

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 228**

51 Int. Cl.:

**H01Q 1/38** (2006.01)

**H01Q 9/30** (2006.01)

**H01Q 19/26** (2006.01)

**H01Q 19/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2020 PCT/EP2020/057049**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.09.2020 WO20187821**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2020 E 20710525 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2023 EP 3942649**

54 Título: **Antena directiva compacta, dispositivo que comprende dicha antena**

30 Prioridad:

**19.03.2019 FR 1902798**

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

**19.04.2024**

73 Titular/es:

**UNABIZ (100.0%)  
425 rue Jean Rostand  
31670 Labège, FR**

72 Inventor/es:

**MEHUT, YANN**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 966 228 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**

Antena directiva compacta, dispositivo que comprende dicha antena

Campo de la invención

5 La presente invención pertenece al campo de las antenas directivas compactas. En particular, la invención se refiere a una antena directiva compacta adecuada para geolocalizar objetos conectados que emiten señales radioeléctricas, así como a un dispositivo que utiliza dicha antena.

Estado de la técnica

10 Desde hace varios años, la miniaturización de antenas ha sido el objeto de numerosos trabajos de investigación y desarrollo. Las soluciones actuales se basan en diferentes técnicas sujetas a diferentes limitaciones físicas. También, estas soluciones suelen ser el resultado de un compromiso entre directividad, tamaño, eficiencia de radiación y ancho de banda.

15 El tamaño de una antena depende generalmente de la longitud de onda para la que la antena está diseñada: cuanto menor es la frecuencia de trabajo, mayor es la longitud de onda asociada y mayores son las dimensiones de una antena adecuada para esta frecuencia de trabajo. Además, RF Harrington demostró en 1959 que una antena cuyas dimensiones pueden englobarse en una esfera de radio R tiene una directividad proporcional a  $(R^2 + 2R)$ . En otras palabras, cuanto más compacta es la antena, más reducida es su directividad.

Por tanto, se entiende que es difícil diseñar e integrar una antena que presente una gran directividad en objetos conectados de pequeños tamaños, en particular para frecuencias inferiores a un gigahercio.

20 Una solución existente para crear una antena directiva consiste en disponer varios elementos de antena unitarios en red. Uno solo de estos elementos, denominado "elemento radiador", está alimentado eléctricamente. Los otros elementos, denominados "elementos parásitos", están alimentados por inducción mutua. El campo electromagnético irradiado por la antena en una dirección determinada corresponde a la suma de los campos irradiados por cada uno de los elementos. Colocando correctamente los diferentes elementos entre sí, es posible enfocar la potencia irradiada por la antena en una dirección privilegiada y por tanto aumentar la directividad de la antena. Generalmente, los diferentes elementos de la red son de la misma naturaleza y presentan formas y dimensiones similares. Se trata, por ejemplo, de dipolos eléctricos, que pueden estar formados por barras o cintas metálicas. El ejemplo más conocido de una antena de este tipo es la antena Yagi-Uda (con el nombre de sus inventores, Hidetsugu Yagi y Shintaro Uda).

25 Sin embargo, para frecuencias de trabajo inferiores a un gigahercio, una antena de este tipo no presenta generalmente un rendimiento satisfactorio ni en términos de directividad, ni de eficiencia de radiación ni de compacidad. En particular, para una frecuencia de trabajo de aproximadamente 870 MHz, parece difícil obtener una antena de este tipo que presente a la vez una directividad superior a 8 dBi, una eficiencia de radiación superior a -3 dB y una dimensión mayor de la antena inferior a veinte centímetros.

30 Las dimensiones de un dispositivo de emisión o de recepción que utiliza una antena de este tipo dependen no sólo de las dimensiones de la antena, sino también de las dimensiones de la placa electrónica que incorpora los diferentes componentes electrónicos del dispositivo. Esta placa electrónica está generalmente conectada a la antena y debe colocarse de manera que no perturbe las prestaciones de la antena. Esto generalmente contribuye a unas dimensiones relativamente grandes del dispositivo de emisión o de recepción.

35 La solicitud de patente JP 2015220738 A describe una antena que comprende un primer elemento de antena que comprende un monopolo alimentado eléctricamente (elemento 30 en la figura 1), un bucle colocado en un campo cercano al monopolo (elemento 50A en la figura 9) y un plano de tierra (elemento 20 en la figura 1), así como un segundo elemento de antena que toma del mismo modo una forma de bucle (elemento 50B en la figura 9). El plano de tierra y el monopolo están formados en un mismo plano, mientras que los bucles están dispuestos ortogonalmente a dicho plano.

Descripción de la invención

45 La presente invención tiene como objetivo remediar total o parcialmente los inconvenientes de la técnica anterior, en particular los descritos anteriormente, proponiendo una antena que presenta buenas prestaciones tanto en términos de directividad como de eficiencia de radiación y de compacidad. La antena según la invención presenta además la posibilidad de integrar los componentes electrónicos de un dispositivo de recepción directamente o bien en un plano de tierra de la antena o bien en una placa de circuito impreso situada frente y en las proximidades del plano de tierra de la antena. Esto permite limitar las dimensiones del dispositivo de recepción, evitando al mismo tiempo perturbar el rendimiento de la antena.

50 Como recordatorio, la directividad de una antena en una dirección es la relación entre la densidad de potencia superficial irradiada por la antena en esta dirección a una distancia determinada y la densidad de potencia que sería irradiada por una antena isotrópica que irradia la misma potencia total. La directividad no tiene unidad, generalmente

5 se expresa en decibelios isotrópicos (dBi). Por abuso del lenguaje, generalmente se entiende por “directividad de una antena” el valor de la directividad de la antena en la dirección en la que la directividad es máxima. La eficiencia de radiación de una antena se define por la relación entre la potencia irradiada y la potencia inyectada en la entrada de la antena. Este parámetro refleja las pérdidas presentes en la antena. La ganancia de una antena en una dirección determinada es el producto entre la directividad de la antena en esa dirección y la eficiencia de radiación de la antena.

10 Según un primer aspecto, la presente invención propone una antena directiva que comprende una serie de elementos de antena unitarios. La red comprende un elemento de antena activo, denominado “elemento radiador”, destinado a estar conectado eléctricamente a una fuente o a un receptor de radiofrecuencia y al menos un elemento de antena pasivo alimentado por inducción mutua, denominado “elemento parásito”. El elemento radiador es una antena con resonador parásito que comprende un monopolo, un plano de tierra y una célula parásita colocada en el campo cercano del monopolo.

15 Una antena de este tipo se distingue de las antenas del estado de la técnica por el hecho de que el elemento radiador presenta una naturaleza diferente a la de los elementos parásitos. De hecho, el elemento radiador presenta un comportamiento de un dipolo magnético, mientras que los otros elementos de la red se comportan como dipolos eléctricos. La antena según la invención es particularmente eficiente en términos de directividad y eficiencia de radiación, al mismo tiempo que permanece muy compacta. Además, la presencia de un plano de tierra, generalmente no buscado en este tipo de antena, puede permitir ventajosamente integrar todos o parte de los módulos electrónicos de un dispositivo emisor y/o receptor que comprende dicha antena.

20 En modos de realización particulares, la invención también puede comprender una o más de las características siguientes, tomadas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En modos de realización particulares, el elemento radiador y dicho al menos un elemento parásito de la red están formados en el mismo plano. El uso de una red plana permite limitar el volumen ocupado por la antena.

25 En modos de realización particulares, la red comprende al menos un elemento parásito de tipo reflector y al menos un elemento parásito de tipo director. Un elemento reflector y un elemento director están alineados con el elemento radiador, a ambos lados del elemento radiador, según un eje de la red correspondiente a una dirección en la que la ganancia de la antena es máxima. La presencia de al menos un elemento reflector y de al menos un elemento director permite mejorar las prestaciones de la antena en términos de directividad.

30 En modos de realización particulares, la antena comprende tres elementos parásitos que incluyen un elemento reflector y dos elementos directores, cada elemento parásito el cual está formado por un dipolo eléctrico plegado en forma de meandros. El hecho de doblar las ramas de los dipolos eléctricos en forma de meandros permite limitar las dimensiones de la antena.

En modos de realización particulares, el monopolo está destinado a estar conectado eléctricamente a la fuente o al receptor de radiofrecuencia y la célula parásita del elemento radiador adopta la forma de un bucle abierto.

35 En modos de realización particulares, la frecuencia de trabajo de la antena es inferior a un gigahercio, la red de elementos presenta una longitud inferior a veinte centímetros y una anchura inferior a diez centímetros y la antena presenta un valor máximo de directividad superior a 8 dBi y una eficiencia de radiación superior a -3 dB.

40 En modos de realización particulares, el plano de tierra del elemento radiador comprende pistas eléctricas para un circuito electrónico de un dispositivo de emisión o de recepción, dichas pistas eléctricas que están grabadas dentro del plano de tierra. El hecho de integrar la electrónica del dispositivo de emisión o de recepción en el plano de tierra permite limitar las dimensiones de dicho dispositivo.

Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo emisor o receptor que comprende una antena directiva según uno cualquiera de los modos de realización anteriores.

En modos de realización particulares, el dispositivo emisor o receptor comprende además un circuito electrónico situado enfrente al plano de tierra del elemento radiador de la antena.

45 Un circuito electrónico de este tipo corresponde a un conjunto de componentes electrónicos de al menos un módulo electrónico del dispositivo de recepción. Los diferentes componentes electrónicos generalmente se interconectan con la ayuda de un circuito impreso sobre una placa de circuito impreso (PCB, para “*Printed Circuit Board*” en inglés).

#### Presentación de las figuras

50 La invención se comprenderá mejor a partir de la lectura de la siguiente descripción, dada a título de ejemplo en ningún caso limitativo y realizada con referencia a las figuras 1 a 8 que representan:

Figura 1: una representación esquemática de una primera cara de una placa de circuito impreso en la que se realiza un modo de realización particular de una antena según la invención,

Figura 2: una representación esquemática de la otra cara de la placa de circuito impreso representado en la figura 1,

Figura 3: un modo de realización particular de la célula parásita del elemento radiador de la antena según la invención,

Figura 4: otro modo de realización particular de la célula parásita,  
 Figura 5: otro modo de realización particular de la célula parásita,  
 Figura 6: otro modo de realización particular de la célula parásita,  
 Figura 7: un diagrama de radiación de la antena según la invención para un modo de realización particular,  
 5 Figura 8: un diagrama de radiación de la antena según la invención para otro modo de realización particular,  
 Figura 9: una representación detallada del plano de tierra del elemento radiador de la antena según un modo de realización particular.

En estas figuras, referencias idénticas de una figura a otra designan elementos idénticos o similares. Por razones de claridad, los elementos representados no están necesariamente a una misma escala, salvo que se mencione lo contrario.

Descripción detallada de un modo de realización de la invención

La figura 1 representa esquemáticamente un modo de realización particular de una antena 10 según la invención.

Tal como se ilustra en la figura 1, en el ejemplo considerado la antena 10 comprende una red 12 de cuatro elementos unitarios de antena. La red 12 es una red plana. En otras palabras, todos los elementos de antena que forman la red 12 están dispuestos en un mismo plano. Esto permite limitar el volumen ocupado por la antena 10 y, por consiguiente, limitar las dimensiones del dispositivo receptor que incorpora la antena 10. Por ejemplo, los diferentes elementos de antena están dispuestos sobre una placa 11 de circuito impreso (PCB por "*Printed Circuit Board*" en la literatura anglosajona).

Cuando la antena 10 funciona en emisión, uno de los elementos, denominado "elemento 20 radiador", es alimentado eléctricamente por una fuente de RF, es decir por una corriente eléctrica que oscila a la frecuencia de una onda radioeléctrica. Se entiende por "onda radioeléctrica" una onda electromagnética cuya frecuencia varía desde unos pocos Hercios (Hz) hasta varios cientos de Gigahercios (GHz). Esta corriente se transporta, por ejemplo, entre la fuente y la antena mediante un cable de alimentación (por ejemplo, un cable coaxial). La fuente de RF y el cable de alimentación no se representan en las figuras. Cuando la antena 10 funciona en recepción, el elemento 20 radiador está conectado eléctricamente a un receptor de RF. La corriente eléctrica inducida por el campo electromagnético observado a nivel del elemento 20 radiador puede convertirse por tanto en una señal eléctrica y luego amplificarse a nivel del receptor de RF. También en este caso, la conexión entre la antena 10 y el receptor de RF puede realizarse, de manera convencional, mediante un cable coaxial.

Los otros tres elementos, denominados "elementos 30 parásitos" no están alimentados eléctricamente. Se trata de elementos pasivos alimentados por acoplamiento por inducción mutuo. Este tipo de red 12 en la que se alimenta eléctricamente un único elemento permite limitar el volumen ocupado por la antena 10 porque no hay necesidad de crear una red de alimentación eléctrica compleja para los diferentes elementos.

El elemento 20 radiador y los tres elementos 30 parásitos están alineados según una dirección 13 en la que la ganancia de la antena 10 es máxima. Uno de los elementos 30 parásitos desempeña el papel de "elemento 31 reflector", mientras que los otros dos elementos 30 parásitos desempeñan el papel de "elementos 32 directores".

Un elemento 31 reflector está dispuesto con respecto al elemento 20 radiador opuesto a la dirección 13 de ganancia máxima de la antena 10. Un elemento 32 director está dispuesto con respecto al elemento 20 radiador en la dirección 13 de máxima ganancia de la antena 10. En otras palabras, a ambos lados del elemento 20 radiador están dispuestos un elemento 31 reflector y un elemento 32 director.

Cuando la antena 10 funciona en emisión, la corriente eléctrica que circula en el elemento 20 radiador produce por radiación un campo electromagnético que induce corrientes en los otros elementos. La corriente inducida en los elementos 30 parásitos produce a su vez otros campos electromagnéticos que inducen corriente en los otros elementos (tanto en los elementos 30 parásitos como en el elemento 20 radiador). En definitiva la corriente que circula en cada elemento es el resultado de la interacción entre todos los elementos. Depende de las posiciones y de las dimensiones de cada elemento. Por tanto, el campo electromagnético irradiado por la antena 10 en una dirección dada es la suma de los campos electromagnéticos irradiados por cada uno de los elementos de la red 12. Cada elemento presenta una amplitud y fase de corriente diferentes. De este modo podemos observar adiciones constructivas o destructivas de los campos electromagnéticos en función del desfase propio de cada elemento. Un elemento 32 director que está colocado hacia la parte delantera de la antena 10 refuerza el campo electromagnético en la dirección 13 (es decir en la dirección del elemento 20 radiador hacia el elemento 32 director). Un elemento 31 reflector que está colocado hacia la parte trasera de la antena 10 refleja el campo electromagnético para reforzarlo en la dirección 13 (es decir, en la dirección del elemento 31 reflector hacia el elemento 20 radiador). Las posiciones y las dimensiones de los elementos de la red 12 se calculan de manera que las fases de las corrientes resultantes sean tales que la suma de los campos electromagnéticos sea mínima hacia la parte trasera y máxima hacia la parte delantera.

Cuando la antena 10 funciona en recepción, la fase y amplitud de las corrientes inducidas en los elementos es tal que la corriente inducida en el elemento 20 radiador conectado al receptor de RF es mínima para las ondas que vienen de la parte trasera y máxima para las ondas que vienen de la parte delantera con respecto a la dirección 13.

- En el ejemplo considerado, los elementos 30 parásitos son dipolos eléctricos formados por cintas metálicas impresas sobre la placa 11 de circuito impreso. Como se ilustra en la figura 1, para limitar las dimensiones de la antena, cada dipolo eléctrico se pliega en forma de meandros. Cada dipolo presenta dos ramas 33. Las dos ramas 33 de un dipolo son simétricas entre sí con respecto a un eje que sigue la dirección 13 de ganancia máxima de la antena 10 y que pasa por el medio de la placa 11 de circuito impreso sobre la que está fabricada la antena 10. Para cada dipolo eléctrico, las dos ramas 33 pueden estar separadas por un circuito 34 de desfase que comprende componentes resistivos, capacitivos y/o inductivos que permiten optimizar las prestaciones de directividad de la antena 10. Los circuitos 34 de desfase permiten en particular introducir al nivel de cada elemento 30 parásito el desfase necesario para optimizar la directividad de la antena 10.
- La figura 1 representa una cara de la placa 11 de circuito impreso sobre la que están dispuestos los diferentes elementos de la antena 10. La figura 2 representa la otra cara de la placa 11 de circuito impreso.
- Tal como se ilustra en las figuras 1 y 2, el elemento 20 radiador es una antena con resonador parásito que comprende un monopolo 21, un plano 22 de tierra y una célula 23 parásita colocada en el campo cercano del monopolo 21.
- En el ejemplo considerado, el plano 22 de tierra comprende dos capas superpuestas, cada capa que está dispuesta respectivamente sobre una cara de la placa 11 de circuito impreso. Por tanto, las dos capas del plano 22 de tierra están enfrentadas entre sí. Las dos capas del plano 22 de tierra están conectadas eléctricamente entre sí por ejemplo mediante una multitud de vías 24. Se entiende por "vía" un orificio metalizado en la placa 11 de circuito impreso que permite establecer una conexión eléctrica entre las dos caras de dicha placa 11. Se ha de observar que nada impide utilizar un plano 22 de tierra que comprende una sola capa colocada en una sola de las caras de la placa 11 de circuito impreso. El plano 22 de tierra está hecho de un material eléctricamente conductor, por ejemplo de metal.
- En el modo de realización descrito con referencia a la figura 1, el plano 22 de tierra presenta una forma rectangular. Por supuesto, el plano 22 de tierra puede ser un conductor eléctrico plano que adopte otra forma y la elección de una forma particular del plano 22 de tierra sólo representa variantes de la invención.
- El monopolo 21 está formado por una cinta metálica impresa en la cara de la placa 11 de circuito impreso opuesta a la cara en la que están impresos los dipolos eléctricos de los elementos 30 parásitos. La fuente de RF (para una antena en emisión) y/o el receptor de RF (para una antena en recepción) está(n) conectado(s) eléctricamente por un lado al monopolo 21 mediante un primer cable de alimentación (polo positivo) y por otro lado al plano 22 de tierra por un segundo cable de alimentación (polo negativo). Por ejemplo, se puede utilizar un cable coaxial para el cable de alimentación. Se ha de observar que la parte del monopolo 21 que aparece superpuesta al plano 22 de tierra en la figura 2 está en realidad ligeramente elevada con respecto al plano 22 de tierra, en otras palabras, el monopolo 21 no está directamente en contacto con el plano 22 de tierra.
- Se puede agregar un circuito de adaptación de impedancia, por ejemplo al nivel de la conexión del monopolo 21 con la fuente o el receptor de RF.
- La célula 23 parásita está formada por una cinta impresa en forma de bucle abierto. Se entiende por "bucle abierto" que la cinta forma un bucle, pero los dos extremos de la cinta no se tocan. En otras palabras, se dispone una abertura en el bucle. En el ejemplo considerado e ilustrado en la figura 1, el bucle toma la forma de un rectángulo. Sin embargo, se ha de observar que se pueden contemplar otras formas para la célula 23 parásita. En particular y tal como se ilustra en las figuras 3 a 5, el bucle también puede tomar la forma de un anillo ovalado (véase la figura 3), la forma de la letra D (véase la figura 4) o bien la forma de un semicírculo o de un semióvalo con una porción rectilínea para cerrar parcialmente el semicírculo o semióvalo (véase la figura 5). En todos los casos conviene disponer una abertura en el bucle.
- En modos de realización particulares, es posible reducir el tamaño de la célula 23 parásita conectando los extremos libres de la cinta metálica que forma el bucle de dicha célula 23 parásita a los electrodos de un condensador.
- En modos de realización particulares y tal como se ilustra en la figura 6, la célula 23 parásita toma la forma de un resonador Z en lugar de la forma de un bucle abierto.
- Por tanto, el elemento 20 radiador corresponde a un resonador NFRP (acrónimo inglés de "*Near-Field Resonant Parasitic*") que utiliza un bucle capacitivo (antena NFRP de tipo CLL, acrónimo inglés de "*Capacitively Loaded Loop*"). La célula 23 parásita está situada en el campo cercano del monopolo 21. El monopolo 21 presenta un comportamiento capacitivo y está adaptado indirectamente por la célula 23 parásita que, a su vez, presenta un comportamiento inductivo. Se obtiene por tanto un circuito resonante de tipo LC, por un fenómeno de acoplamiento de ondas evanescentes en campo cercano entre el monopolo 21 y la célula 23 parásita, lo que tiene como resultado la propagación de una onda en campo lejano.
- Un elemento 20 radiador de este tipo tiene la ventaja, por un lado, de presentar un diagrama de radiación unitario orientado en el eje de la red 12 de la antena 10, es decir en la dirección 13 en la que se desea obtener el máximo de ganancia (lo que contribuye a la buena directividad de la antena 10 en esta dirección 13) y por otro lado de comprender un plano 22 de tierra (la ventaja ligada a la presencia del plano 22 de tierra se tratará más adelante en la descripción).

Del mismo modo, se ha de observar que la utilización de un elemento 20 radiador de este tipo, diferente de los elementos 30 parásitos, permite obtener muy buenas prestaciones no sólo en términos de directividad, sino también en términos de eficacia de radiación. De hecho, en el ejemplo considerado, la antena 10 presenta una directividad superior a 8 dBi y una eficiencia superior a -3 dB, lo que significa que más del 50% de la potencia inyectada en la antena 10 es irradiada por la antena 10. A modo de comparación, una antena similar cuyo elemento 20 radiador estaría formado por un dipolo eléctrico idéntico a los elementos 30 parásitos presenta una directividad ligeramente mejor, del orden de 9 dBi, pero una eficiencia de radiación inferior a -15 dB, lo que significa que se irradia menos del 5% de la potencia inyectada en la antena.

En el ejemplo considerado, el monopolo 21 se dispone en la cara de la placa 11 de circuito impreso opuesta a la cara en la que está dispuesta la célula 23 parásita. Sin embargo, nada impide que el monopolo 21 y la célula 23 parásita estén dispuestos sobre la misma cara de la placa 11 de circuito impreso. Por tanto, en modos de realización particulares, todos los elementos de la red 12 de la antena 10 pueden estar dispuestos sobre la misma cara de una placa de circuito impreso. Cuando el monopolo 21 y la célula 23 parásita están dispuestos cada uno en una cara diferente de la placa 11 de circuito impreso, tal como se representa en las figuras 1 y 2, el acoplamiento entre estos dos elementos es principalmente de naturaleza eléctrica. Cuando el monopolo 21 y la célula 23 parásita están dispuestos sobre la misma cara de una placa de circuito impreso, el acoplamiento entre estos dos elementos es principalmente de naturaleza magnética. Es ventajoso, en términos de volumen ocupado, que el monopolo 21 y la célula 23 parásita estén dispuestos cada uno en una cara diferente de la placa 11 de circuito impreso ya que entonces pueden superponerse, tal como se representa en las figuras 1 y 2.

En el resto de la descripción nos situamos a modo de ejemplo y de forma no limitativa en el caso en el que la antena 10 descrita anteriormente con referencia a las Figuras 1 y 2 es una antena 10 para un dispositivo de recepción utilizado para geolocalizar objetos conectados que emiten señales radioeléctricas.

En el ejemplo considerado, la frecuencia de trabajo es de 869,5 MHz y el dispositivo de recepción debe presentar unas dimensiones suficientemente pequeñas para que el dispositivo de recepción quepa en la mano de un usuario, como por ejemplo un mando a distancia de una televisión. Los objetos conectados buscados emiten recurrentemente señales de radio a la frecuencia de trabajo y el usuario puede mover y apuntar el dispositivo de recepción en diferentes direcciones en el espacio para intentar detectar una señal emitida por un objeto. Por lo tanto, es conveniente que la antena tenga una alta directividad para detectar con precisión la dirección en la que se encuentra un objeto detectado, así como una buena eficiencia de radiación para aumentar la distancia de detección de un objeto por parte del dispositivo de recepción.

En el ejemplo considerado, la placa 11 de circuito impreso sobre la que está hecha la antena 10 tiene una longitud de 165 mm y una anchura de 50 mm. La placa 11 está hecha de un material dieléctrico de tipo Rogers RO4350B. Se trata de un sustrato cerámico reforzado con fibra de vidrio tejida que presenta una permisividad dieléctrica  $\epsilon=3,48$ . Los diferentes elementos radiantes (monopolo 21 y célula 23 parásita del elemento 20 radiador, elementos 30 parásitos) y las dos capas del plano 22 de tierra están impresos en la placa 11 de circuito impreso en forma de una capa de cobre de 18  $\mu\text{m}$  de espesor. Para cada elemento parásito 30, cada rama del dipolo eléctrico tiene una longitud total de 96 mm y una anchura de 2 mm. Para el elemento 20 radiador, el monopolo 21 tiene una longitud de 11 mm y una anchura de 1 mm. Cada capa del plano 22 de tierra es un rectángulo de 48 mm de largo y 18 mm de ancho. El bucle de la célula 23 parásita está formado por una cinta de 2 mm de ancho que dibuja un rectángulo de 47 mm de largo y 18 mm de ancho.

Con el objetivo de maximizar la directividad de la antena 10, se ha estudiado cuidadosamente la distancia entre elementos para obtener el mejor compromiso posible entre volumen ocupado y acoplamiento. Esta distancia es particularmente relativamente pequeña en relación con la distancia entre elementos generalmente observada en una red convencional (donde normalmente es del orden de media longitud de onda en la frecuencia de trabajo). Esta distancia reducida es necesaria para obtener un comportamiento "superdirectivo". De hecho, cuanto más cerca están entre sí los elementos de la red 12, más se tiende hacia una directividad teórica de la antena 10 del orden de  $N^2$ , donde  $N$  es el número de elementos en la red 12. Se ha de observar, sin embargo, que cuanto menor es la distancia entre elementos, más aumenta el acoplamiento entre los elementos, lo que tiene un efecto negativo en la eficiencia de la red 12. Por tanto, es necesario alcanzar un compromiso aceptable entre directividad y eficiencia.

Una vez fijada la geometría de la antena 10, se simuló, de manera convencional, con un software de simulación electromagnética para obtener los diagramas de radiación unitarios y los parámetros S de la red 12 (del inglés "*Scattering settings*", se trata de los coeficientes de distribución para describir el comportamiento eléctrico de un elemento de antena en función de las señales de entrada). A continuación, los diagramas de radiación y los parámetros S se procesaron mediante un algoritmo para determinar el peso complejo que se aplicará a cada elemento parásito 30 para optimizar la directividad de la antena 10 en una dirección determinada. Se utilizó un enfoque de tipo "ajuste de curva" (o "*curve fitting*" en inglés), en el que buscamos minimizar la diferencia, en el sentido de mínimos cuadrados, entre una plantilla ideal y el diagrama efectivamente obtenido al aplicar los pesos complejos. El diagrama de radiación de la antena 10 obtenido es una combinación lineal de los diferentes diagramas unitarios. Se trata de la suma de los diagramas unitarios de los diferentes elementos de antena de la red 12 ponderados respectivamente por su peso complejo.

Queda entonces convertir los pesos complejos en resistencias y/o reactancias que se insertarán entre las ramas de los dipolos eléctricos correspondientes a los elementos 30 parásitos (se trata de determinar los componentes electrónicos que deben formar los circuitos 34 de desfase). Esto se hace estudiando los parámetros S de cada elemento 30 parásito. El peso complejo de un elemento 30 parásito se normaliza con respecto al peso complejo del elemento 20 radiador, luego se busca para cada elemento 30 parásito el coeficiente de reflexión que satisfará las exigencias en términos de directividad. Esto lleva a cálculos matriciales que pueden efectuarse, de manera conocida por el experto en la técnica, con un software de tipo Matlab.

Estos cálculos de simulación permiten definir los componentes de los circuitos 34 de desfase de los elementos 30 parásitos de la antena 10.

La figura 7 representa esquemáticamente un diagrama de radiación a 869,5 MHz de la antena 10 descrita anteriormente con referencia a las figuras 1 y 2 cuando el circuito 34 de desfase del elemento 32 director más alejado del elemento 20 radiador consiste en un condensador  $C_2$  de valor 15 pF, el circuito 34 de desfase del elemento 32 director más cercano al elemento 20 radiador consiste en un condensador  $C_3$  de valor 10 pF y el circuito 34 de desfase del elemento 31 reflector consiste en un condensador  $C_4$  de valor 8,2 pF. La directividad de la antena 10 está representada por la curva 41. La directividad en la dirección 13 toma un valor satisfactorio, superior a 8 dBi. Sin embargo, la relación delantera/trasera no es óptima en la medida en que exista un lóbulo secundario relativamente grande en la dirección opuesta a la dirección 13 del lóbulo principal. Se entiende relación delantera/trasera la relación entre la directividad en la dirección 13 hacia la parte delantera de la antena 10 y la directividad en la dirección opuesta hacia la parte trasera de la antena 10.

Un estudio paramétrico con software de simulación electromagnética ha mostrado que tomando un valor de 8,2 pF para el condensador  $C_3$  del circuito 34 de desfase del elemento 32 director más cercano al elemento 20 radiador, es posible aumentar la relación delantera/trasera en una decena de dB sin degradar significativamente la directividad de la antena 10 (en este caso que pasa de 8,75 dBi a 8,25 dBi). En el ejemplo considerado, la relación delantera/trasera es superior a 20 dB. En la aplicación considerada, es ventajoso tener una buena relación delantera/trasera para discriminar con suficiente certeza la dirección de llegada de una señal emitida por un objeto que estamos intentando localizar. El diagrama de radiación correspondiente se representa en la figura 8. La directividad de la antena 10 está representada por la curva 42 en este diagrama.

En el ejemplo considerado, los condensadores  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  Son condensadores cerámicos de montaje en superficie (componentes de tipo CMS para "componente montado en superficie" o SMD para "Surface Mounted Device" en inglés).

La presencia de un plano 22 de tierra es particularmente ventajosa para reducir las dimensiones del dispositivo de recepción en la medida en que los componentes electrónicos que permiten realizar los diferentes módulos electrónicos del dispositivo (amplificación, filtrado, conversión analógico/digital, alimentación eléctrica, etc.) se pueden incorporar directamente en el plano 22 de tierra o en otra placa de circuito impreso colocada frente al plano 22 de tierra.

La figura 9 representa esquemáticamente una capa del plano 22 de tierra del elemento 20 radiador de la antena 10. Tal como se ilustra en la figura 9, dentro del plano 22 de tierra se proporcionan "agujeros", es decir zonas 25 sin cobre. En cada zona 25 sin cobre, las pistas 26 y las almohadillas 27 de soldadura del circuito eléctrico de cobre están impresas mediante serigrafía, de manera convencional, sobre la placa 11 de circuito impreso sobre la que está hecha la antena 10. Las pistas 26 forman un camino de cobre que proporciona la interconexión eléctrica entre los componentes electrónicos que se soldarán al nivel de las almohadillas 27 de soldadura.

Con preferencia, la dimensión más grande de una zona 25 sin cobre es despreciable en comparación con la longitud de onda de la frecuencia de trabajo de la antena 10, por ejemplo la dimensión más grande de una zona 25 sin cobre no excede una décima parte de la longitud de onda de la frecuencia de trabajo de la antena 10. Dichas disposiciones permiten garantizar que el plano 22 de tierra desempeñe correctamente su papel dentro del elemento 20 radiador incluso si parte del plano 22 de tierra se utiliza para alojar componentes electrónicos del dispositivo de recepción.

En el ejemplo considerado, el plano 22 de tierra comprende dos capas de cobre (una capa en cada cara de la placa 11 de circuito impreso sobre la que está realizada la antena 10) conectadas por vías. En la figura 9 sólo se representa una capa del plano 22 de tierra. Los componentes electrónicos pueden estar dispuestos sobre una de las dos capas o bien sobre las dos capas del plano 22 de tierra. Nada impide tampoco, como se ha indicado anteriormente, que el plano 22 de tierra comprenda una sola capa.

Alternativamente o además, los componentes electrónicos del dispositivo de recepción pueden estar dispuestos en una placa de circuito impreso distinta de la placa 11 de circuito impreso en la que está hecha la antena 10. En tal caso, la placa de circuito impreso en la que están dispuestos los componentes electrónicos del dispositivo de recepción puede estar situada ventajosamente enfrentada al plano 22 de tierra, a una distancia reducida del plano 22 de tierra, por ejemplo sólo a algunos milímetros. Con dichas disposiciones, el plano 22 de tierra permite ventajosamente hacer una apantallamiento a posibles perturbaciones electromagnéticas producidas por los componentes electrónicos del dispositivo de recepción. De hecho, dichas perturbaciones electromagnéticas probablemente perturbarían el funcionamiento de la antena 10.

5 La descripción anterior ilustra claramente que, a través de sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención logra los objetivos fijados. En particular, la antena 10 presenta muy buenas prestaciones tanto en términos de directividad como de eficiencia de radiación y de compacidad. La antena según la invención también tiene la posibilidad de integrar los componentes electrónicos del dispositivo de recepción directamente en el plano 22 de tierra de la antena 10 o en una placa de circuito impreso situada enfrentada y cerca del plano 22 de tierra de la antena 10. Esto contribuye a limitar las dimensiones del dispositivo de recepción, evitando al mismo tiempo perturbar las prestaciones de la antena.

10 La invención se ha descrito considerando una antena 10 para un dispositivo de recepción que tenga por objetivo localizar objetos conectados que emiten señales radioeléctricas. Sin embargo nada excluye, según otros ejemplos, considerar otras aplicaciones. En particular, la antena 10 puede adaptarse a un dispositivo transmisor o a un dispositivo emisor-receptor.

En general, se ha de observar que los modos de realización considerados anteriormente se han descrito a título de ejemplos no limitativos y que, por consiguiente, se pueden contemplar otras variantes.

15 En particular, se pueden considerar otras opciones para el número, la forma y las dimensiones de los elementos 30 parásitos para una antena 10 según la invención. Lo mismo se aplica al número de elementos directores y al número de elementos reflectores. En particular, nada impide tener elementos 30 parásitos de diferentes tamaños, por ejemplo elementos 32 directores más cortos que el o los elementos 31 reflectores.

20 También, nada impide disponer de una antena 10 cuya red 12 no sea plana, es decir cuyos elementos no estén formados en el mismo plano. Sin embargo, el volumen ocupado por la antena 10 se reduce ventajosamente cuando la red es plana.

La antena con resonador parásito correspondiente al elemento 20 radiador puede hacerse de diferentes maneras. En particular y tal y como se ha indicado anteriormente, la célula 23 parásita puede tomar diferentes formas, el plano 22 de tierra puede tener sólo una capa en lugar de dos, etc. Estas diferentes opciones sólo representan variantes de la invención.

25 También, se pueden realizar otras elecciones de materiales para la placa 11 de circuito impreso, los elementos radiantes de la antena 10, los componentes de los circuitos 34 de desfase, etc. sin por ello salirse del alcance de la invención.

30 En el ejemplo considerado, la red 12 de elementos de la antena 10 presenta una longitud inferior a 200 mm y una anchura inferior a 100 mm (o incluso una longitud inferior a 165 mm y una anchura inferior a 50 mm) para una frecuencia de trabajo inferior a 1 GHz (en particular, la frecuencia de trabajo es de 869,5 MHz). La antena 10 presenta un valor máximo de directividad superior a 8 dBi y una eficiencia de radiación superior al 50%. En variantes de la invención, por supuesto, se pueden contemplar otra frecuencia de trabajo y otras dimensiones de la antena 10. Por tanto, se podrían obtener diferentes valores de directividad y eficiencia de radiación.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Antena (10) directiva que comprende una red (12) de elementos de antena unitarios, dicha red (12) que comprende un elemento de antena activo, denominado "elemento (20) radiador", destinado a estar conectado eléctricamente a una fuente o a un receptor de radiofrecuencia y al menos un elemento de antena pasiva alimentado por inducción mutua, denominado "elemento (30) parásito", dicho elemento (20) radiador que es una antena con resonador parásito que comprende un monopolo (21), un plano (22) de tierra y una célula (23) parásita colocada en el campo cercano del monopolo (21), caracterizado por que dicho elemento (20) radiador y dicho al menos un elemento (30) parásito de la red (12) están formados en un mismo plano.
- 10 2. Antena (10) directiva según la reivindicación 1 en la que la red (12) comprende al menos un elemento (30) parásito de tipo reflector (31) y al menos un elemento (30) parásito de tipo director (32), dicho al menos un elemento (31) reflector y dicho al menos un elemento (32) director que están alineados con el elemento (20) radiador, a ambos lados del elemento (20) radiador, según un eje de la red (12) correspondiente a una dirección (13) en la que la ganancia de la antena (10) es máxima.
- 15 3. Antena (10) directiva según la reivindicación 2, que comprende tres elementos (30) parásitos, de los cuales uno es un elemento (31) reflector y dos elementos (32) directores, cada elemento parásito que está formado por un dipolo eléctrico plegado en forma de meandros.
4. Antena (10) directiva según una de las reivindicaciones 1 a 3 en la que el monopolo (21) está destinado a estar conectado eléctricamente a la fuente o al receptor de radiofrecuencia y la célula (23) parásita del elemento (20) radiador toma la forma de un bucle abierto.
- 20 5. Antena (10) directiva según las reivindicaciones 3 y 4 caracterizada por que la frecuencia de trabajo de la antena (10) es inferior a un gigahercio, y la red (12) de elementos presenta una longitud inferior a veinte centímetros y una anchura inferior a diez centímetros.
- 25 6. Antena (10) directiva según una de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el plano (22) de tierra del elemento (20) radiador comprende pistas eléctricas para un circuito electrónico de un dispositivo de emisión o de recepción, dichas pistas eléctricas que están grabadas dentro del plano (22) de tierra.
7. Dispositivo emisor o receptor que comprende una antena (10) directiva según una de las reivindicaciones 1 a 6.
8. Dispositivo emisor o receptor que comprende una antena (10) directiva según una de las reivindicaciones 1 a 5 caracterizado por que un circuito electrónico de dicho dispositivo está situado enfrente al plano (22) de tierra del elemento (20) radiador de la antena (10).

30

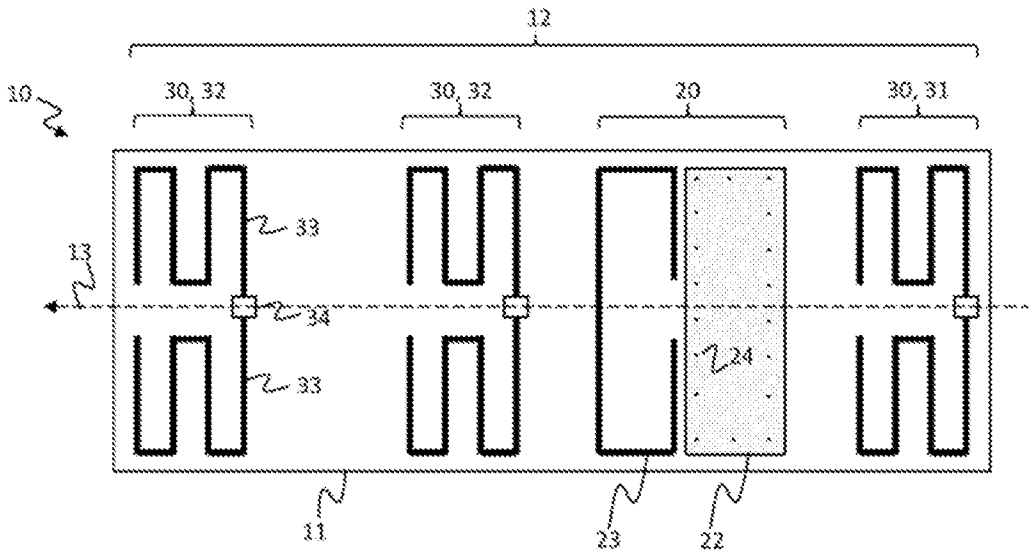


Fig. 1

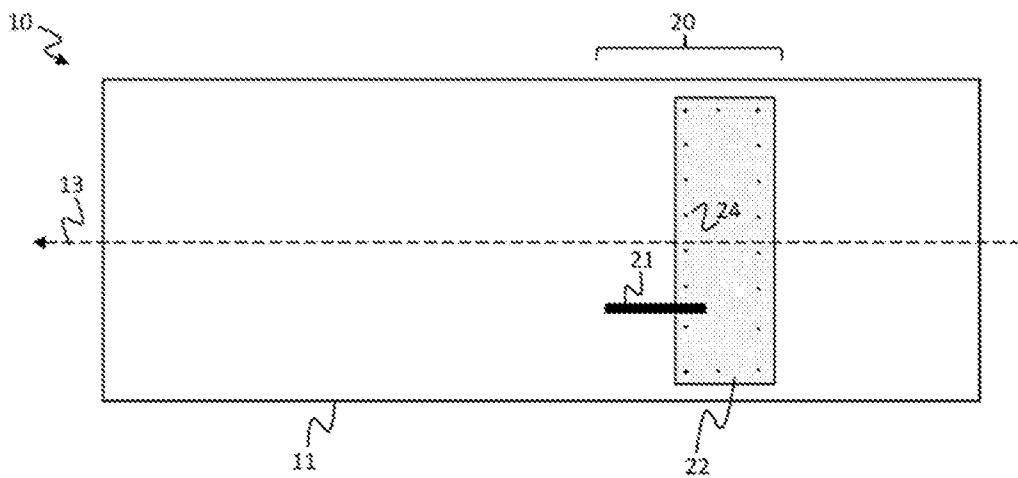
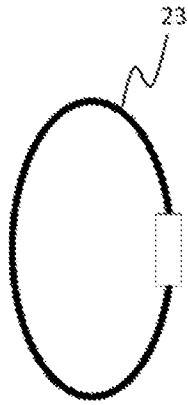
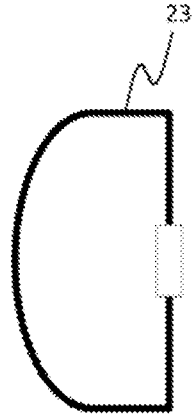


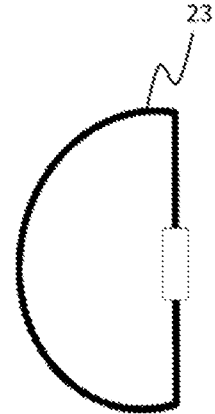
Fig. 2



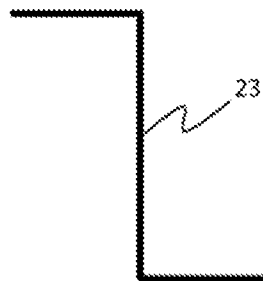
**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



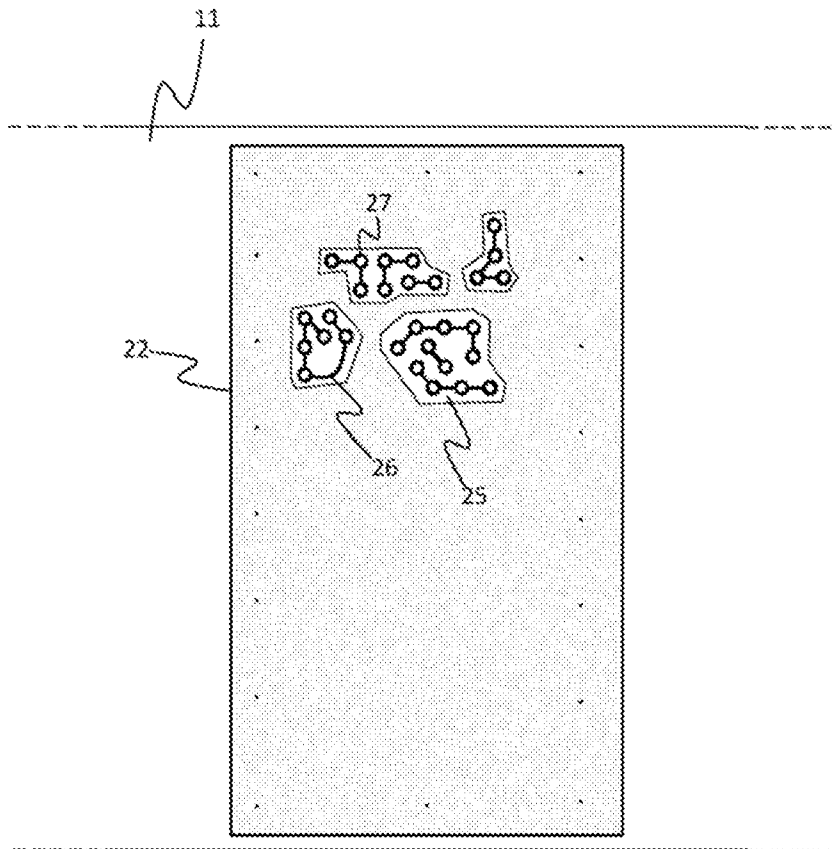


Fig. 9