



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 137**

51 Int. Cl.:

**H01Q 7/00** (2006.01)

**H01Q 13/16** (2006.01)

**H01Q 1/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07702735 .7**

96 Fecha de presentación : **12.01.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2118965**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.11.2009**

54 Título: **Antena pequeña eléctricamente auto-resonante.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**17.10.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**17.10.2011**

73 Titular/es: **AIDA CENTRE, S.L.**  
**Edificio Nexus I**  
**c/ Gran Capitán, 2 - Despatx 302**  
**08034 Barcelona, ES**

72 Inventor/es: **Bonache Albacete, Jordi;**  
**Dacuña Santos, Javier y**  
**Pous Andrés, Rafael**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 366 137 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 pequeña eléctricamente auto-resonante.

**Objeto de la invención**

5 La presente invención es aplicable a un diseño de miniaturización de una antena, por ejemplo, en el campo técnico de la Identificación por Radiofrecuencia (RFID) mediante una micro-antena acoplada a un chip que conforma una etiqueta electrónica, habitualmente denominada etiqueta de RFID, y que se une a un objeto, animal o persona para su identificación.

10 Más particularmente, la invención que aquí se presenta se refiere a una antena que consigue auto-resonancia sin la necesidad de ninguna red de acoplamiento externa entre la antena y la fuente (por ejemplo, un chip de RFID) y cuyo tamaño se puede reducir arbitrariamente ajustando únicamente diferentes parámetros de la estructura resonante (a expensas de un alcance de lectura reducido). Esta antena diminuta es especialmente adecuada para aplicaciones de RFID ya que puede fabricarse en un sustrato de capa única, con pequeñas dimensiones tal como requieren las antenas usadas en las etiquetas de RFID.

**Antecedentes de la invención**

15 La reducción de tamaño de las antenas es un asunto fundamental para diferentes aplicaciones de comunicaciones. Las antenas deben integrarse en diferentes productos electrónicos tales como teléfonos móviles, ordenadores portátiles, asistentes digitales personales (PDA), etc. y estos necesitan antenas pequeñas capaces de integrarse con los diferentes productos.

20 Otra aplicación habitual para las antenas pequeñas es la Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Esta tecnología permite la identificación de cualquier objeto con la ayuda de una etiqueta electrónica unida al mismo. Esta etiqueta electrónica está compuesta por una pequeña antena y un microchip. En el desarrollo tecnológico de la Identificación por Radiofrecuencia, las antenas diminutas de la etiqueta electrónica de RFID pueden funcionar en una banda de baja frecuencia (LF), alrededor de 125 kHz, otras en una banda de alta frecuencia (HF) a 13,56 MHz y algunas otras están desarrolladas para trabajar a 900 MHz, en la banda de frecuencia ultra-alta (UHF). Se conocen diferentes implementaciones de etiquetas de RFID que llevan en su interior el microchip conectado a la antena de circuito impreso, por ejemplo, implementados en etiquetas autoadhesivas, cápsulas, monedas, tarjetas, insignias, etc.

25 Normalmente, el tamaño de una antena dada está en el orden de su longitud de onda. Esta restricción significa que las antenas para bajas frecuencias serán más grandes que las antenas para altas frecuencias. En contraste, las antenas pequeñas se definen comúnmente aquí como antenas que se acoplan en una esfera de un radio  $\lambda/(2-\pi)$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda.

Una de las antenas más habituales es el dipolo resonante tal como se conoce en la literatura. Un dipolo resonante es una antena compensada formada por un cable con una longitud levemente menor que la mitad de la longitud de onda suministrada en el centro.

35 Una antena auto-resonante, tal como un dipolo resonante, es una antena cuya impedancia de entrada es meramente real. El teorema de transferencia de potencia máxima dice que, para una red lineal con impedancia de fuente fija, la potencia máxima se suministra desde la fuente (antena) hasta la carga (chip) cuando la impedancia de la carga es el conjugado complejo de la impedancia de la fuente.

Para una antena auto-resonante, como para la impedancia real, la potencia máxima se suministrará cuando la impedancia de la antena y de la fuente son iguales.

40 Basándose en el teorema de transferencia de potencia máxima, si la antena no es auto-resonante, habitualmente se necesita una red de acoplamiento para conseguir la transferencia de potencia máxima entre la antena y la carga.

Al igual que el dipolo resonante, se sabe desde hace tiempo que las antenas auto-resonantes tienen un tamaño en el orden de la longitud de onda, que para algunas aplicaciones es muy grande. Si se necesita reducir el tamaño de la antena, la impedancia de entrada se vuelve reactiva (inductiva o capacitiva, dependiendo de la estructura de la antena).

45 Por lo tanto, la solución común para el diseño de antenas pequeñas y para conseguir resonancia es la introducción de una red de acoplamiento, incrementando inevitablemente el tamaño y coste totales.

50 Entre las estructuras auto-resonantes ya conocidas, aparte del dipolo resonante antes mencionado, el Resonador de Anillos Divididos (Split Ring Resonator (SRR)), introducido por Pendry (consulte "Magnetism from conductors and enhanced non linear phenomena" de J. B. Pendry y col., IEEE Transactions on Microwaves Theory and Techniques, vol. 47, pág. 2075 - 2084, noviembre de 1988) es una gran contribución al campo de los metamateriales ya que es la primera

partícula capaz de conseguir valores negativos de permeabilidad magnética efectiva. La estructura de dicho resonador consta de dos anillos metálicos concéntricos. Ambos anillos tienen un cierto grosor ( $c$ ) y pequeños huecos grabados sobre lados opuestos, tal como se muestra en la figura 1A. El SRR tiene un radio medio ( $r_0$ ) medido exactamente entre los dos anillos concéntricos. También, la figura 1B muestra el circuito equivalente de un SRR (propuesto en “Comparative analysis of edge and broadside coupled ring resonators for metamaterial design, Theory and experiments” de R. Marqués y col., IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, pág. 2572 - 2581, octubre de 2003), en el que la capacidad total ( $C_0$ ) entre los anillos es  $C_0 = 2\pi r_0 C_{pull}$  donde  $C_{pull}$  es la capacidad de los anillos por unidad de longitud. La frecuencia resonante del SRR viene dada por  $f_0 = (L_s C_s)^{1/2} / 2\pi$  donde  $C_s$  es la conexión en serie de las capacidades que se corresponden con las partes superior e inferior, es decir,  $C_s = C_0 / 4$ . La inductancia  $L_s$  puede aproximarse mediante la inducción de un solo anillo con un radio igual al radio medio ( $r_0$ ) del SRR y el ancho ( $c$ ) de cada anillo concéntrico.

El comportamiento del SRR en su primera resonancia puede aproximarse mediante un dipolo resonante (definido en “Magnetism from conductors and enhanced non linear phenomena” de J. B. Pendry y col., IEEE Transactions on Microwaves Theory and Techniques, vol. 47, pág. 2075 - 2084, noviembre de 1988) y luego su polarización magnética se expresa por:

$$m_z = \alpha_0 \left( \frac{1}{\frac{\omega_0^2}{\omega} - 1} \right) B_z$$

donde  $B_z$  es el componente magnético axial del campo electromagnético,  $\alpha_0$  es un factor geométrico y  $\omega_0$  es la frecuencia resonante del SRR.

De acuerdo con la expresión anterior, la polarizabilidad tendrá valores extremos cerca de la frecuencia resonante. Ya que la corriente en el SRR es uniforme, puede aproximarse mediante un bucle plano y así se impone la siguiente expresión:

$$m_z = IS$$

donde  $I$  es la corriente a través del SRR y  $S$  es el área total. Por lo tanto, la corriente  $I$  a través del SRR es:

$$I = \frac{\alpha_0}{S} \left( \frac{1}{\frac{\omega_0^2}{\omega} - 1} \right) B_z = \alpha_0' \left( \frac{1}{\frac{\omega_0^2}{\omega} - 1} \right) B_z$$

A partir de esta expresión puede verse que la corriente en el SRR ( $I$ ) es muy grande cerca de la frecuencia resonante, incluso para una estructura pequeña. La figura 2 muestra la distribución de la densidad de la corriente en un SRR en la frecuencia resonante.

Debido al comportamiento resonante de los SRR, una matriz periódica de estos resonadores, tal como la mostrada en la figura 3, iluminada mediante un campo de entrada adecuadamente polarizado, no permite la propagación de ondas electromagnéticas para una banda de frecuencias específica. Gracias a un efecto tal como el debido a la teoría del medio efectivo, puede usarse una matriz de SSR como filtro de ondas milimétricas y microondas. Un ejemplo de su uso se muestra en el documento EP 1675212 A1, en el que un elemento de transmisión plano, tal como una microbanda conductora o un plano metálico central con sustrato dieléctrico sobre ambos lados y una banda conductora formada sobre él, se monta en acoplamiento magnético con una inserción en serie de varios SRR. Además, el documento EP 1675212 A1 presenta una antena o una batería de antenas que incorpora el filtro descrito que comprende dicha matriz de SRR para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, ya que el comportamiento de la matriz de SRR como medio efectivo permite la propagación de ondas rápidas para una frecuencia dada y entonces se comporta como una antena de ondas de escape.

Otras variaciones de SRR se muestran en las figuras 4 - 7 (consulte “Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines” de J. D. Baena y col. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 53 (4), pág. 1451 - 1461, abril de 2005) que muestran

estructuras y circuitos equivalentes respectivamente de:

SRR no bianisotrópico (NBSRR), mostrado en la figura 4: presenta una simetría de rotación de  $180^\circ$  en el plano del SRR; como consecuencia de esta simetría el NBSRR evita los efectos de la polarización cruzada mientras mantiene la geometría de plano simple.

5 SRR de doble división (D-SRR) o Resonador de Anillos Dobles Divididos / Deformados, mostrado en la figura 5: presenta también la simetría antes mencionada, evitando así la polarización cruzada; el circuito equivalente D-SRR se diferencia del SSR, siendo la frecuencia de resonancia el doble que la de un SRR de tamaño idéntico.

10 Resonador de espiral (SR), mostrado en la figura 6 y resonador de doble espiral (DSR), mostrado en la figura 7: el SR presenta una estructura compuesta por un elemento espiral con dos radios. El DSR tiene dos elementos espirales acoplados. En ambos casos, la frecuencia resonante no solo depende del tamaño total. Como puede verse a partir de sus circuitos equivalentes, el SR así como el DSR permiten una reducción de la frecuencia resonante con respecto al SRR.

15 Siguiendo el principio de Babinet, el SRR tiene un homólogo que se denomina SRR Complementario (CSRR). Las partes de metal del SRR se cambian por ranuras en un plano conductor del CSRR. De esta forma, se cambia la corriente eléctrica en los anillos por corrientes magnéticas en las ranuras y los campos eléctricos y magnéticos que rodean el SSR se intercambian entre sí en el CSRR. Las corrientes magnéticas en las ranuras no existen físicamente; realmente son un modelo matemático para modelar las corrientes eléctricas en el plano conductor. Las corrientes no están confinadas en los bordes de la ranura sino que se distribuyen sobre el plano conductor. En el SRR, las corrientes están más confinadas y una mayor densidad de corriente fluye a través de los anillos. A causa de ello, las pérdidas de potencia en el SRR debidas a las pérdidas de metal pueden ser mayores (menor eficacia) que en el CSRR.

25 Volviendo a las estructuras resonantes simples como el dipolo, cuando se usa en antenas, una solución para vencer la reducción de la resistencia a la radiación debida a la miniaturización de la antena es usar una estructura plegada que permite un aumento x4 de la resistencia a la radiación. En la frecuencia resonante el uso de un dipolo plegado permite el aumento del componente real de la impedancia de entrada (resistencia a la radiación y resistencia a las pérdidas) sin variar la frecuencia resonante. En la figura 8A y 8B se muestran respectivamente una antena de dipolo y una antena de dipolo plegado simple.

30 Otro ejemplo de antena resonante es la presentada en el documento US 2005/0088342 que comprende un anillo de alimentación magnéticamente acoplado dentro de un anillo eléctricamente conductor que es un elemento resonante y radiante incorporado en un dieléctrico plano. En esta aproximación, la estructura resonante es un resonador de anillos divididos usado como antena y el anillo interno tiene un hueco para definir puntos de alimentación en oposición diametral con respecto a un hueco en el anillo conductor externo. Este último hueco suministra la capacitancia deseada y establece la frecuencia resonante deseada.

### 35 **Descripción de la invención**

La presente invención se dirige a resolver el problema anteriormente esbozado sobre el diseño de antenas miniaturizadas sin la necesidad de introducir una red de acoplamiento en la antena y a satisfacer ambos requisitos de diseño de la antena: pequeño tamaño y acoplamiento con la fuente. Así, un aspecto de esta invención se ocupa de una antena que comprende una estructura radiante auto-resonante que sea perfectamente adaptable a la fabricación de micro-antenas para la Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Y por lo tanto, otro aspecto de la invención se refiere a una etiqueta de RFID que comprende una antena configurada con esta estructura radiante auto-resonante según se describe a continuación.

45 La antena propuesta en esta invención comprende al menos un elemento radiante que consta de una estructura resonante, incorporada en un sustrato plano y excitada en un punto de alimentación, que produce una corriente eléctrica a través del punto de alimentación cuando dicha estructura resonante es excitada por un campo magnético (o un campo eléctrico en el caso en el que se use la estructura resonante complementaria, aplicando el principio de Babinet) dirigido en una dirección transversal al sustrato plano. La estructura resonante, que puede ser modelada mediante un circuito eléctrico equivalente con la inductancia y la capacitancia que determinan su frecuencia resonante, es una estructura plegada usada como una antena de resonador de anillos divididos (SSR).

50 Además, dicha estructura auto-resonante puede usarse como una antena de etiqueta UHF de campo cercano ya que puede ser excitada por el campo magnético cercano (o evanescente) desde una antena lectora.

Al contrario que los campos radiados, que se desacoplan de la antena y viajan a la velocidad de la luz en forma de ondas, los campos cercanos existen solamente acoplados a la antena y confinados en una región de su

proximidad. Esta propiedad puede usarse en la RFID para obtener control y resolución sobre el espacio en el cual las etiquetas serán detectadas.

Si se aplica un campo magnético variable dirigido hacia el eje de ambos anillos (anillos interno y externo) que conforman la estructura del resonador de anillos divididos, debido a los huecos incorporados en estos anillos, las corrientes generadas solamente pueden fluir por medio de la corriente de desplazamiento, a causa de los altos valores capacitivos originados entre los anillos interno y externo. Los conductores introducen un comportamiento inductivo en el circuito y se combinan con la capacidad entre los anillos, el SRR tiene un comportamiento resonante cuando es excitado por un flujo magnético axial, mostrando un alto diamagnetismo sobre la primera resonancia.

Ya que la estructura del resonador de anillos divididos puede resonar a una frecuencia que no solo depende de su tamaño total, esto significa que el tamaño del resonador puede reducirse arbitrariamente para una frecuencia dada y así, cuando la estructura es alimentada para producir radiación electromagnética, el SRR es un elemento auto-resonante y radiante que se vuelve una antena tan pequeña como sea necesario.

Para alimentar la antena, puede hacerse una pequeña ranura o hueco en la mitad del SRR, sin modificar significativamente la frecuencia de resonancia, ya que el circuito equivalente de este SRR se comporta como un circuito en serie RLC a la frecuencia resonante y dicha frecuencia resonante no se ve afectada por la introducción de un resistor en serie en el punto de alimentación o en el puerto de alimentación gravado en el anillo externo o interno.

Una ventaja de la antena basada en la configuración de SRR es que el tamaño total de la antena resonante puede reducirse tanto como sea necesario solo aumentando la inductancia y capacitancia totales entre los anillos del SRR.

Una diferencia principal de la presente invención con respecto a las antenas descritas en el documento EP 1675212 A1 recae en la radiación electromagnética originada por los anillos del SRR. El patrón de radiación de la antena SRR aquí descrita es casi omni-direccional con una ganancia máxima en el plano que contiene los anillos. Si estos anillos tienen un radio mucho menor que la longitud de onda, el SRR puede modelarse, en la frecuencia resonante, como una antena de bucle con un radio equivalente igual al radio medio ( $r_0$ ) del SRR y una anchura equivalente igual al ancho ( $c$ ) de los anillos. Así, el patrón de radiación del SRR es similar al generado por una antena de bucle. Sin embargo, la estructura radiante del SRR es auto-resonante mientras que la del bucle es meramente inductiva y requiere una red de acoplamiento para maximizar la transferencia de potencia a la carga de la antena. Para una antena de bucle, la carga debe ser el conjugado complejo de la impedancia de la antena y el componente inductivo debe cancelarse. Por el contrario, el SRR no necesita ninguna red de acoplamiento con la carga y, al mismo tiempo, la frecuencia resonante puede mantenerse independiente del tamaño de SRR, siendo una configuración óptima para aplicar en antenas en miniatura. Esto no es aplicable para el documento EP 1675212 A1, en el que el elemento radiante de la antena es una línea de transmisión, no el SRR, pero la estructura de matriz del SRR se comporta como un metamaterial o medio efectivo permitiendo la propagación de ondas rápidas a través de la línea de transmisión e irradiando entonces energía como una antena de ondas de escape, constituida por la combinación de todos los anillos, y donde cada anillo individual no irradia por si mismo.

Cuando se reduce la dimensión física del SRR manteniendo constante la frecuencia resonante, es decir, no dependiente del tamaño del anillo (ya que la reducción del tamaño se compensa cambiando otros parámetros de la estructura), una de las consecuencias es la reducción de la resistencia a la radiación, y a su vez, la reducción de la eficacia de la radiación de la antena. Similarmente, a medida que se consigue el aumento de la resistencia a la radiación en un dipolo resonante mediante la técnica de la estructura plegada, puede usarse una antena SRR plegada para aumentar más de cuatro veces la resistencia a la radiación para una frecuencia resonante dada (constante) con respecto a la antena SRR para propósitos de acoplamiento.

Otra forma de aumentar la resistencia a la radiación es desplazar el puerto de alimentación a lo largo del anillo. Ya que la densidad de la corriente de cada anillo disminuye a medida que se acerca al hueco del anillo, el desplazamiento del punto de alimentación a lo largo del anillo externo o interno consigue una mayor resistencia a la radiación sin modificar la frecuencia resonante. Moviendo el puerto de alimentación se obtiene una antena desequilibrada, de forma que no es adecuada para aplicaciones que requieran una línea de transmisión equilibrada, pero es perfectamente válida para aplicaciones de RFID.

Un aspecto de la invención se ocupa de una antena pequeña eléctricamente auto-resonante que comprende al menos un elemento radiante que es una estructura resonante incorporada en un substrato plano y excitada en un punto de alimentación, modelándose dicha estructura resonante mediante un circuito eléctrico equivalente con inductancia y capacitancia que determinan una frecuencia resonante, y produciendo dicha estructura resonante una corriente eléctrica a través del punto de alimentación cuando dicha estructura resonante es excitada por un

campo magnético dirigido en una dirección transversal al sustrato plano, y siendo dicha estructura resonante un resonador de anillos divididos plegado que comprende:

- un anillo interno con un hueco
- un anillo plegado con una ranura externa para el punto de alimentación.

5 En dicha estructura resonante, el anillo plegado configura otro hueco en oposición diametral con el hueco del anillo interno y el punto de alimentación.

Otro aspecto de la invención se refiere a una antena pequeña eléctricamente auto-resonante que comprende al menos un elemento radiante que es una estructura resonante incorporada en un sustrato plano y excitada en un punto de alimentación, modelándose dicha estructura resonante mediante un circuito eléctrico equivalente con inductancia y capacitancia que determinan una frecuencia resonante, y produciendo dicha estructura resonante una corriente eléctrica a través del punto (1) de alimentación cuando dicha estructura resonante es excitada por un campo magnético dirigido en una dirección transversal al sustrato plano, y siendo dicha estructura resonante un resonador de anillos plegados que comprende:

- un anillo externo con un hueco
- 15 - un anillo plegado con una ranura interna para el punto de alimentación.

En dicho anillo interno plegado, se configura otro hueco en oposición diametral con el hueco del anillo externo y dicho punto de alimentación.

La mayoría de las etiquetas de RFID tienen su dirección de radiación máxima perpendicular al plano que contiene la etiqueta misma, pero con la antena basada con el SRR, en cualquiera de las configuraciones propuestas, la dirección máxima de radiación se sitúa en el plano que contiene la antena. Esto constituye una ventaja para diversas aplicaciones, por ejemplo, una etiqueta de RFID con una antena basada en el SRR puede situarse dentro de un tapón de una botella de forma que el lector de RFID pueda interrogar a la antena basada en el SRR cuando la antena del lector alcanza el tapón, siendo la dirección de lectura óptima la natural definida por la superficie grande del tapón.

25 Una ventaja principal de la presente invención, en cualquiera de las diversas formas de implementación aquí presentadas, es que la antena puede fabricarse muy fácilmente utilizando un sustrato plano, rígido o flexible. Esto significa que el proceso de fabricación supone menores costes y también la antena fabricada puede integrarse fácilmente para numerosas aplicaciones que demandan dimensiones estrictamente reducidas.

### **Descripción de los dibujos**

30 Para completar la descripción que se está haciendo y para ayudar al mejor entendimiento de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferido de realización práctica, esta descripción se acompaña, como parte integral de la misma, con un conjunto de dibujos a modo ilustrativo aunque no restrictivo, en los cuales se ha representado lo siguiente:

35 Figura 1.- Muestra la estructura (A) con las dimensiones pertinentes y el modelo (B) del circuito equivalente de un resonador de anillos divididos, de acuerdo con la técnica anterior.

Figura 2.- Muestra la distribución uniforme y de alta densidad de corriente en un SRR a la frecuencia resonante, de acuerdo con el comportamiento en polarización magnética del SRR estudiado en la técnica anterior.

40 Figura 3.- Muestra un medio efectivo compuesto por una pluralidad de resonadores de anillos divididos, de acuerdo con el comportamiento normal estudiado en la técnica anterior de la permeabilidad magnética efectiva con valores negativos cercanos a la frecuencia resonante.

Figura 4.- Muestra la estructura (A) del modelo (B) del circuito equivalente de un resonador de anillos divididos no bianisotrópico de acuerdo con la técnica anterior.

45 Figura 5.- Muestra la estructura (A) del modelo (B) del circuito equivalente de un resonador de anillos divididos dobles, de acuerdo con la técnica anterior.

Figura 6.- Muestra la estructura (A) del modelo (B) del circuito equivalente de un resonador de espiral, de acuerdo con la técnica anterior.

Figura 7.- Muestra la estructura (A) del modelo (B) del circuito equivalente de un resonador de doble espiral,

de acuerdo con la técnica anterior.

Figura 8.- Muestra un dipolo (A) y una antena de dipolo plegado (B) de acuerdo con la técnica anterior.

Figura 9.- Muestra una antena basada en una estructura de SRR plegada, configurada con dos brazos, de acuerdo con una posible realización de esta invención.

5 Figura 10.- Muestra una antena basada en una estructura de SRR plegada, configurada con tres brazos, de acuerdo con otra posible realización de esta invención.

**Realización preferida de la invención**

10 Aquí se describen algunas opciones de implementaciones de una antena que comprende un elemento radiante que es una estructura auto-resonante según se definió anteriormente, que se basa en posibles configuraciones de resonador de anillos divididos plegados.

15 Una posible realización de esta invención aborda el plegado de uno o ambos anillos del SRR para conseguir una mayor resistencia a la radiación. Un ejemplo de un resonador (11) de anillos divididos plegados se muestra en la figura 9. Este resonador (11) de anillos divididos plegados está compuesto por un anillo interno (R1) y un anillo plegado (R2') con una ranura externa para el punto (1) de alimentación. Para su comparación, la tabla 1 muestra la frecuencia auto-resonante y el papel efectivo de la impedancia de entrada de diferentes estructuras resonantes conocidas en la técnica anterior y en la implementación del SRR plegado de la invención. Todas las estructuras se han simulado con un simulador de onda completa MoM [Method of Moments] asumiendo que están en un espacio libre, hechos de cobre y que tienen el mismo tamaño con un valor máximo de aproximadamente 20 mm.

Tabla 1.- Características de diferentes estructuras radiantes

Estructura	Bucle simple	Anillo dividido simple	Resonador de anillos divididos	SRR plegado (Figura 9)
Frecuencia resonante ( $f_r$ )	5,5 GHz	2,36 GHz	1,72 GHz	1,72 GHz
$Re(Z_a)$ a la $f_r$	150 $\Omega$	10 $\Omega$	3 $\Omega$	14 $\Omega$

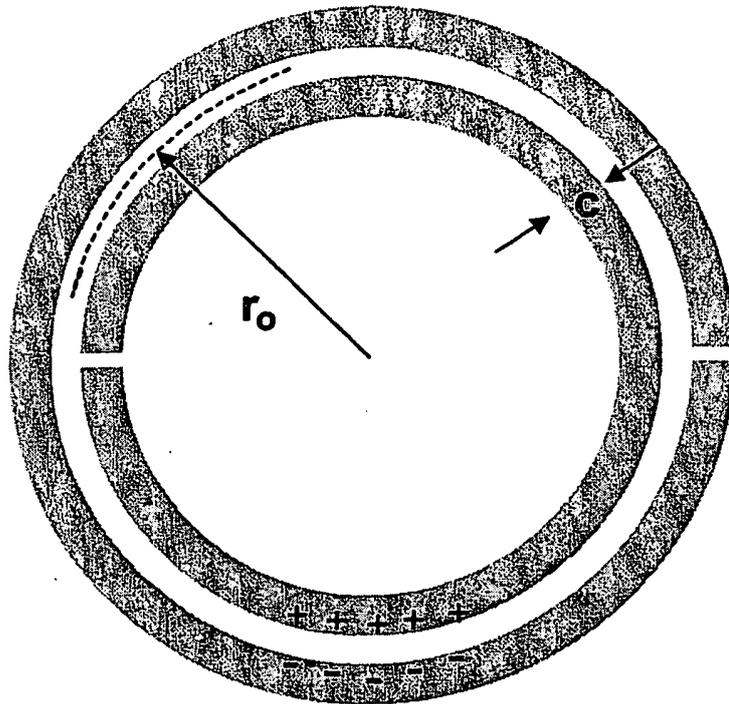
20 El anillo dividido simple resuena a 2,36 GHz. A esta frecuencia la longitud del anillo es aproximadamente la mitad de la longitud de onda. Esto significa que es equivalente a la frecuencia resonante de un dipolo de la misma longitud (sin embargo, un dipolo tendría un tamaño total mayor ya que es recto).

25 Observando la Tabla 1, puede verse que la mayor resistencia de entrada se da para una antena de bucle simple; sin embargo, la frecuencia resonante es 5,5 GHz. La impedancia de entrada del bucle simple a 1,72 GHz es 15, 2 + j979  $\Omega$ , que es altamente inductiva. Si cancelamos la parte reactiva por medio de un condensador en serie, la resistencia de entrada sería 15,2  $\Omega$  que está muy cerca del resonador de anillos divididos plegados, pero el SRR no necesita ninguna red de acoplamiento ni componentes agrupados externos.

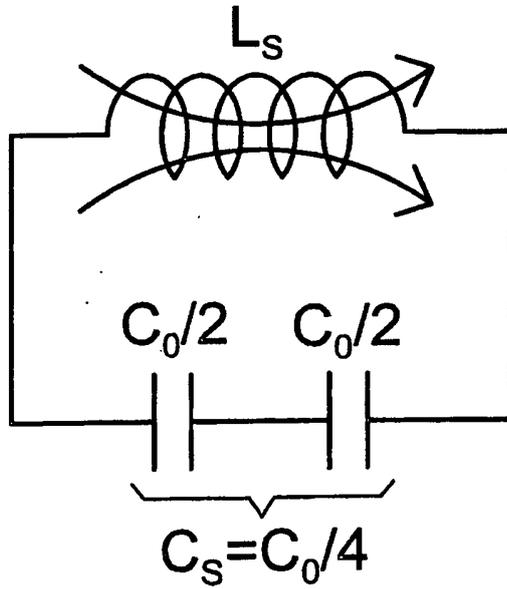
30 Además, la estructura plegada usada en el resonador de anillos divididos plegados tiene dos brazos. Para aumentar más la resistencia de entrada, pueden usarse más brazos. Por ejemplo, el SRR plegado de tres brazos, dibujado en la figura 10, con un tamaño total idéntico, tendría una frecuencia resonante de 1,72 GHz y una impedancia de entrada de 27  $\Omega$ . La resistencia de entrada es de aproximadamente  $N^2$  veces la resistencia de entrada de la estructura no plegada, donde N es el número de brazos.

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Una antena pequeña eléctricamente auto-resonante que comprende al menos un elemento radiante que es una estructura resonante incorporada en un sustrato plano y excitada en un punto (1) de alimentación, estando modelada dicha estructura resonante por un circuito eléctrico equivalente con inductancia y capacitancia que determinan una frecuencia resonante y produciendo dicha estructura resonante una corriente eléctrica a través del punto (1) de alimentación cuando dicha estructura resonante es excitada por un campo magnético dirigido en una dirección transversal al sustrato plano, **que se caracteriza porque** la estructura resonante es un resonador (11) de anillos divididos plegados que comprende un anillo (R1) con un hueco y un anillo plegado (R2') con una ranura externa para el punto (1) de alimentación, configurando dicho anillo plegado (R2') otro hueco en oposición diametral con el hueco del anillo interno (R1) y dicho punto (1) de alimentación.
- 10
- 15 2.- Una antena pequeña eléctricamente auto-resonante que comprende al menos un elemento radiante que es una estructura resonante incorporada en un sustrato plano y excitada en un punto de alimentación, estando modelada dicha estructura resonante por un circuito eléctrico equivalente con inductancia y capacitancia que determinan una frecuencia resonante y produciendo dicha estructura resonante una corriente eléctrica a través del punto de alimentación cuando dicha estructura resonante es excitada por un campo magnético dirigido en una dirección transversal al sustrato plano, **que se caracteriza porque** la estructura resonante es un resonador de anillos divididos plegados que comprende un anillo externo con un hueco y un anillo interno plegado con una ranura interna para el punto de alimentación, configurando dicho anillo interno plegado otro hueco en oposición diametral con el hueco del anillo externo y dicho punto de alimentación.
- 20 3.- Una etiqueta de RFID que comprende la antena pequeña eléctricamente auto-resonante definida de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.
- 4.- La etiqueta de RFID de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la antena pequeña eléctricamente auto-resonante se construye dentro de un tapón de una botella.
- 25 5.- La etiqueta de RFID de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la antena pequeña eléctricamente auto-resonante se construye a partir de una lámina de metal de un envase de burbuja.



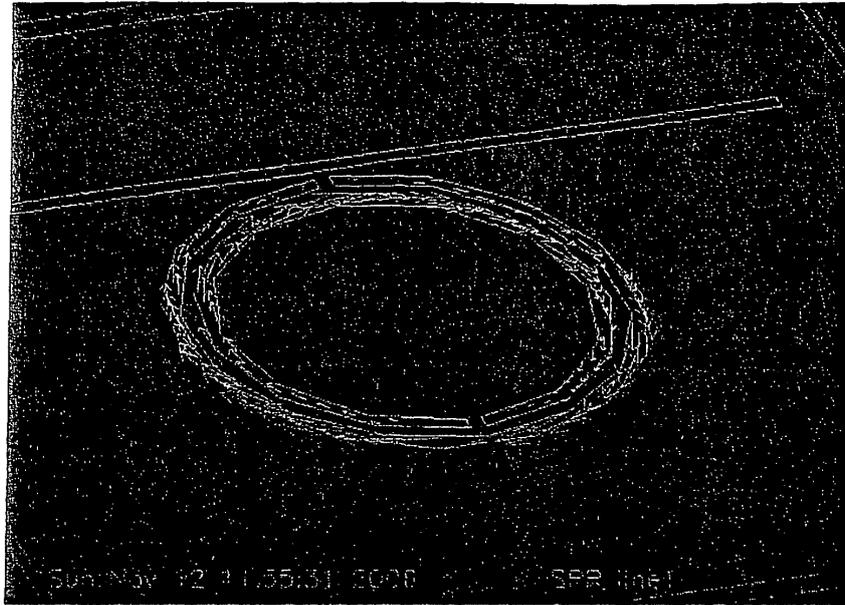
(A)



(B)

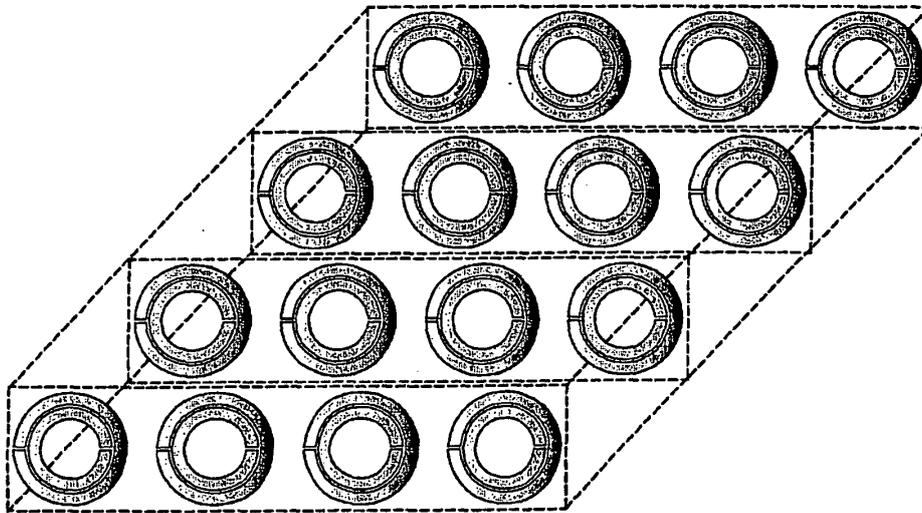
**FIG. 1**

TÉCNICA ANTERIOR



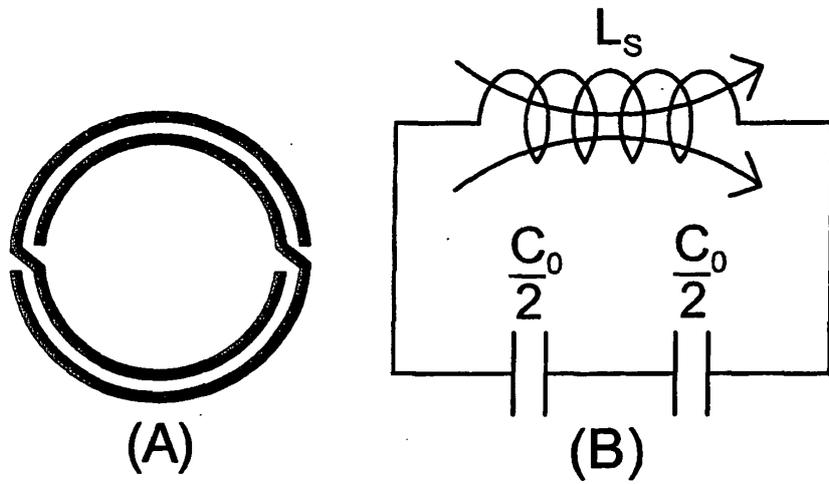
**FIG. 2**

TÉCNICA ANTERIOR



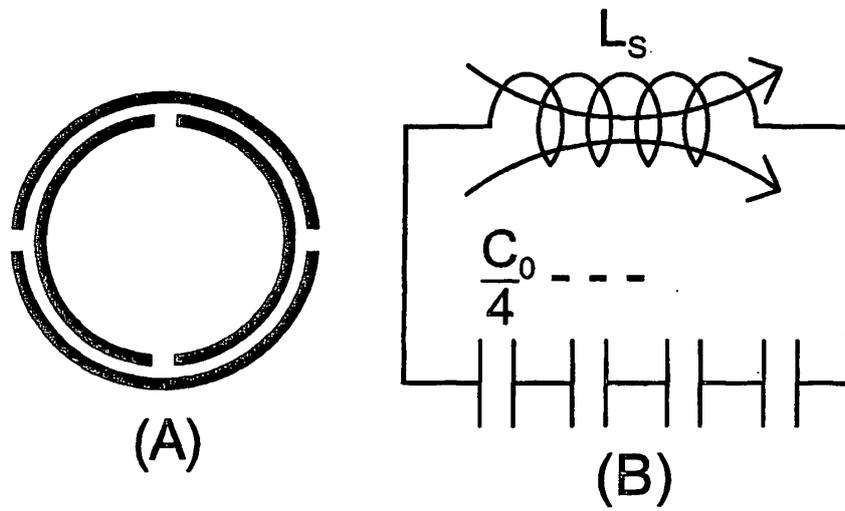
**FIG. 3**

TÉCNICA ANTERIOR



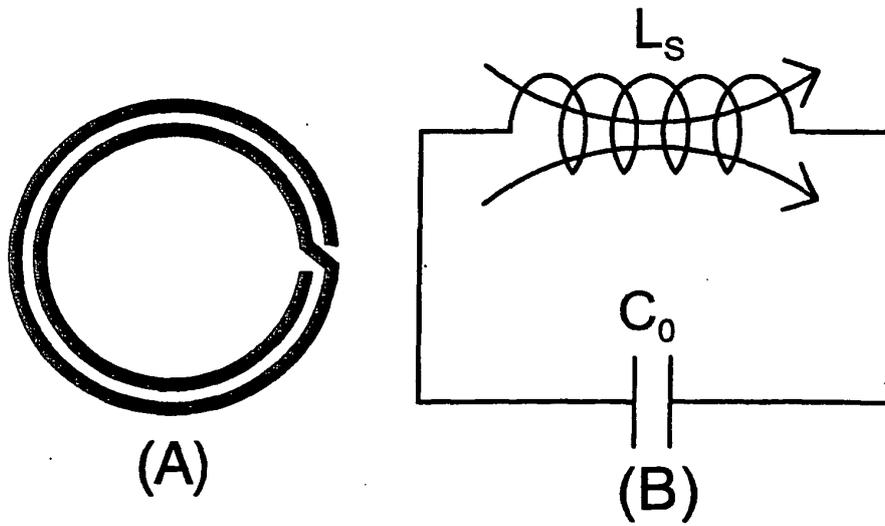
**FIG. 4**

TÉCNICA ANTERIOR



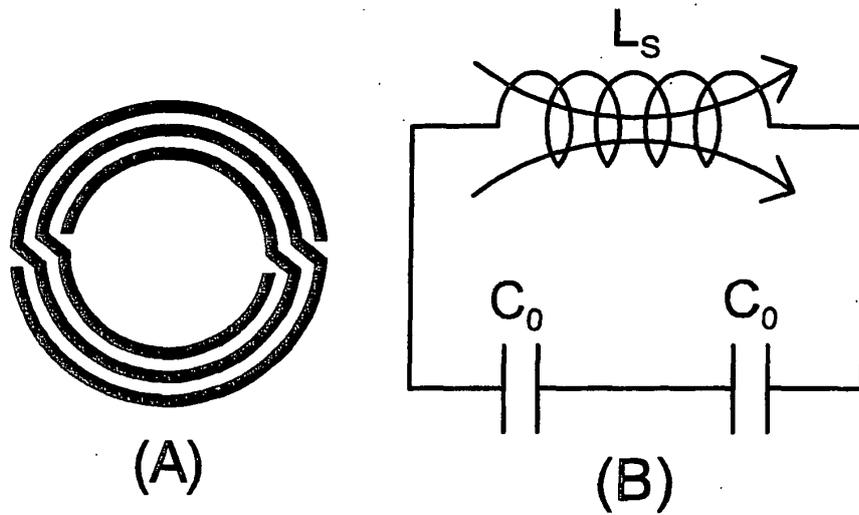
**FIG. 5**

TÉCNICA ANTERIOR



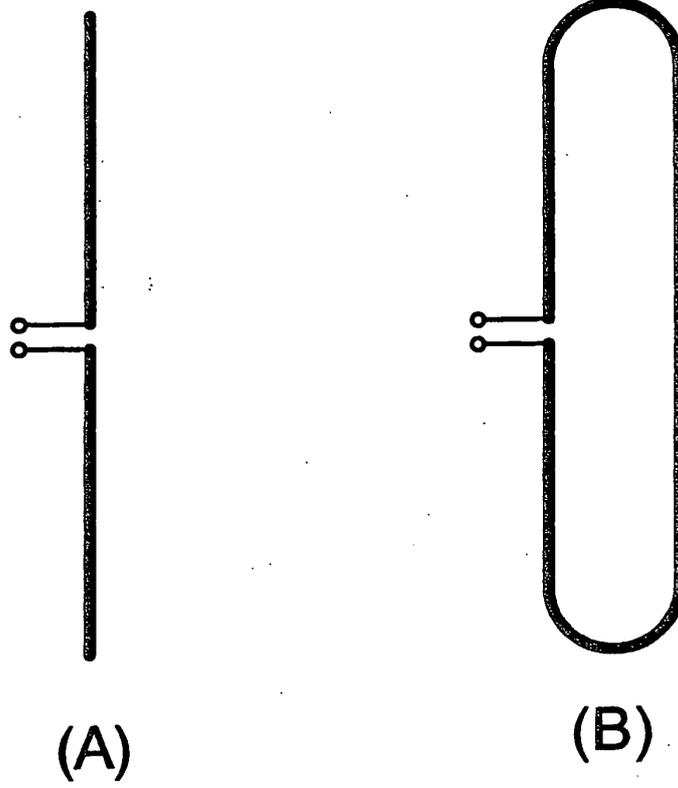
**FIG. 6**

TÉCNICA ANTERIOR



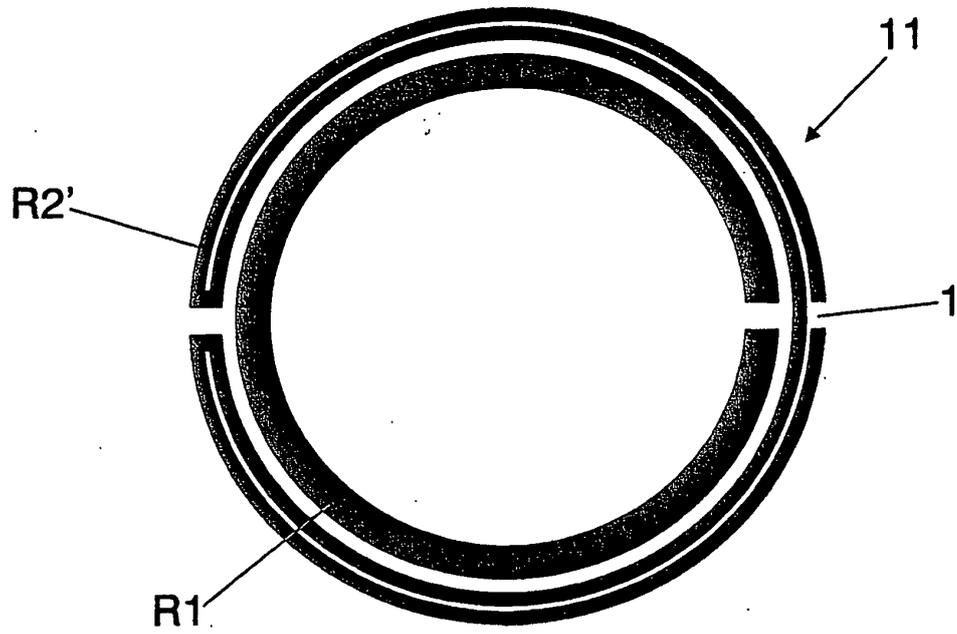
**FIG. 7**

TÉCNICA ANTERIOR

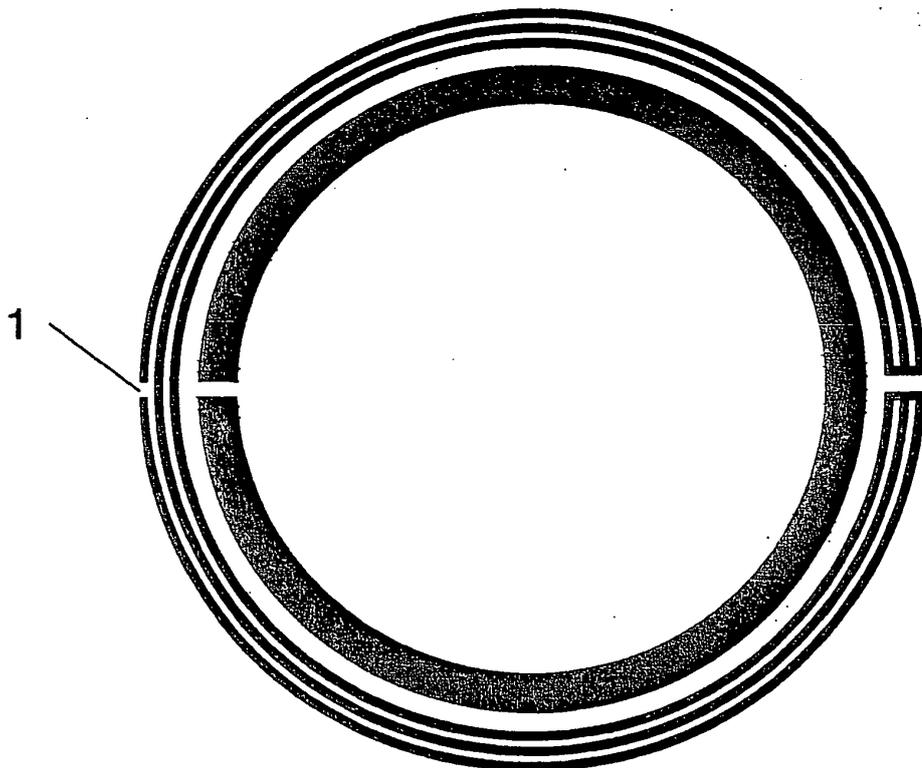


**FIG. 8**

TÉCNICA ANTERIOR



**FIG. 9**



**FIG. 10**