GSM (900 MHz, 1800 MHz), UMTS (2,1 GHz) y Wifi (2,4 GHz). En consecuencia, estas energías de radiofrecuencia, transmitidas en continuo por las redes de telecomunicaciones, se convierten en disponibles en un gran entorno de frecuencias.

35 El objetivo de la recuperación de la energía de las radiofrecuencias es el de convertir la energía procedente de las fuentes medioambientales de radiofrecuencia en tensión y en corriente continuas. El elemento de base que asegura esta conversión se llama convertidor RF-DC, antena rectificadora, o incluso "rectenna", del inglés, "Rectifying Antenna".

La figura 1 presenta así un esquema de principios de un recuperador de energía de radiofrecuencia.

40 Según este esquema, las ondas de radiofrecuencia 11 son recibidas en una antena de recepción 12, y a continuación convertidas en tensión y en corriente continua por un convertidor RF-DC 13. La corriente así generada puede ser utilizada para alimentar a una carga 14, que representa, por ejemplo, a un sensor que alimentar.

45 De una manera más precisa, el convertidor RF-DC 13 incluye un filtro de entrada 131, llamado incluso filtro de radiofrecuencia (RF) o filtro de alta frecuencia (HF), un rectificador 132 y un filtro de salida 133, llamado incluso filtro DC. El filtro de entrada 131 está situado entre la antena de recepción 12 y el rectificador 132. Es un filtro tipo pasa-bajo que se utiliza para bloquear los armónicos indeseables. Se consideran varios tipos de rectificadores en función principalmente de la potencia incidente y de la frecuencia. Con el fin de elegir correctamente una topología, se debe efectuar un compromiso entre la tensión de salida en carga y la eficacia de la conversión, como se describe en el documento "A multi-tone RF energy harvester in body sensor área network context" de V. Kuhn, F. Seguin, C. Lahuec y C. Person conference Loughborough, Novembre 2013.

50 Se han propuesto varios tipos de convertidores RF-DC, adaptados a recibir la energía de radiofrecuencia en una o varias bandas de radiofrecuencia.

De esta manera, se han propuesto, especialmente, circuitos de recuperación de la energía de radiofrecuencia transmitida en una sola banda de frecuencias, utilizando una única antena (por ejemplo, US 2011/0242863 A1 divulga tal sistema, sin embargo, sin posibilidad de activar las etapas de conversión según la frecuencia de entrada).

Sin embargo, se observa que la funcionalidad de tal antena se degrada considerablemente, si la frecuencia de funcionamiento se modifica a partir de la frecuencia de resonancia óptima. De esta manera, un inconveniente de estos circuitos de recuperación de la energía de radiofrecuencia transmitida en una sola banda de frecuencia, utilizando una única rectenna, es que no están adaptados al entorno medioambiental, en el cual las frecuencias dominantes son diferentes según el lugar de utilización de la carga (por ejemplo, según el lugar del sensor).

Se han propuesto igualmente circuitos de recuperación de la energía de radiofrecuencia transmitida en varias bandas de frecuencia. En efecto, se ha demostrado, especialmente, que cuando varias fuentes de energía de radiofrecuencia que emiten en bandas de frecuencia diferentes están disponibles en el entorno medioambiental, la cantidad de energía recolectada puede ser aumentada. De esta manera, como está ilustrado en la figura 2, se han propuesto unas redes de rectennas, en las cuales varias rectennas (funcionando a frecuencias diferentes) están puestas en paralelo. Las salidas DC de cada rectenna son sumadas entre sí de tal manera que aumente la potencia recolectada.

Un inconveniente de estos circuitos de recuperación de la energía de radiofrecuencia transmitida en varias bandas de frecuencia, utilizando varias rectennas en paralelo, es que necesitan utilizar una suma de las tensiones continuas DC aportadas por cada banda de frecuencias. Sin embargo, esta suma, si no se realiza correctamente, puede deteriorar drásticamente la eficacia del circuito.

Se han propuesto varias técnicas para utilizar tal suma de las tensiones continuas DC, utilizando topologías de interconexión en serie o diferencial.

La asociación de rectificadores en serie para efectuar la suma, según una primera estructura ilustrada en la figura 3A, puede presentar una eficacia en la conversión RF/DC superior a la de un circuito con una banda de frecuencias única. Esto es posible, únicamente, si cada ramal de la estructura está en funcionamiento, es decir si las señales de radiofrecuencia son recibidas y tratadas en cada ramal de la estructura. En efecto, si una de las frecuencias no está presente en el ramal destinado a ella, ésta es vista como una carga por el resto del circuito. De esta manera, deteriora las prestaciones globales del circuito.

La utilización de rectificadores del tipo Greinacher para efectuar la suma, según una segunda estructura ilustrada en la figura 3B, permite adicionar las salidas DC sin interferencias de unas con respecto a otras. En efecto, la salida de cada rectificador es diferencial. Por el contrario, un inconveniente de tal estructura es que requiere una potencia incidente mínima de -10 dBm para una arquitectura que utiliza dos rectificadores del tipo Greinacher. Sin embargo, en un medio ambiente urbano, la media de la densidad de potencia de las bandas de frecuencia es muy pequeña, es decir inferior a -10 dBm. De esta manera, este tipo de arquitectura no está adaptada para la conversión de la energía procedente de las fuentes ambientales de radiofrecuencias en corriente continua para la alimentación de cargas.

Existe, por lo tanto, una necesidad de un nuevo circuito de recuperación de la energía de radiofrecuencias transmitida en una o varias bandas de frecuencia que no presente estos inconvenientes de la técnica anterior.

3. Exposición del invento.

El invento propone una solución nueva que no presente el conjunto de inconvenientes de la técnica anterior, bajo la forma de un dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua, recibiendo a la entrada al menos una señal de radiofrecuencia y generando a la salida una corriente continua capaz de alimentar al menos a una carga.

Según el invento, tal dispositivo de conversión incluye al menos dos escalones de conversión que incluye cada uno:

- un módulo de filtración de radiofrecuencias, conectado a un primer núcleo a la entrada del citado escalón de conversión, configurado para filtrar una de las citadas al menos una señal de radiofrecuencia;

- un módulo de decalaje de la tensión, conectado entre un segundo núcleo de entrada del citado escalón de conversión, configurado el citado módulo de filtrado de radiofrecuencias y un núcleo intermedio del citado escalón de conversión, para desplazar una tensión presente al nivel del citado primer núcleo de entrada al citado núcleo intermedio;

- un módulo de rectificación de la tensión, conectado entre el citado núcleo intermedio, el citado segundo núcleo de entrada y un núcleo de salida del citado escalón de conversión, configurado para rectificar la tensión del citado núcleo intermedio y suministrar una tensión rectificada al citado segundo núcleo de salida.

Además, para el primer escalón de conversión, el segundo núcleo de entrada está conectado a una tensión de referencia, y para un escalón de conversión superior (segundo, tercero, etc.), el segundo núcleo de entrada está conectado al núcleo de salida de un escalón de conversión inferior.

Finalmente, la corriente continua es generada en el segundo núcleo de salida del último escalón de conversión.

El invento propone así un nuevo dispositivo para la recuperación de la energía de radiofrecuencias, que permita, especialmente, alimentar dispositivos electrónicos como los sensores.

- En particular, el dispositivo de conversión según el invento incluye varios escalones de conversión. Es capaz de recuperar la energía de radiofrecuencias transmitida en una sola banda de frecuencias, activando un único escalón de conversión (o si está disponible un único escalón de conversión), y de recuperar la energía de radiofrecuencia transmitida en varias bandas de frecuencias activando varios escalones de conversión, uno por cada banda de frecuencias. Se observa que el número de escalones de conversión no está limitado.
- 5 Cuando se activan varios escalones de conversión, el dispositivo de conversión propuesto permite asegurar, especialmente, una suma correcta de las tensiones continuas DC aportadas por cada banda de frecuencias presente. En particular, la estructura propuesta permite sumar las salidas DC de cada escalón de conversión sin interferencias unas con respecto a otras, incluso cuando algunos escalones no estén activos, es decir no recibe ninguna señal de radiofrecuencia.
- 10 Además, el dispositivo de conversión según el invento requiere una potencia incidente más pequeña que los dispositivos de la técnica anterior para poder generar una corriente continua (o de manera equivalente una tensión continua) capaz de alimentar al menos una carga.
- 15 Según un modo de realización particular del invento, el módulo de decalaje de la tensión utiliza un primer condensador, conectado entre el módulo de filtrado y el núcleo intermedio, y un primer diodo, conectado en sentido directo entre el segundo núcleo de entrada y el núcleo intermedio. El módulo de rectificación de la tensión utiliza un segundo condensador, conectado entre el segundo núcleo de entrada y el núcleo de salida, y un segundo diodo, conectado en sentido directo entre el núcleo intermedio y el núcleo de salida.
- 20 De esta manera, cada escalón de conversión utiliza dos diodos en paralelo, montados pies contra cabeza. Debido a esto, es suficiente con disponer de una potencia suficiente para sobrepasar el umbral de un diodo para poder generar una corriente continua capaz de alimentar a al menos una carga. A título de comparación, la utilización de rectificadores del tipo Greinacher para recuperar la energía de radiofrecuencia transmitida en varias bandas de frecuencia se basa en la utilización de varios diodos en serie, que necesitan una potencia incidente mucho más elevada para arrancar el circuito.
- 25 El dispositivo de conversión según el invento funciona, por lo tanto, con unas potencias incidentes más pequeñas que los dispositivos de la técnica anterior.
- Además, el dispositivo de conversión según el invento se basa en la utilización de dos veces menos de componentes que los dispositivos de la técnica anterior, lo que implica menores costes de producción.
- 30 Según un aspecto particular del invento, los componentes (diodos y condensadores) son componentes montados en superficie (CMS). Un dispositivo de conversión de energía según el invento, es, por lo tanto, fácilmente realizable y/o detectable.
- Según una variante, estos componentes pueden estar integrados.
- Tal dispositivo de conversión toma, por lo tanto, la forma de un circuito electrónico, que puede ser imprimido, integrado, etc.
- 35 Según otra característica particular del invento, el primero y segundo diodos presentan valores sensiblemente idénticos.
- De esta manera, en el seno de un mismo escalón de conversión, los dos diodos montados en paralelo, pies contra cabeza, presentan unas tensiones de umbral sensiblemente iguales. Esto permite obtener una simetría al nivel de un escalón de conversión, optimizando la rectificación.
- 40 Según una variante, los diodos en el seno de un mismo escalón de conversión, o en el seno de diferentes escalones de conversión, presentan tensiones de umbral diferentes.
- Por ejemplo, el primero y segundo diodos son diodos Schottky.
- Tales diodos permiten evitar, especialmente, la aparición de capacidades parásitas. Por supuesto que, todo tipo de diodos que presente una baja tensión de umbral puede ser utilizado (por ejemplo, diodo de conexión PN, etc.).
- 45 Según una característica particular del invento, el dispositivo de conversión incluye al menos una antena de recepción de la o de las señales de radiofrecuencia.
- Tal dispositivo puede ser utilizado, en efecto, para recuperar la energía de radiofrecuencia vehiculada en el aire ambiente.
- Por ejemplo, el dispositivo de conversión incluye una única antena de recepción de banda ancha.
- 50 De esta manera, se dispone de una estructura más compacta adaptada, sin embargo, a la recepción de señales de radiofrecuencia disponibles en varias bandas de frecuencia.

Según una variante, el dispositivo de recepción incluye una antena de recepción distinta para cada escalón de conversión, siendo capaz cada antena de recepción de recibir una señal de radiofrecuencia en una banda de frecuencias dada. En este caso, cada antena de recepción puede presentar una banda estrecha.

5 Por ejemplo, el módulo de filtración de radiofrecuencias incluye un filtro de radiofrecuencias que pertenece al grupo que incluye:

- un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia de 900 Mhz;
- un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia de 1800 MHz;
- un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia de 2,1 Ghz;
- un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia de 2,4 GHz.

10 Tal dispositivo de conversión es capaz, de esta manera, de recibir las bandas de frecuencia GSM 900 MHz y/o GSM 1800 MHz y/o UMTS y/o Wifi.

Por supuesto que, pueden ser escuchadas otras bandas de frecuencia (de muy baja frecuencia a muy alta frecuencia) para recuperar la energía de radiofrecuencia de una o varias señales de radiofrecuencia.

15 Según otro modo de realización del invento, la o las señales de radiofrecuencia son recibidos a través de una conexión con hilos.

La presencia de antenas de recepción es, por lo tanto, facultativa. En este caso, la o las señales de radiofrecuencia pueden ser extraídas directamente de la fuente. Por ejemplo, la fuente puede ser una cajera descodificadora del tipo Livebox (marca registrada). El dispositivo de conversión de energía según el invento puede ser conectado directamente a esta cajera descodificadora por una conexión con hilos.

20 El invento se refiere, por otra parte, a un sensor que incluye unos medios de recogida de datos y unos medios de restitución de los datos recogidos. Según el invento, tal sensor incluye igualmente un dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua tal como el descrito precedentemente, que recibe en la entrada al menos una señal de radiofrecuencia y que genera a la salida una corriente continua que alimenta al sensor.

25 Tal sensor podrá por supuesto compartir las diferentes características relativas al dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua según el invento, que pueden ser combinadas o tomadas de manera aislada. De esta manera, las características y ventajas de este sensor son las mismas que las del dispositivo de conversión y no serán detalladas con más amplitud.

4. Lista de las figuras.

30 Otras características y ventajas del invento aparecerán de una manera más clara con la lectura de la descripción que bien a continuación de un modo de realización particular, dado a título de sencillo ejemplo ilustrativo y no limitativo, y de los dibujos anexos, entre los cuales:

-la figura 1, discutida en relación con la técnica anterior, presenta un esquema de principios de un recuperador de la energía de radiofrecuencia;

35 - la figura 2, descrita igualmente en relación con la técnica anterior, ilustra la recuperación de energía en varias bandas de frecuencia;

- las figuras 3A y 3B presentan dos ejemplos de convertidores RF-DC utilizados para la recuperación de energía en varias bandas de frecuencia según la técnica anterior;

- la figura 4 ilustra el principio general de un dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua según el invento;

40 - las figuras 5 y 6 presentan dos ejemplos de dispositivos de conversión de la energía de radiofrecuencia según un modo de realización del invento;

- las figuras 7 y 8 ilustran las prestaciones del invento;

- la figura 9 ilustra un ejemplo de sensor alimentado por un dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua según un modo de realización del invento;

45 5. Descripción de un modo de realización del invento.

5.1 principio general del invento.

El principio general del invento se basa en un nuevo dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua (o de forma equivalente, en tensión continua), que recibe a la entrada al menos una señal de radiofrecuencia y que genera a la salida una corriente continua capaz de alimentar al menos una carga.

5 La estructura particular del dispositivo según el invento permite, especialmente, recuperar la energía de radiofrecuencia presente en una o en varias bandas de frecuencia, y de asegurar una suma de las tensiones DC eficaces cuando se recupera la energía de radiofrecuencia en varias bandas de frecuencia.

En particular, el dispositivo propuesto está formado por uno o varios escalones de conversión, capaz de tratar en cada uno una señal de radiofrecuencia recibida en una banda de frecuencias distinta. La salida diferencial de cada escalón de conversión permite una suma sin pérdida de las tensiones DC generadas.

10 La figura 4 ilustra de una manera más precisa el principio general de un dispositivo de conversión según el invento, bajo la forma de un circuito electrónico.

Tal dispositivo de conversión incluye al menos dos escalones de conversión 41 que incluyen cada uno:

15 -un módulo de filtrado de radiofrecuencia 411, conectado a un primer núcleo de entrada E1 del escalón de conversión 41, configurado para filtrar una señal de radiofrecuencia. Tal módulo de filtrado 411 incluye, por ejemplo, un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia F1. Se utiliza para transmitir un máximo de potencia al resto del circuito en la banda de frecuencias deseada, y bloquear los armónicos no deseados para permitir un rendimiento de conversión óptimo;

20 - un módulo de decalaje de la tensión 412, conectado entre un segundo núcleo de entrada E2 del escalón de conversión 41, el módulo de filtrado de radiofrecuencia 411, y un núcleo intermedio A, configurado para desplazar una tensión presente al nivel del primer núcleo de entrada E1 sobre el núcleo intermedio A del escalón de conversión 41;

- un módulo de rectificación de la tensión 413, conectado entre el núcleo intermedio A, el segundo núcleo de entrada E2, y un núcleo de salida B, configurado para rectificar la tensión del núcleo intermedio A y suministrar una tensión rectificada al núcleo de salida B del escalón de conversión 41.

25 En particular, se observa que el segundo núcleo de entrada E2 está conectado o bien a una tensión de referencia, o bien al núcleo de salida de otro escalón de conversión.

30 Cuando el dispositivo incluye varios escalones de conversión, el segundo núcleo de entrada E2 del primer escalón está conectado a una tensión de referencia, por ejemplo, a la masa o a una referencia 1V, y los segundos núcleos de entrada E2 de los otros escalones están conectados a los núcleos de salida B de los escalones inferiores (el segundo núcleo de entrada del segundo escalón está conectado al núcleo de salida del primer escalón, el segundo núcleo de entrada del i-eme escalón está conectado al núcleo de salida del (i-1)eme escalón, etc.

35 Además, la corriente continua capaz de alimentar a al menos una carga está generada en el núcleo de salida B del escalón de conversión si este núcleo de salida no está conectado a un segundo núcleo de entrada de otro escalón de conversión. En otras palabras, la corriente continua está generada en el núcleo de salida de un escalón de conversión que no está conectado a un segundo núcleo de entrada de otro escalón de conversión.

La figura 5 ilustra la arquitectura de la solución propuesta para un dispositivo de conversión que incluye i escalones de conversión referenciados 51, 52 y 5i.

Cada escalón de conversión está compuesto por un módulo de filtrado, por un módulo de decalaje de la tensión y por un módulo de rectificación de la tensión tales como los descritos precedentemente.

40 El dispositivo de conversión ilustrado en la figura 5 permite generar una corriente continua I_{DC} permitiendo la alimentación de una carga R_L , conectado entre el núcleo de salida B_i del i-eme escalón de conversión 5i y el segundo núcleo de entrada E2(51) del primer escalón de conversión 51, que está conectado a la masa.

45 De una manera más precisa, el primer escalón de conversión 51 incluye dos núcleos de entrada E1(51) y E2(51), un núcleo intermedio A1, y un núcleo de salida B1. El segundo núcleo de entrada E2(51) está conectado a una tensión de referencia, por ejemplo, la masa. Este primer escalón de conversión 51 incluye un primer módulo de filtrado 511, centrado en la frecuencia F1. Si se anota como $V_{rf,1}$ la tensión AC inducida en el primer núcleo de entrada E1(51), en la entrada del módulo de filtrado 511, entonces el módulo de decalaje de la tensión incluye el primer condensador C1,1 y el primer diodo D1,1 desplaza la tensión $V_{rf,1}$ hasta el núcleo intermedio A1. A continuación, el módulo de rectificación de la tensión que incluye el segundo condensador C2,1 y el segundo diodo D2,1 rectifica la tensión en el núcleo intermedio A1 para obtener una tensión continua DC en el núcleo de salida B1, anotada como $V_{out,1}$

El segundo escalón de conversión 52 incluye dos núcleos de entrada E1(52) y E2(52), un núcleo intermedio A2, y un núcleo de salida B2. El segundo núcleo de entrada E2(52) está conectado al núcleo de salida B1 del primer escalón de conversión 51. Este segundo escalón de conversión 52 incluye un segundo módulo de filtrado 521, centrado en la frecuencia F2. Si se anota $V_{rf,2}$ como la tensión AC inducida en el primer núcleo de entrada E1(52), en

la entrada del módulo de filtrado 521, entonces el módulo de decalaje de la tensión que incluye el primer condensador C1,2 y el primer diodo D1,2 desplaza la tensión $V_{rf,2}$ hasta el núcleo intermedio A2. A continuación, el módulo de rectificación de la tensión que incluye al segundo condensador C2,2 y al segundo diodo D2,2 rectifica la tensión en el núcleo intermedio A2 para obtener una tensión continua DC en el núcleo de salida B2, anotada como $V_{out,2}$.

El i-eme escalón de conversión 5i incluye dos núcleos de entrada E1(5i) y E2 (5i), un núcleo intermedio Ai, y un núcleo de salida Bi. El segundo núcleo de entrada E2(5i) está conectado al núcleo de salida B(i-1) del escalón de conversión (i-1). Este (i-1) eme escalón de conversión 5i incluye un i-eme módulo de filtrado 5i1, centrado en la frecuencia Fi. Si se anota $V_{rf,i}$ como la tensión AC inducida en el primer núcleo de entrada E1(5i), en la entrada del módulo de filtrado 5i1, entonces el módulo de decalaje de la tensión que incluye al primer condensador C1,i y al primer diodo D1,i desplaza la tensión $V_{rf,i}$ hasta el núcleo intermedio Ai. A continuación, el módulo de rectificación de la tensión que incluye al segundo condensador C2,i y al segundo diodo D2,i rectifica la tensión en el núcleo intermedio Ai para obtener una tensión continua DC en el núcleo de salida Bi, anotada como $V_{out,i}$.

Según el ejemplo propuesto, el primer escalón de conversión 51 está referenciado con respecto a la masa (segundo núcleo de entrada E2(51) conectado a la masa) y el i-eme escalón de conversión 5i está referenciado con respecto al (i-1) eme escalón de conversión (segundo núcleo de entrada E2(5i) conectado al núcleo de salida del escalón de conversión (i-1)).

Cada escalón de conversión forma, por lo tanto, una antena rectificadora o rectenna.

Se observa que los primeros núcleos de entrada E1(51), E1(52) y E1(5i) de cada escalón de conversión pueden estar conectados cada uno a una antena de recepción distinta, capaz de recibir una señal de radiofrecuencia en la banda de frecuencias asociada al escalón de conversión considerado. Como variante, los primeros núcleos de entrada E1(51), E1 (52) y E1 (5i) de cada escalón de conversión puede ser conectado a una sola antena, por ejemplo, a una antena de banda ancha, capaz de recibir señales de radiofrecuencia en las bandas de frecuencia asociadas a los diferentes escalones de conversión. Se define, de esta manera, una estructura más compacta que una estructura que se base en la utilización de varias antenas de recepción "directivas", adaptadas cada una de ellas a una banda de frecuencia específica. Según, incluso, otra variante, los primeros núcleos de entrada E1(51), E1(52) y E1 (5i) están conectados directamente (por conexión con hilos, por ejemplo) a una o a varias fuentes que generan una señal de radiofrecuencia.

En particular, se observa que si uno o varios escalones de conversión no están alimentados con una tensión $V_{rf,i}$, estos escalones no van a perturbar a los otros escalones de conversión alimentados por una tensión $V_{rf,i}$ gracias a la salida diferencial $V_{out,i}$ de cada escalón de conversión y a los segundos condensadores C2i que mantienen el nivel DC.

La corriente continua I_{DC} está generada en el núcleo de salida Bi del escalón de conversión i, puesto que el núcleo de salida Bi no está conectado a un segundo núcleo de entrada de otro escalón de conversión. La tensión total obtenida V_{DC} es la suma de las contribuciones $V_{out,i}$ de los diferentes escalones de conversión, como se ha demostrado más arriba.

La solución técnica propuesta permite, por lo tanto, tener un sistema de banda ancha y adicionar las tensiones DC obtenidas para cada banda de frecuencias sin pérdidas de tensión en la salida con una potencia incidente pequeña, del orden de -30 dBm. En efecto, el invento requiere dos veces menos de diodos que la utilización de un rectificador del tipo Greinacher. Además. Hay que observar que el número de bandas de frecuencia, es decir el número de escalones de conversión no está limitado.

5.2 Expresión analítica de la solución propuesta

Se presenta a continuación la expresión analítica de la solución propuesta, que permite, especialmente, demostrar que la tensión total obtenida V_{DC} es la suma de las contribuciones $V_{out,i}$ de los diferentes escalones de conversión.

Se considera para ello que cada escalón de conversión está compuesto por un módulo de filtrado, por un módulo de decalaje de la tensión que incluye un primer condensador y un primer diodo, y por un módulo de rectificación de la tensión que incluye un segundo condensador y un segundo diodo.

Se supone que los condensadores (capacidades) del dispositivo de conversión son perfectos y que su funcionamiento es el ideal: dejan pasar la señal de radiofrecuencia y bloquean la corriente continua.

Se supone, por otra parte, que los diodos de un mismo escalón presentan tensiones de umbral similares y que son del tipo diodos Schottky, modelizados por una ley exponencial.

La corriente I_d en los diodos se escribe entonces:

$$I_d = I_s \left(\exp \left(\frac{V_{diodo}}{V_T} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

con:

I_s una constante específica del tipo de diodo considerado;

V_T la tensión umbral del diodo considerado;

V_{diodo} la tensión en los bornes del diodo considerado.

- 5 En la ecuación (1), el término V_{diodo} representa la tensión en los bornes de cada diodo puede escribirse:

$$V_{diodo} = V_{aplicada} + V_{rf} = V_{aplicada} + |V_{rf}| \cos(\omega t) \quad (2)$$

La tensión $V_{aplicada}$ aplicada al diodo teniendo en cuenta que la resistencia en serie R_s del diodo puede expresarse bajo la siguiente forma:

$$V_{aplicada} = V_{polo} - R_s I_{DC} \quad (3)$$

- 10 Se supone que las capacidades C_i actúan como capacidades de desacoplamiento: impiden a la corriente continua circular y afectan poco a la onda incidente de amplitud $V_{rf,i}$ presente en la entrada de cada escalón de conversión, llamada incluso tensión de entrada.

Si todos los diodos son idénticos, su polarización estática V_{polo} está calculada en función de la tensión DC del escalón de conversión precedente.

- 15 Así, se tiene:

$$V_{polo} = -\frac{1}{2}(V_{out,i-1} - V_{out,i}) \quad (4)$$

$$V_{diodo,i} = -V_{out,i-1} - R_s I_{DC} + |V_{rf,i}| \cos(\omega t) \quad (5)$$

El cálculo de la corriente que atraviesa cada diodo puede efectuarse gracias a las funciones de Bessel que permiten el desarrollo del término exponencial:

$$\exp(x \cos(\omega t)) = B_0(x) + 2 \sum B_n(x) \cos(n\omega t) \quad (6)$$

- 20

Así, se puede aislar el término continuo de la corriente que atraviesa los diodos:

$$I_d = I_s \left(\exp\left(\frac{V_{diodo,i}}{V_T}\right) - 1 \right)$$

$$I_d = I_s \left(\exp\left(\frac{V_{aplicada}}{V_T}\right) \exp\left(\frac{|V_{rf,i}| \cos(\omega t)}{V_T}\right) - 1 \right)$$

$$I_d = I_s \left(\exp\left(\frac{V_{aplicada}}{V_T}\right) \left(B_0\left(\frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right) + 2 \sum B_n\left(\frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right) \cos(n\omega t) \right) - 1 \right) \quad (7)$$

Así, se tiene:

$$I_{DC} = I_s \left(\exp\left(\frac{V_{aplicada}}{V_T}\right) \left(B_0\left(\frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right) \right) - 1 \right) \quad (8)$$

- 25 Además, es posible utilizar la expresión aproximada siguiente B_0 :

$$B_0(x) = \frac{\exp(-x^2/2)}{\sqrt{2\pi x}} \quad (9)$$

Se obtiene así la siguiente expresión para la corriente I_{DC} :

$$I_{DC} \approx I_s \left(\exp\left(\frac{V_{aplicada}}{V_T}\right) \frac{\exp\left(\frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right)}{\sqrt{2\pi \frac{|V_{rf,i}|}{V_T}}} \right) \quad (10)$$

La ecuación (10) permite obtener una relación que une el punto de polarización a la salida del dispositivo de conversión con las amplitudes de las tensiones incidentes $|V_{rf,i}|$:

$$\frac{|V_{rf,i}|}{V_T} = \frac{\ln\left(2\pi \frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right)}{2} + \ln\left(\frac{I_{DC}}{I_s}\right) - \frac{V_{polo}}{V_T} + \frac{R_s I_{DC}}{V_T} \quad (11)$$

5 Así:

$$V_{rf,i} - \frac{V_T \ln\left(2\pi \frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right)}{2} = V_T \ln\left(\frac{I_{DC}}{I_s}\right) - \frac{1}{2}(V_{out,i-1} - V_{out,i}) + R_s I_{DC} \quad (12)$$

de donde:

$$\frac{V_{out,i}}{2} + V_T \ln\left(\frac{V_{out,i}}{R_L I_s}\right) + \frac{R_s V_{out,i}}{R_L} = \frac{1}{2} V_{out,i-1} + |V_{rf,i}| - \frac{V_T \ln\left(2\pi \frac{|V_{rf,i}|}{V_T}\right)}{2} \quad (13)$$

10 La ecuación (13) es la expresión analítica que describe el comportamiento del dispositivo de conversión. En efecto, une los parámetros del diodo y la tensión DC de salida $V_{out,i-1}$ de amplitud de la tensión de entrada $V_{rf,i}$ del i-eme escalón de conversión. Esta expresión confirma que las salidas DC de los diferentes escalones de conversión (es decir, de las diferentes rectennas) están correctamente sumadas.

5.3 Resultados de la simulación.

15 La utilización de los dispositivos de conversión que incluyen o bien un escalón de conversión, o bien dos escalones de conversión, o bien tres escalones de conversión, ha sido simulada. La tabla que aparece a continuación presenta las tensiones aplicadas a la entrada /obtenidas a la salida al nivel de los diferentes núcleos del dispositivo de conversión, basándose en las anotaciones de la figura 5:

Número de escalones	Vrf,1 (V)	Vrf,2 (V)	Vrf,3 (V)	Vout,1 (V)	Vout,2 (V)	Vout,3 (V)	V _{DC} (V)
1	0,65			0,86			0,86
2	0,6	0,6		0,75	0,73		1,475
3	0,55	0,55	0,55	0,5	0,8	0,6	1,9

20 Se constata que para un dispositivo de conversión que incluye dos escalones de conversión alimentados cada uno por una misma tensión de entrada ($V_{rf,1} = V_{rf,2}$), la tensión de salida total V_{DC} , dos veces más elevada que la tensión de salida del primer escalón de conversión $V_{out,1}$

25 La figura 6 ilustra de una manera más precisa un ejemplo de circuito eléctrico para la simulación de la conversión de la energía de radiofrecuencia transportada en dos bandas de frecuencia distintas. El dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua ilustrada en la figura 6 incluye, por lo tanto, dos escalones de conversión. Por ejemplo, el primer escalón de conversión 61 incluye un filtro de radiofrecuencias 611 centrado en la frecuencia 0,9 GHz, que permite recuperar la energía emitida en la banda GSM900, un módulo de decalaje de la tensión 612 que incluye un primer condensador C1,1 u un primer diodo D1,1, y un módulo de rectificación de la tensión 613 que incluye un segundo condensador C2,1 y un segundo diodo D2,1. El segundo escalón de conversión 62 incluye un filtro de radiofrecuencia 621 centrado en la frecuencia 2,1 GHz, que permite recuperar la energía emitida en la banda UMTS2100, un módulo de decalaje de la tensión 622 que incluye un primer condensador C1,2 y un primer diodo D1,2 y un módulo de rectificación de la tensión 623 que incluye un segundo condensador C2,2 y un

segundo diodo D2,2. Los valores de los diodos y de los condensadores pueden ser elegidos en función de la carga que se desea alimentar. Por ejemplo, los diodos D1,1, D2,1, D2,1 y D2,2 presentan una tensión de umbral del orden de 150 mV y los condensadores presentan un valor del orden de 15 pF para los primeros condensadores C1,1,y C1,2 y 68 pF para los segundos condensadores C2,1 y C2,2.

5 La figura 7 ilustra una tensión de salida V_{DC} obtenida a la salida del dispositivo de conversión de la figura 6, en función de la potencia incidente P_{in} , cuando:

-solo está activado el primer escalón de conversión 61 (es decir, cuando se recibe una señal de radiofrecuencia únicamente en la banda de frecuencias alrededor de la frecuencia central 0,9 GHz), curva 71;

10 - cuando solo está activado el segundo escalón de conversión 62 (es decir, cuando se recibe una señal de radiofrecuencia únicamente en la banda de frecuencias alrededor de la frecuencia central 2,1 GHz), curva 72;

- los dos escalones 61 y 62 están activados (es decir, cuando se reciben las señales de radiofrecuencia en las dos bandas de frecuencia), curva 73.

15 Cuando los dos escalones reciben una potencia incidente superior a -30 dBm, la tensión de salida V_{DC} obtenida a la salida del dispositivo de conversión está doblada con respecto a la tensión de salida V_{DC} obtenida cuando solo un escalón recibe una potencia incidente superior a -30 dBm (es decir, solo está activada una banda de frecuencias).

La figura 8 ilustra la eficacia de conversión de radiofrecuencia en corriente continua, en porcentaje, del dispositivo de conversión de la figura 6, en función de la potencia incidente P_{in} , cuando:

-solo está activado el primer escalón de conversión 61 (es decir, cuando se recibe una señal de radiofrecuencia únicamente en la banda de frecuencias alrededor de la frecuencia central 0,9 GHz), curva 81;

20 - cuando solo está activado el segundo escalón de conversión 62 (es decir, cuando se recibe una señal de radiofrecuencia únicamente en la banda de frecuencias alrededor de la frecuencia central 2,1 GHz), curva 82;

- cuando están activados los dos escalones de conversión 61 y 62 (es decir, cuando se reciben unas señales de radiofrecuencias en las dos bandas de frecuencia), curva 83.

25 Se constata de nuevo que cuando los dos escalones reciben una potencia incidente superior a -30 dBm, el rendimiento es doble con respecto al rendimiento obtenido cuando solo un escalón recibe una potencia incidente superior a -30 dBm (es decir, cuando solo está activada una banda de frecuencias).

Estas curvas de prestaciones confirman que las tensiones medidas respectivamente a 0,9 y a 2,1 GHz están correctamente sumadas y que no interfieren unas en otras, es decir, que la salida de un escalón de conversión no interfiere con la salida del otro escalón de conversión.

30 Por ejemplo, si el dispositivo de conversión según el invento está situado a 1 metro de las fuentes de radiofrecuencias en marcha, la potencia recuperada es del orden de 15 μ W. Sin embargo, es posible calcular la potencia incidente a la entrada del rectificador en función de la relación de Friis. Se obtiene una potencia incidente total del orden de 50 μ W. De esta manera, el rendimiento del dispositivo de conversión según el invento es del orden del 30%, mientras que para una sola banda de frecuencias es del orden del 15%. Se observa, por lo tanto, una ganancia en el rendimiento con un dispositivo de conversión que utiliza varios escalones de conversión.

35 El dispositivo de conversión según el invento presenta, por lo tanto, unas prestaciones mejoradas con respecto a las técnicas de la técnica anterior, en términos de tensión DC de salida, de eficacia de conversión RF-DC o bien de la potencia mínima requerida para arrancar el circuito. Además, las contribuciones DC de cada banda de frecuencias/escalón de conversión no se ven perturbadas unas con respecto a otras.

40 En particular, con respecto a los rectificadores del tipo Greinacher según la técnica anterior, la activación del circuito según el invento requiere una potencia mínima del orden de -30 dBm mientras que los rectificadores según la técnica anterior requieren una potencia mínima del orden de -10 dBm. Así, con una potencia equivalente, la eficacia de conversión del circuito según el invento es seis veces más elevada que la de los sistemas de la técnica anterior. Además, el circuito según el invento se basa en la utilización de dos veces menos de componentes que as

45 arquitecturas existentes, lo que implica menores costes de producción.

La corriente generada I_{DC} a la salida del dispositivo de conversión, o de manera equivalente la tensión V_{DC} generada en la salida del dispositivo de conversión, puede ser utilizada para alimentar una carga, por ejemplo, un sensor de temperatura.

50 Una de las ventajas del invento reside, por lo tanto, en el hecho de que permite alimentar directamente unos dispositivos electrónicos con la energía medioambiental, y puede, especialmente, ser utilizada para recargar una pila/batería de tal dispositivo electrónico.

La figura 9 ilustra un ejemplo de aplicación del invento, para la alimentación de un sensor, por ejemplo, un termómetro. Como está ilustrado en esta figura, tal sensor incluye unos medios de recogida de datos 91, unos medios de restitución de los datos recogidos 92 y un dispositivo de conversión 93 de la energía de radiofrecuencia en corriente continua tal como se ha descrito anteriormente.

- 5 En particular, como ya se ha indicado, el invento encuentra aplicaciones, especialmente, en el campo de la alimentación de sensores con hilos, por ejemplo, en el campo textil, médico, de la meteorología, del deporte, de la identificación por radiofrecuencia, de la telefonía, de la vigilancia, etc.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de conversión de la energía de radiofrecuencia en corriente continua, recibiendo en la entrada al menos una señal de radiofrecuencia y generando en la salida una corriente continua capaz de alimentar al menos una carga, caracterizado por que el dispositivo de conversión incluye al menos dos escalones de conversión (41) que incluye cada uno:
 - un módulo de filtrado de radiofrecuencia (411), conectado a un primer núcleo de entrada (E1) del citado escalón de conversión, configurado para filtrar una de las citadas al menos una señal de radiofrecuencia;
 - un módulo de decalaje de la tensión (412), conectado entre un segundo núcleo de entrada (E2) del citado escalón de conversión, configurado el citado módulo de filtrado de radiofrecuencia (411) y un núcleo intermedio (A) del citado escalón de conversión, para desplazar una tensión presente al nivel del primer (E1) núcleo de entrada al citado núcleo intermedio (A);
 - un módulo de rectificación de la tensión (413), conectado entre el citado núcleo intermedio (A), el citado núcleo de entrada (E2) y un núcleo de salida (B) del citado escalón de conversión, configurado para rectificar la tensión del citado núcleo intermedio (A) y proporcionar una tensión rectificada en el citado núcleo de salida (B);
- y por que, para el primer escalón de conversión, en citado núcleo de entrada (E2) está conectado a una tensión de referencia, y para un escalón de conversión superior, el citado segundo núcleo de entrada (E2) está conectado al núcleo de salida de un escalón de conversión inferior, y por que la citada corriente continua es generada en el núcleo de salida (B) del último escalón de conversión.
2. Dispositivo de conversión según la reivindicación 1, caracterizado por que el citado módulo de decalaje de la tensión (412) utiliza un primer condensador (C1,i), conectado entre el citado módulo de filtrado y el citado núcleo intermedio, y un primer diodo (D1,i), conectado en sentido directo entre el citado segundo núcleo de entrada y el citado núcleo intermedio, y por que el citado módulo de rectificación (413) de la tensión utiliza un segundo condensador (C2,i), conectado entre el citado segundo núcleo de entrada y el citado núcleo de salida, y un segundo diodo (D2,i), conectado en sentido directo entre el citado núcleo intermedio y el citado núcleo de salida.
3. Dispositivo de conversión según la reivindicación 2, caracterizado por que el primero y el segundo diodos y los citados primero y segundo condensadores son unos componentes montados en superficie.
4. Dispositivo de conversión según una cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, caracterizado por que los citados primero y segundo diodos presentan unos valores sensiblemente idénticos.
5. Dispositivo de conversión según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que los citados primero y segundo diodos son diodos Schottky.
6. Dispositivo de conversión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que incluye al menos una antena de recepción de la citada al menos una señal de radiofrecuencia.
7. Dispositivo de conversión según la reivindicación 6, caracterizado por que la citada antena de recepción es una antena de banda ancha.
8. Dispositivo de conversión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el citado módulo de filtrado de radiofrecuencias incluye un filtro de radiofrecuencias que pertenece al grupo que incluye:
 - un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia 900 MHz;
 - un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia 1800 MHz;
 - un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia 2,1 GHz;
 - un filtro pasa-banda centrado en la frecuencia 2,4 GHz.
9. Dispositivo de conversión según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que la citada al menos una señal de radiofrecuencia es recibida a través de una conexión con hilos.
10. Sensor que incluye unos medios de recogida de datos (91) y unos medios de restitución de los datos recogidos (92) caracterizado por que incluye igualmente un dispositivo de conversión (93) de la energía de radiofrecuencia en una corriente continua según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

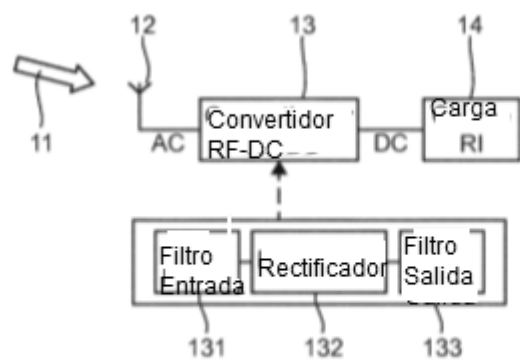


Fig. 1

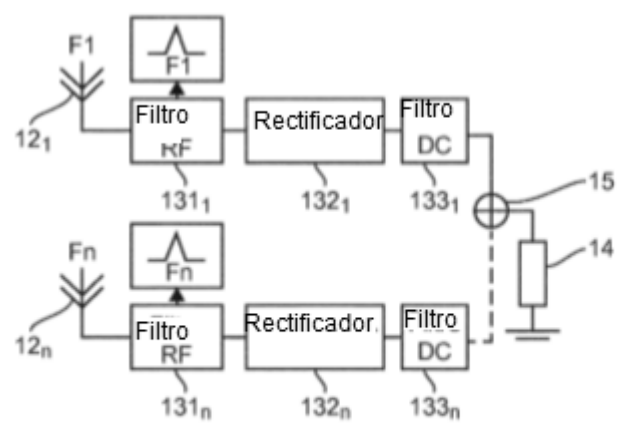


Fig. 2

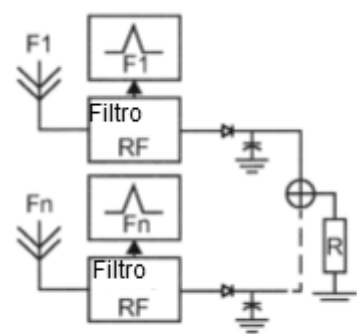


Fig. 3A

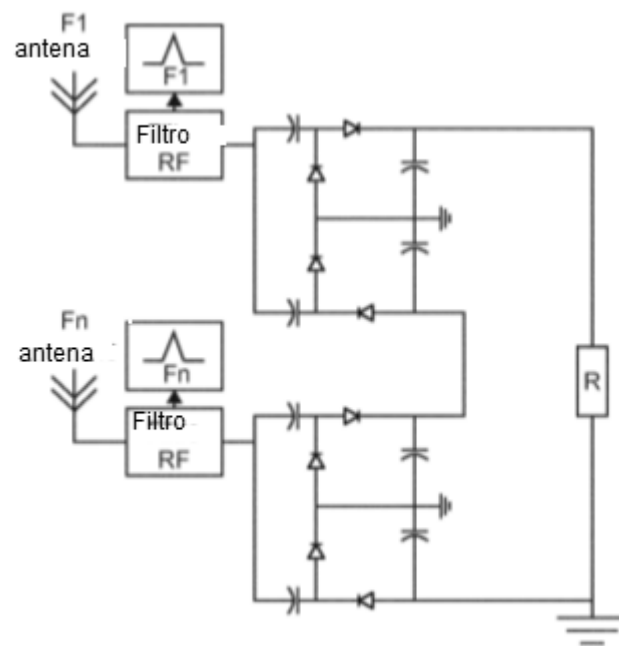


Fig. 3B

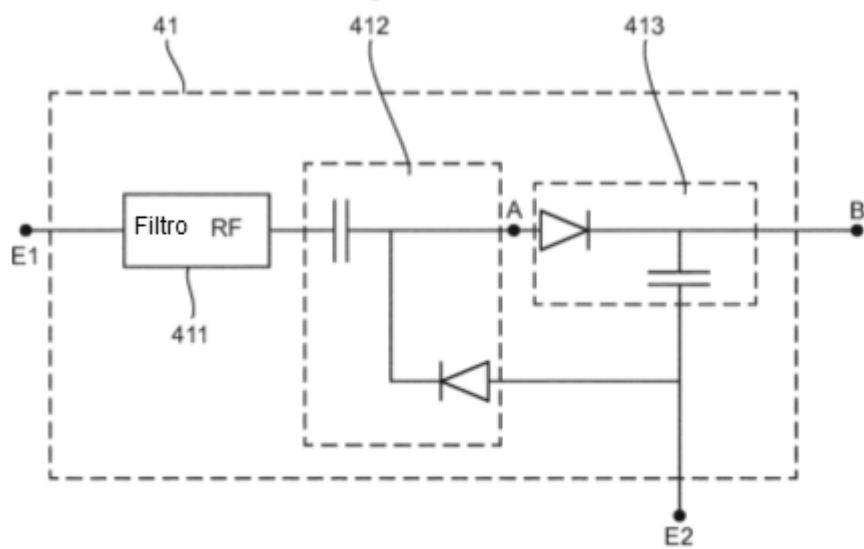


Fig. 4

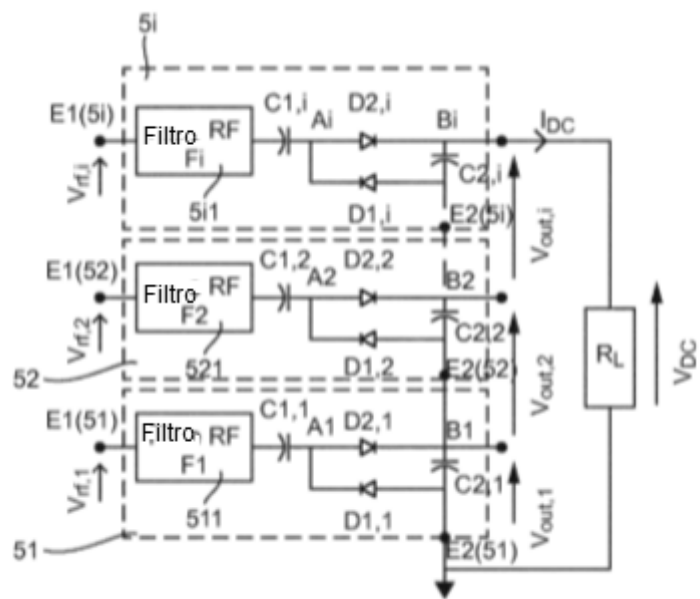


Fig. 5

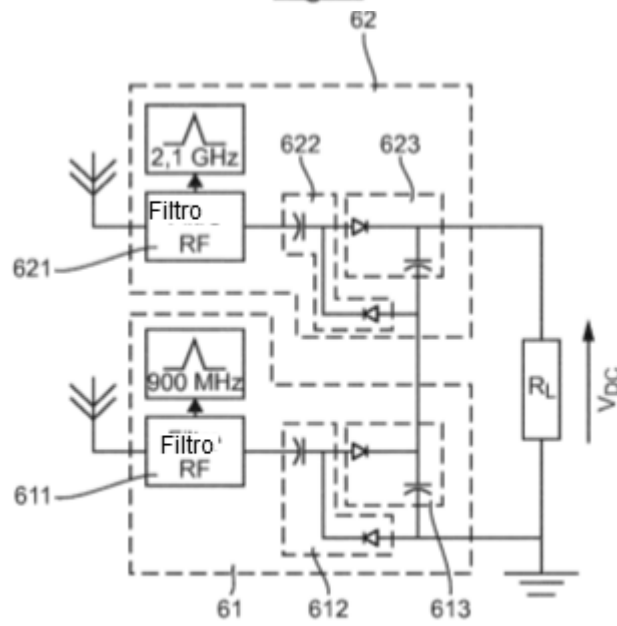


Fig. 6

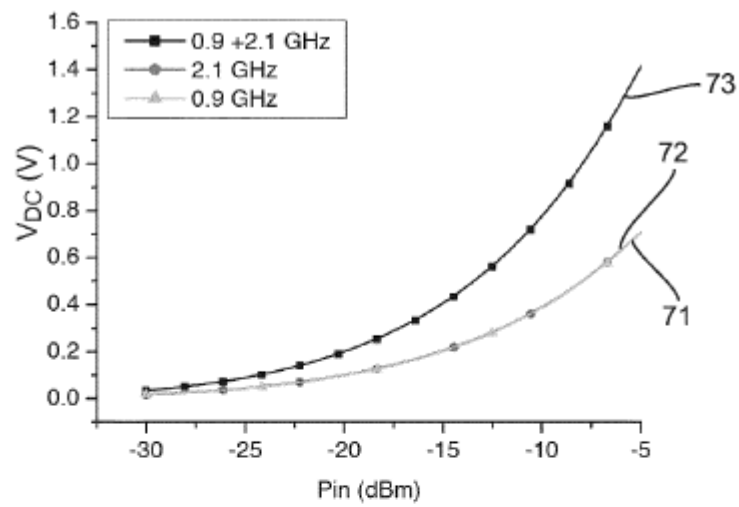


Fig. 7

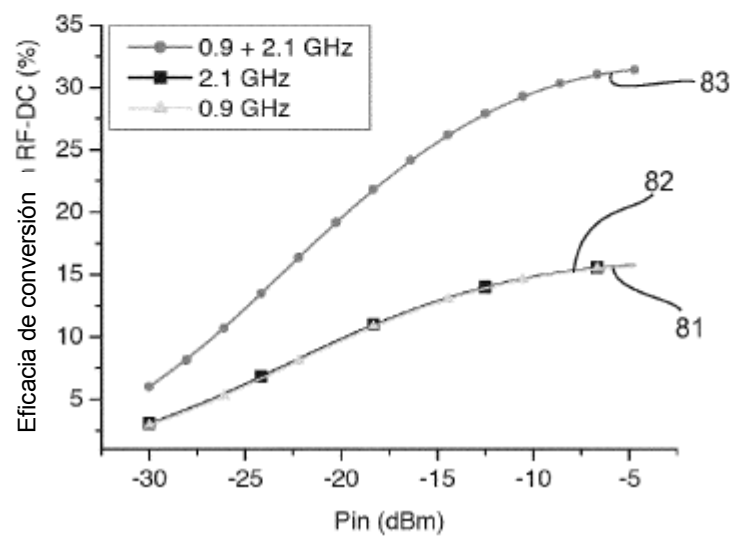


Fig. 8

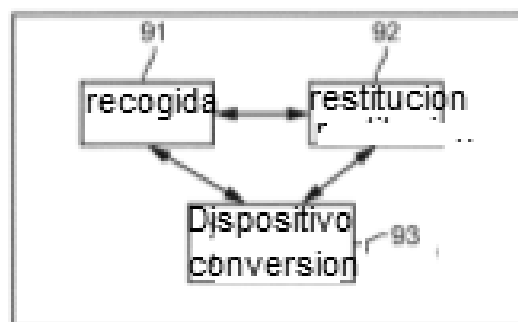


Fig. 9