



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 343 632**

51 Int. Cl.:  
**H01P 1/201** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05002145 .0**

96 Fecha de presentación : **02.02.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1562254**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.08.2005**

54 Título: **Filtro coplanario de guía de ondas y método de fabricación del mismo.**

30 Prioridad: **03.02.2004 JP 2004-27187**  
**03.02.2004 JP 2004-27219**  
**07.09.2004 JP 2004-259685**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**05.08.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**05.08.2010**

73 Titular/es: **NTT DoCoMo, Inc.**  
**11-1, Nagatacho 2-chome**  
**Chiyoda-ku, Tokyo 100-6150, JP**

72 Inventor/es: **Satoh, Kei;**  
**Narahashi, Shoichi;**  
**Hirota, Tetsuo y**  
**Yamao, Yasushi**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 343 632 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

Filtro coplanario de guía de ondas y método de fabricación del mismo.

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención está relacionada con un filtro coplanario de guía de ondas, que se utiliza en la separación selectiva de señales en una banda de frecuencias particular del campo de una comunicación de móviles, comunicación vía satélite, comunicación fija por microondas y otras tecnologías, en particular con tal filtro construido con una línea coplanaria.

Recientemente, se ha propuesto utilizar un filtro coplanario de guía de ondas construido con líneas coplanarias, como filtro que se usa en la separación de señales en la transmisión y recepción de una comunicación por microondas. El concepto de línea coplanaria se describirá con referencia a la figura 1.

En la figura 1, formado sobre un sustrato dieléctrico 1, hay un conductor central 2 en forma de cinta y un primer y un segundo conductores 3a y 3b de tierra, dispuestos sobre lados opuestos del conductor central 2, con una separación igual entre ellos. Los tres miembros que incluyen el conductor central 2, el primer y segundo conductores 3a y 3b, están formados paralelamente y coplanarios entre sí, sobre una superficie común del sustrato dieléctrico 1. La línea coplanaria tiene características tales que no se requieren orificios pasantes para formar un acoplador inductivo, que es posible una miniaturización sin cambiar la impedancia característica y que hay disponible una mayor libertad de diseño. Indicando con  $w$  la anchura del conductor central 2, y con  $s$  la separación entre el conductor central 2 y cada uno de los primer y segundo conductores 3a y 3b, la línea coplanaria tiene una impedancia característica que está determinada por la anchura  $w$  de la línea del conductor central 2 y la separación  $d(w+2s)$  entre el primer y el segundo conductores 3a y 3b de tierra.

Haciendo referencia a las figuras 2A a 2C, se describirá ahora un ejemplo convencional de un filtro coplanario de guía de ondas, donde hay dispuestos sobre una línea un primer a un cuarto resonadores 5a a 5d. Cada resonador comprende un conductor central 2 que tiene una longitud eléctrica equivalente a un cuarto de longitud de onda y un primer y un segundo conductores 3a y 3b, dispuestos sobre los lados opuestos y paralelos al conductor central 2 y separados de él por la separación  $s$ , que están formados sobre la superficie común de un sustrato dieléctrico 1.

Una primera sección 4a de terminales de entrada/salida de una guía de ondas coplanaria, a la cual se introduce una señal, está capacitivamente acoplada a un primer resonador 5a. En el ejemplo ilustrado, un extremo de una línea conductora central  $2_{4a}$  de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida y un extremo de una línea conductora central  $2_{R1}$  de un primer resonador 5a, están dispuestos en una relación de acoplamiento mutuo, en la forma de las púas de un peine y separadas por el hueco  $g1$ , con el fin de reforzar el acoplamiento capacitivo, formando así un primer acoplador capacitivo 6a. El otro extremo de la línea conductora central  $2_{R1}$  y un extremo de la línea conductora central  $2_{R2}$  de un segundo resonador 5b, están conectados conjuntamente por conductores 7a1 y 7a2 de línea de cortocircuito, que están conectados a un primer y un segundo conductores 3a y 3b de tierra, respectivamente, formando así un primer acoplador inductivo 8a entre el primer y el segundo resonadores 5a y 5b.

En el primer y segundo conductores 3a y 3b de tierra se forman unos cortes 20 en cada uno de los lados de los conductores 7a1 y 7a2 de línea de cortocircuito, por lo que los conductores 7a1 y 7a2 de la línea de cortocircuito quedan aparentemente ampliados, aumentando el grado de acoplamiento del primer acoplador inductivo 8a. Se dispone un hueco  $g2$  entre el otro extremo de la línea conductora central  $2_{R2}$  del segundo resonador 5b y un extremo de una línea conductora central  $2_{R3}$  de un tercer resonador 5c, por lo que el segundo y el tercer resonadores 5b y 5c están acoplados conjuntamente por medio de un segundo acoplador capacitivo 6b.

El otro extremo de la línea conductora central  $2_{R3}$  y un extremo de una línea conductora central  $2_{R4}$  de un cuarto resonador 5d, quedan conectados conjuntamente por conductores de línea de cortocircuito (no se ilustran signos de referencia) y conectados a conductores 3a y 3b de tierra, por lo que el tercer y cuarto resonadores 5c y 5d quedan acoplados conjuntamente por medio de un segundo acoplador inductivo 8b. En el segundo acoplador inductivo 8b, se forman también cortes en los conductores 3a y 3b de tierra.

El cuarto resonador 5d y una segunda sección 4b de terminales de entrada/salida quedan capacitivamente acoplados. Específicamente, el otro extremo de la línea conductora central  $2_{R4}$  y una línea conductora central  $2_{4b}$  de la segunda sección 4b de terminales de entrada/salida, están formados con una configuración de púas de peine entrelazadas y dispuestas en una relación de oposición y separadas por un hueco  $g3$ , formando así un tercer acoplador capacitivo 6c que proporciona un fuerte acoplamiento entre ellos.

Como se menciona anteriormente, la impedancia característica de la línea coplanaria está determinada por la anchura  $w$  de la línea conductora central y la separación  $d(w+2s)$  de los conductores de tierra, entre el primer y segundo conductores 3a y 3b de tierra. Sin embargo, los resonadores 5a, 5b, 5c y 5d, que forman conjuntamente un filtro de guía de ondas convencional, tiene una impedancia característica de  $50\Omega$  que es la misma que la impedancia característica de diversos dispositivos conectados a la sección 4 de terminales de entrada/salida para facilidad del diseño. (Véase por ejemplo, el artículo de H.Suzuki, Z. Ma, Y.Kobayashi, K. Satoh, S.Narashima y T.Nojima: "A low-loss 5 GHz bandpass filter using HTS quarter-wavelength coplanar waveguide resonators" ("Un filtro de paso de banda de

## ES 2 343 632 T3

5 GHz de baja pérdida que utiliza resonadores coplanarios HTS de guías de onda de un cuarto de longitud de onda”), en IEICE Trans. Electron., vol. E-85-C, Núm. 3, páginas 714-719, de Marzo de 2002).

Consecuentemente, en la práctica de formación del filtro coplanario de guía de ondas, se forma un diseño tal como el ilustrado en la figura 1A, por medio del decapado de películas conductoras sobre un sustrato dieléctrico, diseñando un filtro que satisface una respuesta pretendida del filtro con una impedancia característica de  $50\Omega$ , al tiempo que se elige una separación  $d_1$  de conductores de tierra y una línea conductora central de anchura  $w_1$  de una sección de terminales de entrada/salida, que son iguales a una separación  $d_2$  de conductores de tierra y una anchura  $w_2$  de una línea conductora central de un resonador, respectivamente. Se alimenta potencia al filtro coplanario resultante de guía de ondas y se determina una máxima potencia de entrada de manera que la pérdida de potencia que tiene lugar es igual o menor que un valor dado o si se utiliza un material superconductor para formar una película conductora que ha sido decapada, se determina una entrada máxima de potencia para evitar la pérdida del estado superconductor. En otras palabras, no podría determinarse un nivel de potencia de entrada máxima hasta después de haber formado un filtro.

La figura 3 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente de un filtro coplanario convencional de guía de ondas. En la figura 3, el eje X representa la dirección de la longitud de la línea coplanaria, mientras que el eje Y representa una dirección ortogonal a ella, y una densidad de corriente en una coordenada dada está indicada a lo largo de la ordenada. Se apreciará en la figura 3 que la densidad de corriente sobre la línea 9 del borde (indicada en líneas gruesas) del primer y segundo acopladores inductivos 8a y 8b, como se describirá más adelante, y esto ha sido un factor esencial que origina un aumento de la pérdida de potencia.

La densidad de corriente supone un valor máximo de alrededor de 2200 A/m en el primer acoplador inductivo 8a, que está situado a una distancia de alrededor de 8,5 mm desde la entrada de la línea coplanaria, y también en el segundo acoplador inductivo 8b, que está situado a una distancia de alrededor de 20 mm desde la entrada. La figura 4 muestra gráficamente una distribución de la densidad de corriente del primer acoplador inductivo 8a, a una escala ampliada. La posición a lo largo del eje X ilustrada en la figura 4, representa una longitud referenciada a un extremo de entrada de la señal de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida ilustrada en la figura 2, y una posición correspondiente a 8,892 mm está indicada en la figura 2 por una línea IV-IV. Específicamente, una posición del eje X que vuelve atrás en 0,014 mm hacia la entrada desde el borde lateral del conductor 7a1 de la línea de cortocircuito, que está situada hacia el segundo resonador 5b, representa la posición de 8,892 mm ilustrada en la figura 4. La figura 4 muestra una distribución de densidad de corriente en la gama de 0,1 mm desde esta posición hasta la salida. Se podrá apreciar que la densidad de corriente es particularmente alta en dos lugares que incluyen una esquina  $\alpha$  en la que el conductor 7a1 de la línea de cortocircuito entra en contacto con el primer conductor 3a de tierra y otra esquina  $\beta$  en la que el conductor 7a1 de la línea de cortocircuito entra en contacto con la línea conductora central  $2_{R2}$ , y que la corriente se concentra en una esquina  $\gamma$  situada en el lado opuesto a la esquina  $\alpha$  del corte rectangular 20 en los primeros conductores 3a de tierra que se disponen con el fin de aumentar el grado de acoplamiento del acoplador inductivo 8. Tales picos de concentración de corriente tienen lugar también en las respectivas esquinas que están situadas en simetría lineal con respecto a la línea central que está dibujada a través del centro de la anchura del conductor 7a1 de la línea de cortocircuito desde las esquinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Hay un pico de concentración de corriente relativamente alto en las tres esquinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Debe entenderse que la misma tendencia prevalece en el lado del segundo conductor 3b de tierra, que produce una concentración de corriente en cada esquina entre el conductor 7a2 de la línea de cortocircuito y la línea conductora central  $2_{R2}$  y el segundo conductor 3b de tierra.

En un filtro convencional, un enfoque para aumentar el grado de acoplamiento del acoplador inductivo ha sido reducir la anchura de los conductores 7a1 y 7a2 de línea de cortocircuito o aumentar la longitud sustancial de los conductores de línea de cortocircuito disponiendo unos cortes 20 en los conductores 3 de tierra. Como resultado de tal enfoque, la concentración de corriente tiene lugar en las esquinas del conductor de línea de cortocircuito que forma el acoplador inductivo y surge un problema en un filtro, en el cual las películas conductoras sobre el sustrato dieléctrico están formadas por un material superconductor, de que el estado superconductor se destruye al ocurrir una concentración de corriente que excede de una densidad de corriente crítica si el resonador fuera refrigerado por debajo de una temperatura crítica.

También surge el problema de que la construcción de la configuración de los conductores 7a1, 7a2 de cortocircuito se hace más fina o complicada, presentando la dificultad de fijar la precisión del diseño.

A través del documento EP 0 933 831 A1, se conoce un filtro coplanario de guía de ondas de la técnica anterior.

El documento de SUBRAMANYAM G y otros colaboradores, en el INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: “Ferroelectric thin-film based electrically tunable ku-band coplanar waveguide components” (“Componentes coplanarios de guía de ondas en banda Q eléctricamente sintonizables basados en película delgada ferroeléctrica”, 2001 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST. (IMS 2001). PHOENIX, AZ, 20-25 Mayo, 2001. IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM; NEW YORK; NY: IEEE, Estados Unidos, vol. 1 de 3, 20 Mayo 2001 (2001-05-20) páginas 471-474, XP001067319 ISBN:0-7803-6538-0, está relacionado con resonadores coplanarios de guía de ondas formado sobre una película delgada ferroeléctrica. Más en particular, el documento muestra un resonador de media longitud de onda acoplado capacitivamente a secciones de entrada y salida, donde la impedancia característica de la sección del resonador es mayor que la de las secciones de entrada y salida, para aumentar la capacidad de sintonía.

## ES 2 343 632 T3

El documento US 5750473 A está relacionado con un filtro de guía de ondas y muestra terminales coplanarios de entrada/salida dispuestos en un lado posterior de un sustrato dieléctrico y rodeado por un conductor de tierra. Los resonadores están formados en el lado frontal opuesto del sustrato y están acoplados entre sí por líneas de acoplamiento formadas en el lado posterior. Los resonadores que están más lejos entre sí están acoplados a los terminales de entrada/salida a través del sustrato dieléctrico entre ellos. En esta configuración, los resonadores no están construidos como una guía de ondas coplanaria.

Ambos documentos “*Highly compact micro-machined coplanar bandpass filter*” (“Filtro de paso de banda coplanario altamente compacto micromecanizado”), de K.Grenier y otros colaboradores, 30ª Conferencia Europea de Microondas, del 3-5 Octubre de 2000, París, páginas 129-132, XP1060708 (figura 5) y “*Microwave properties of coplanar transmission lines and filters on diamond from 1-120 GHz*” (“Propiedades de las microondas en líneas y filtros coplanarios de transmisión en diamante desde 1-120 GHz”, de F.Steinhausen y otros colaboradores, Simposio Internacional de Microondas del IEEE MTT-S de 1998, del 7-12 Junio de 1998, páginas 1065-1068, XP10290448D, divulgan un filtro coplanario de guía de ondas, de acuerdo con la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 1, en el cual el acoplador capacitivo está formado por partes finales entrelazadas de dicha primera y segunda líneas de conductores centrales, sin ser expandida en la dirección de la anchura del mismo.

La presente invención ha sido hecha considerando estos aspectos, y tiene por objeto la provisión de un filtro coplanario de guía de ondas que reduce la máxima densidad de corriente en un resonador y evita un aumento de la pérdida de potencia, con una construcción que asegura que se puede mantener la precisión del diseño y que impide que se destruya un estado superconductor, si se forman las películas conductoras de los componentes con un material superconductor.

También debe entenderse que en un método convencional de formación, la potencia de una señal de entrada en el filtro se determina después de haber formado un filtro coplanario de guía de ondas, y ha sido difícil fabricar un filtro que tenga una respuesta deseada con respecto a una potencia predeterminada de la señal de entrada.

### Sumario de la invención

Este objeto se consigue por medio de un filtro coplanario de guía de ondas, como se reivindica en la reivindicación 1. Los modos de realización preferidos de la invención están definidos en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la presente invención, se alivia la concentración de densidad de corriente en el resonador coplanario, para reducir la pérdida de potencia, y cuando las películas conductoras que definen el filtro están formadas por un material superconductor, se impide la destrucción del estado superconductor.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en perspectiva que ilustra el concepto de una línea coplanaria;

La figura 2A es una vista en planta de un filtro coplanario convencional de guía de ondas;

La figura 2B es un alzado del lado derecho de la figura 2A;

La figura 2C es una vista frontal de la figura 2A;

La figura 3 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente de un filtro coplanario convencional de guía de ondas;

La figura 4 muestra una distribución de densidad de corriente de un acoplador inductivo en un filtro coplanario convencional de guía de ondas;

La figura 5A es una vista en planta de un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda;

La figura 5B es un alzado del lado derecho de la figura 5A;

La figura 5C es una vista frontal de la figura 5A;

La figura 6 muestra gráficamente una relación entre la densidad de corriente máxima y una relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de una línea conductora central, con respecto a una separación  $d_1$  del conductor de tierra del resonador, de acuerdo con la figura 5;

La figura 7 muestra gráficamente una relación entre el valor  $Q$  sin carga del resonador y la relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de una línea conductora central, con respecto a una separación  $d_1$  del conductor de tierra del resonador, de acuerdo con la figura 5;

## ES 2 343 632 T3

La figura 8 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente de un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda, de acuerdo con un modo de realización de la invención;

5 La figura 9 muestra gráficamente una vista ampliada de la distribución de densidad de corriente de la figura 8 del acoplador inductivo en el filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda;

La figura 10 muestra gráficamente un ejemplo de respuesta en frecuencias del filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda, de acuerdo con la figura 5;

10 La figura 11 muestra gráficamente un ejemplo de impedancia característica dibujada en función de la relación  $k$  de la anchura de la línea conductora central con respecto a la separación del conductor de tierra, en el filtro de acuerdo con la figura 5;

15 La figura 12 es una vista en planta de un filtro resonador de una sola etapa;

La figura 13A es una vista en planta de un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda;

20 La figura 13B es un alzado del lado derecho de la figura 13A;

La figura 13C es una vista frontal de la figura 13A;

25 La figura 14 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente del filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda ilustrado en la figura 13;

La figura 15 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente del acoplador inductivo en el filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda ilustrado en la figura 13;

30 La figura 16 muestra gráficamente una densidad de corriente máxima  $i_{max,n}$  dibujada en función de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central;

La figura 17 es una vista en perspectiva de un modo de realización de un filtro coplanario de guía de ondas, que está contenido en una caja metálica;

35 La figura 18 es un diagrama de flujo de un ejemplo de procedimiento de proceso; y

La figura 19 es un diagrama de bloques de un ejemplo de configuración funcional de una unidad auxiliar que se utiliza en una parte del procedimiento de proceso ilustrado en la figura 18.

40 Las figuras 5A a 5C muestran un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y de un cuarto de longitud de onda, en el cual hay dispuestos unos resonadores coplanarios 5a a 5d de un cuarto de longitud de onda sobre una línea, de una manera similar a la ilustrada en la figura 2. Como diferencia, se elige la separación  $d_1$  de conductores de tierra entre los conductores 3a y 3b de tierra de cada uno de los resonadores que forman el filtro coplanario de guía de ondas de un cuarto de longitud de onda, de manera que sea mayor que la separación  $d_{i0}$  de conductores de tierra de cada una de las secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida.

45 La impedancia característica de una primera sección 4a de terminales de entrada/salida a la cual se introduce una señal, se elige de manera que sea  $50\Omega$ , por ejemplo, desde el punto de vista de hacer coincidir la impedancia característica de un dispositivo que esté conectado a ella.

50 Consecuentemente, en el ejemplo presente, la anchura  $w_{i0}$  de cada una de las líneas conductoras centrales  $2_{4a}$  y  $2_{4b}$  de la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida se elige de manera que sea 0,218 mm y la separación  $d_{i0}$  de conductores de tierra se elige de manera que sea 0,4 mm. Por otra parte, en cada uno de los resonadores 5a a 5d que están dispuestos entre la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida, cada uno de los conductores centrales  $2_{R1}$  a  $2_{R4}$  tiene una anchura  $w_1$  que es igual a 0,218 mm y por tanto igual a la de las primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida, pero cada una de las separaciones  $d_1$  de los conductores de tierra se elige de manera que sea mayor que 0,4 mm y cae en una gama igual o inferior al valor máximo de 1,78 mm de la figura 5. Así, en este ejemplo, la separación  $d_1$  del conductor de tierra de cada resonador es mayor que la separación  $d_{i0}$  de cada una de las primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida.

60 Sin embargo, como será evidente por la figura 6, cuando aumenta la separación  $d_1$  del conductor de tierra, la curva característica de  $i_{max,n-k}$  se desplaza hacia abajo en esta figura, y la curva adopta una pendiente moderada, y por tanto  $d_1$  no queda restringida a ser igual o inferior a los 1,78 mm mencionados anteriormente.

65 Los extremos 51 y 61 de acoplamiento capacitivo, que forman un primer acoplador 6a entre la primera sección 4a de entrada/salida y el primer resonador 5a, quedan extendidos hacia los conductores 3a y 3b de tierra de una manera correspondiente al aumento de la separación  $d_1$  del conductor de tierra y quedan dispuestos de una manera en estrecha oposición y separados por un hueco  $g_1$ . La longitud sobre la cual se disponen los extremos 51 y 61 en una relación de oposición se elige de manera que sea igual a la longitud opuesta entre los extremos de acoplamiento del primer

## ES 2 343 632 T3

acoplador capacitivo 6a ilustrado en la figura 2, por ejemplo. Así, el primer acoplador capacitivo 6a está formado por una simple construcción en la cual los extremos de acoplamiento están opuestos a lo largo de líneas rectilíneas, en lugar de utilizar una complicada estructura a manera de púas de peine entrelazadas.

5 Los conductores 7a1 y 7a2 de líneas de cortocircuito que se acoplan entre el primer y segundo resonadores 5a y 5b tienen una longitud suficiente para proporcionar un grado satisfactorio de acoplamiento que sirva como primer acoplador inductivo 8a sin formar cortes 20, como se ilustra en la figura 2A, en el primer conductor 3a de tierra y en el segundo conductor 3b de tierra, en la región de unión entre estos conductores 7a1 y 7a2 de líneas de cortocircuito y el primer y segundo conductores 3a y 3b de tierra, porque la separación  $d_1$  del conductor de tierra es mayor que el  
10 valor correspondiente de la técnica anterior. Consecuentemente, el primer acoplador inductivo 8a tiene también una construcción más simple que la ilustrada en la figura 2.

De la misma manera que el primer acoplador inductivo 8a, se construye un segundo acoplador inductivo 8b. Así, no se forman los cortes 20 en los conductores de tierra que han sido utilizados en la técnica anterior para aumentar el grado  
15 de acoplamiento de los acopladores inductivos 8a y 8b. En otras palabras, la separación S2 entre las líneas conductoras centrales  $2_{R1}$  a  $2_{R4}$  y los conductores 3a y 3b de tierra, es igual a la longitud L de cada uno de los conductores 7a1, 7a2 de líneas de cortocircuito que forman los acopladores inductivos 8a y 8b, y por tanto, no hay formados cortes rectangulares 20 en los conductores 3a y 3b de tierra.

20 Dicho de una manera diferente, el conductor 7a1 de línea de cortocircuito está conectado formando ángulo recto con el conductor 3a de tierra, y el borde de la unión dispuesta hacia al conductor de tierra se extiende a la posición del primer y segundo acopladores capacitivos 6a y 6b, paralelamente a las líneas conductoras centrales  $2_{R1}$  y  $2_{R4}$ .

Como consecuencia, los conductores 7a, 7b de líneas de cortocircuito y su unión con los conductores de tierra  
25 asumen una configuración sencilla que puede ser fácilmente fabricada, reduciendo esquinas en las líneas de transporte de corriente donde se concentra probablemente la densidad de corriente. Una configuración que sigue al primer resonador 5a es idéntica a la configuración del filtro coplanario de cuatro etapas y un cuarto de longitud de onda, descrito anteriormente con relación a la figura 2, excepto que los extremos de acoplamiento del acoplador capacitivo cambian de configuración, y de manera que no se forman cortes en la región de la unión entre los conductores de línea de  
30 cortocircuito que forman el acoplador inductivo y los conductores de tierra. Consecuentemente, solamente se describirá brevemente una conexión de la misma.

Debido a que el conductor 7a de línea de cortocircuito está construido de la manera mencionada anteriormente, la  
35 separación entre cada línea conductora central  $2_{R2}$ ,  $2_{R3}$  y  $2_{R4}$ , y los conductores 3a y 3b de tierra de los resonadores 5b, 5c y 5d es igual a S2. Un segundo acoplador capacitivo 6a dispuesto entre el segundo resonador 5b y el tercer resonador 5c, está construido de la misma manera que el segundo acoplador capacitivo 6a ilustrado en la figura 2. Un tercer acoplador capacitivo 6c dispuesto entre el cuarto resonador 5d y la segunda sección 4b de terminales de  
40 entrada/salida, está construido de manera similar al primer acoplador capacitivo 6a ilustrado en la figura 5. Específicamente, un extremo 62 de acoplamiento capacitivo en un extremo de la línea conductora central  $2_{R4}$  y un extremo 52 de acoplamiento capacitivo en un extremo del conductor central  $2_{4b}$ , son simplemente miembros lineales más anchos que se extienden transversalmente en ambos lados con respecto a cada lado de la línea conductora central, y están estrechamente separados y opuestos entre sí, para aumentar el grado de acoplamiento. La segunda sección 4b de terminales de entrada/salida tiene una anchura  $w_{i0}$  de la línea conductora central que es igual a 0,218 mm, una separación  $d_{i0}$  del conductor de tierra igual a 0,4 mm y una impedancia característica de  $50\Omega$ , con el fin de coincidir con la impedancia  
45 característica de un dispositivo externo conectado a ella.

Un resultado de la simulación para una relación entre la densidad de corriente máxima de un flujo de corriente a  
través del filtro, y la relación k entre una anchura  $w_1$  de la línea conductora central y una separación  $d_1$  del conductor de tierra de un resonador, para un único resonador en el filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y un cuarto de  
50 longitud de onda, construido de la manera ilustrada en la figura 5, está ilustrado gráficamente en la figura 6, utilizando la separación  $d_1$  del conductor de tierra como parámetro. Así, este resultado se obtiene mediante la realización de la simulación bajo la condición de no haber formado cortes rectangulares 20 en los conductores de tierra en la región del acoplador inductivo. La simulación tuvo lugar con una entrada de onda sinusoidal de una tensión de 1 Vpp y una frecuencia de 5 GHz. En la figura 6, la abscisa representa la relación k de la anchura  $w_1$  de la línea conductora  
55 central con respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra o  $w_1/d_1$ , mientras que la ordenada representa la densidad de corriente máxima  $i_{\max,n}$  que está normalizada por la densidad de corriente máxima que tiene lugar en un resonador utilizando una separación del conductor de tierra  $d_1 = 0,4$  mm y una impedancia de  $50\Omega$ . La separación  $d_1$  del conductor de tierra que se utiliza como parámetro, se elige de manera que sea 0,4 mm, 0,545 mm, 0,764 mm, 1,055 mm y 1,780 mm. Consecuentemente, la anchura de la línea conductora central estará en su máximo cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra sea igual a 1,780 mm, permitiendo que la anchura  $w_1$  de la línea conductora central sea variable en una gama desde 0,035 mm a 1,744 mm (que se supone cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 1,780 mm). Cuando la anchura  $w_1$  de la línea conductora central se aumenta, manteniendo constante la separación  $d_1$  del conductor de tierra, la densidad de corriente máxima presenta una respuesta que tiene una configuración cóncava tal como una curva cuadrática.  
60

65 Los datos dibujados con una línea delgada 21 de la figura 6, representan datos obtenidos cuando la anchura  $w_1$  la línea conductora central se mantiene constante en 0,218 mm. Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,4 mm, se deduce que  $k = 0,54$ , y este punto 22 se elige de manera que represente 1,0 para la normalización de

## ES 2 343 632 T3

la densidad de corriente máxima. Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra se aumenta a 0,545 mm, se deduce que  $k = 0,4$ , por lo que la densidad de corriente máxima normalizada (en adelante denominada simplemente “densidad de corriente”) se reduce hasta alrededor de 0,83. Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra sigue aumentando hasta 0,764 mm, se deduce que  $k = 0,29$ , por lo que la densidad de corriente se reduce a alrededor de 0,69. Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra aumenta hasta 1,055 mm, se deduce que  $k = 0,2$ , por lo que la densidad de corriente se reduce a alrededor de 0,56. Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra aumenta hasta 1,78 mm, se deduce que  $k = 0,12$ , por lo que la densidad de corriente se reduce a alrededor de 0,4.

De esta manera, cuando la anchura  $w_1$  de la línea conductora central se mantiene constante, la densidad de corriente máxima del resonador se reduce a medida que la separación  $d_1$  del conductor de tierra aumenta.

La figura 6 se considerará con más detalle. Como se ha mencionado previamente, cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,4 mm,  $k = 0,54$  y la impedancia característica es igual a  $50\Omega$ . En este punto 22, la densidad de corriente máxima está normalizada en 1,0. Suponiendo que la gama utilizable esté dentro de +10% desde el valor más pequeño de la densidad de corriente, cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,4 mm, la gama de  $k$  en la cual la densidad de corriente máxima es igual o inferior a 1,1 estará localizada en una gama desde 0,20 a 0,73.

Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,545 mm, la densidad de corriente máxima será 0,83 y supone el valor más pequeño para  $k = 0,47$ . Consecuentemente, la gama utilizable en la cual la densidad de corriente máxima permanece dentro del +10% desde el valor más pequeño, será desde  $k = 0,19$ , donde la densidad de corriente máxima es 0,91, hasta  $k = 0,71$ . Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,764 mm, la densidad de corriente máxima asume el valor más pequeño de 0,68 en  $k = 0,4$ . Consecuentemente, la gama utilizable dentro de la cual la densidad de corriente máxima permanece dentro del +10%, será desde  $k = 0,13$ , donde la densidad de corriente máxima es 0,75, hasta  $k = 0,76$ . Cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 1,055 mm, la densidad de corriente máxima asume el valor más pequeño de 0,55 en  $k = 0,4$ . Consecuentemente, la gama utilizable dentro de la cual la densidad de corriente máxima permanece dentro del +10% es desde  $k = 0,11$ , donde la densidad de corriente máxima es 0,61, hasta  $k = 0,75$ . Considerando la separación  $d_1$  del conductor de tierra igual a 1,780 mm, la densidad de corriente máxima asume un valor mínimo de 0,37 en  $k = 0,41$ , y la gama utilizable dentro de la cual la densidad de corriente máxima permanece dentro del +10% es desde  $k = 0,12$ , donde la densidad de corriente máxima es 0,41 en  $k = 0,70$ .

A partir de los resultados mencionados anteriormente, se observará que para un valor de la separación  $d_1$  del conductor de tierra en una gama desde 0,4 hasta 1,78, como se ha considerado anteriormente, la densidad de corriente máxima se puede mantener dentro del +10% desde el valor más pequeño, para una gama desde  $k = 0,20$  hasta  $k = 0,70$ .

De esta manera, la separación  $d_1$  del conductor de tierra y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central, se establecen de manera correspondiente a una porción central de una gama en la cual no hay un cambio sustancial de la densidad de corriente máxima con respecto a un cambio en  $k$ . Se forma entonces un filtro coplanario de guía de ondas mediante el decapado de películas conductoras sobre el sustrato dieléctrico en conformidad con la separación  $d_1$  del conductor de tierra y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central que están establecidas de manera que la respuesta pretendida del filtro pueda ser satisfecha. Es entonces posible formar un filtro coplanario de guía de ondas de una manera sencilla, en conformidad con una especificación demandada, determinando previamente una gama en la cual no hay un cambio sustancial de la densidad de corriente máxima con respecto a  $k$ .

Una línea gruesa 23 en la figura 6 representa los puntos de unión de una curva en la que la impedancia característica  $Z_0$  del resonador es constante en  $Z_0 = 50\Omega$ . La anchura  $w_1$  de la línea conductora central que proporciona la impedancia característica  $Z_0$  de  $50\Omega$  cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,4 mm, viene dada por  $w_1 = 0,218$  mm, y este punto es donde la densidad de corriente máxima está normalizada en 1,0. La anchura  $w_1$  de la línea conductora central que proporciona una impedancia característica  $Z_0$  de  $50\Omega$  cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,545 viene dada por  $w_1 = 0,325$ , y la densidad de corriente es aproximadamente 0,84. La anchura  $w_1$  de la línea conductora central que proporciona una impedancia característica  $Z_0$  de  $50\Omega$  cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 0,764 mm, viene dada por  $w_1 = 0,482$  mm y la densidad de corriente es alrededor de 0,70.

La anchura  $w_1$  de la línea conductora central que proporciona una impedancia característica  $Z_0$  de  $50\Omega$  cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 1,055 mm viene dada por  $w_1 = 0,707$  mm y la densidad de corriente es alrededor de 0,56. La anchura  $w_1$  de la línea conductora central que proporciona una impedancia característica  $Z_0$  de  $50\Omega$  cuando la separación  $d_1$  del conductor de tierra es igual a 1,78 viene dada por  $w_1 = 1,308$  mm y la densidad de corriente es alrededor de 0,4.

Cuando la impedancia característica  $Z_0$  del resonador se hace constante en  $50\Omega$ , por ejemplo, la densidad de corriente máxima del resonador puede ser reducida a medida que aumenta la anchura  $w_1$  de la línea conductora central. Una elección de  $d_1$  que sea mayor que  $d_{i0}$  conduce a una reducción de la densidad de corriente máxima, y es preferible elegir  $w_1$  de manera que sea mayor que  $w_{i0}$ , con el fin de mantener constante la impedancia característica, e  $i_{max,n}$  puede ser mantenida tan pequeña como sea posible, mediante el ajuste de ambos parámetros.

## ES 2 343 632 T3

Una reducción de la densidad de corriente máxima tiene el efecto de reducir la pérdida del conductor en el resonador. La figura 7 muestra una relación entre un valor Q sin carga del resonador y k. En la figura 7, la abscisa representa la relación de la anchura w1 de la línea conductora central con respecto a la separación d1 del conductor de tierra o  $k = w1/d1$ , mientras que la ordenada representa un valor de Q sin carga de  $Q_{0,n}$  cuando el valor Q sin carga a la impedancia característica de  $50\Omega$ , para la separación del conductor de tierra  $d1 = 0,4$  mm, está normalizado en una referencia de 1,0. Generalmente, en una gama de k desde 0,25 hasta 0,55, el valor de Q sin carga del resonador asume su máximo. Una línea delgada sólida 24 representa los puntos de unión de una curva, donde la anchura w1 de la línea conductora central es constante en 0,218 mm. Una línea gruesa sólida 26 representa una curva que une puntos en los que prevalece la impedancia característica  $Z_0 = 50\Omega$  comenzando en un punto 25 donde la impedancia característica  $Z_0 = 50\Omega$  para una anchura  $w1 = 0,218$  de la línea conductora central y una separación  $d1 = 0,4$  mm del conductor de tierra.

Cuando se requiere una baja pérdida de inserción en un filtro coplanario, puede hacerse una configuración para establecer una relación k de la anchura de la línea conductora central con respecto a una separación del conductor de tierra que proporcione un valor máximo Q sin carga del resonador.

Se describirá ahora una relación entre la impedancia característica y l relación entre la anchura w1 de la línea conductora central con respecto a la separación d1 del conductor de tierra. Una relación entre una corriente y una tensión en una línea distribuida constante, viene dada generalmente por las siguientes ecuaciones:

$$i = \frac{\dot{V}_i}{Z} e^{-\gamma z} - \frac{\dot{V}_r}{Z} e^{\gamma z} = \dot{I}_i e^{-\gamma z} + \dot{I}_r e^{\gamma z}$$

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}, \quad \gamma = \alpha + \beta, \quad \alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \beta = \omega \sqrt{LC}$$

donde

$I_i, V_i$ : un valor de corriente y un valor de tensión de una onda progresiva

$I_r, V_r$ : un valor de corriente y un valor de tensión de una onda reflejada

$\gamma$ : constante de propagación

$\alpha$ : constante de atenuación

$\beta$ : constante de fase

Z: impedancia característica

R: resistencia en serie

L: inductancia en serie

G: conductancia en paralelo

C: capacitancia.

Un valor de corriente en una línea distribuida constante es inversamente proporcional a la impedancia característica. Una impedancia característica de una línea de tipo coplanario viene dada por lo siguiente:

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{4\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \times \frac{K'(k)}{K(k)}$$

donde  $\epsilon_{\text{eff}}$  representa la constante dieléctrica eficaz de una línea del tipo coplanario,  $\eta_0$  es la impedancia de la onda en el espacio libre,  $K(k)$  una integral elíptica perfecta de un primer tipo, y ' una derivada.

$\epsilon_{\text{eff}}$ ,  $\eta_0$  y  $K(k)$  están representadas como sigue:

$$\epsilon_{\text{eff}} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \frac{K'(k)}{K(k)} \times \frac{K(k_1)}{K'(k_1)}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi$$

$$K(k) = \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{(1-x^2) \times (1-k^2 x^2)}}$$

$$k = \frac{w}{d}$$

$$k_1 = \frac{\text{senh}(\pi w / 4h)}{\text{senh}(\pi d / 4h)}$$

La impedancia característica  $Z_0$  está determinada por  $k$ , la constante dieléctrica  $\epsilon_r$  de un sustrato dieléctrico y el espesor  $h$  del sustrato dieléctrico. De esta manera, al cambiar la relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central con respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra de una manera adecuada, se puede cambiar la impedancia característica.

Considerando lo anterior, se describirá un modo de realización de la presente invención. Con un intento de reducir la densidad de corriente máxima de resonadores que definen un filtro de guía de ondas, se ha hecho una investigación sobre el uso de un aumento de impedancia característica de un resonador. A modo de ejemplo, se considera una combinación de un resonador con una impedancia característica de  $100\Omega$  con una primera sección 4a de terminales de entrada/salida, que tiene una impedancia característica de, por ejemplo,  $50\Omega$ . El filtro ilustrado en la figura 5, que ha sido descrito anteriormente, incluye la primera sección 4a de terminales de entrada/salida que tiene una impedancia característica de  $50\Omega$ , y cuando un resonador tiene una impedancia característica de  $100\Omega$ , suponiendo una separación  $d_{10}$  del conductor de tierra de  $0,4$  mm y una anchura  $w_{10}$  de la línea conductora central de  $0,218$  mm, para la primera sección 4a de terminales de entrada/salida, se deduce que el resonador tendrá una separación  $d_1$  del conductor de tierra de  $1,780$  mm y una anchura  $w_1$  de la línea conductora central de  $0,218$  mm.

En la figura 8 se ilustra gráficamente un resultado de simulación realizado para una distribución de densidad de corriente en un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y un cuarto de longitud de onda de este ejemplo numérico, que corresponde a la figura 4. La densidad de corriente está en su máximo en un primer acoplador inductivo 8a, que está situado a una distancia de alrededor de  $8,0$  mm desde el extremo de entrada de la línea coplanaria, y también en un segundo acoplador inductivo 8b que está situado a una distancia de aproximadamente  $22$  mm desde el extremo de entrada. El pico de densidad de corriente es aproximadamente  $1200$  A/m, que es considerablemente reducido en comparación con el pico ilustrado en la figura 3, que es ligeramente menor que aproximadamente  $2200$  A/m. La figura 9 ilustra gráficamente una distribución de densidad de corriente del primer acoplador inductivo 8a a una escala ampliada, de una manera correspondiente a la figura 4. La posición a una distancia de  $8,159$  mm desde el extremo de entrada de la señal de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida, descansa sobre el conductor 7a1 de línea de cortocircuito, y se corresponde con una parte indicada con la línea IX-IX que está ilustrada en la figura 5. Así, la posición sobre el eje X que está retrasada alrededor de  $0,02$  mm desde el borde lateral del conductor 7a1 de la línea de cortocircuito, que está dispuesto hacia el resonador 5b, representa la posición de  $8,159$  mm ilustrada en la figura 9. La figura 9 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente en una gama que va desde esta posición y se extiende alrededor de  $0,1$  mm hacia la salida. Se podrá apreciar que la concentración de corriente tiene lugar en una esquina  $\beta$  en la que el conductor 7a1 de línea de cortocircuito entra en contacto con la línea conductora central  $2_{R2}$ . No existe otra esquina en la que tenga lugar una concentración de corriente en la figura 9. De esta manera, con este modo de realización, el número de picos en la densidad de corriente se reduce. El único pico tiene un valor de alrededor de  $1200$  A/m, que se reduce a una magnitud que es aproximadamente alrededor del 55% de un valor convencional. La razón por la que el número de picos se reduce es debida a que el número de esquinas en que tiene lugar la concentración de corriente se reduce como resultado del hecho de que los cortes rectangulares 20 en los conductores de tierra que estaban presentes en la técnica anterior, no existen en este modo de realización. Una reducción de la densidad de corriente de pico representa un efecto de aumento de la impedancia característica del resonador a  $100\Omega$ .

## ES 2 343 632 T3

Con este modo de realización, la densidad de corriente en cada uno de los resonadores 5a a 5b se reduce, y la densidad de corriente máxima se reduce hasta un 45% en comparación con las figuras 3 y 4, que se convierte en una reducción de potencia de alrededor del 70%.

5 Debe observarse que al utilizar la impedancia característica del resonador con un valor igual a  $100\Omega$ , se produce una desadaptación de la impedancia característica en la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida. A este respecto, para la primera sección 4a de terminales de entrada/salida, el primer acoplador capacitivo 6a conectado entre la primera sección 4a de terminales de entrada/salida y el primer resonador 5a, actúa como un convertidor de impedancia que impide que ocurra una pérdida de reflexión. De forma similar, para la segunda sección 10 4b de terminales de entrada/salida, el tercer acoplador capacitivo 6c actúa como un convertidor de impedancia.

La figura 10 muestra la respuesta en frecuencia del filtro coplanario de guía de ondas ilustrado en la figura 5. En la figura 10, la abscisa representa una frecuencia  $f$  y la ordenada una ganancia  $G$ . En la figura 10, las líneas discontinuas indican una banda de paso del filtro, y la línea continua indica la cantidad de reflexión de la señal dentro de la banda 15 de paso. A partir del hecho de que la reflexión máxima dentro de la anchura de la banda de paso es tan pequeña como  $-30$  dB, se puede ver que no hay pérdida originada por la diferencia en la impedancia característica entre la primera y la segunda secciones 4a y 4b de entrada/salida y los resonadores 5a a 5d.

En la descripción anterior, la impedancia característica del resonador se supone que es  $100\Omega$ , en contraste con la 20 impedancia característica de la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida, que es igual a  $50\Omega$ , pero debe entenderse que la presente invención no está limitada a esta combinación de impedancias características. Por ejemplo, la elección de una impedancia característica de  $150\Omega$  para el resonador con respecto a la impedancia característica de  $50\Omega$  de la sección de terminales de entrada/salida, es fácilmente posible mediante el cambio adecuado de la relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central con respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra. 25 La figura 11 muestra gráficamente un cambio en la impedancia característica  $Z_0$  cuando cambia la relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra, o  $k = w_1/d_1$ . En la figura 11, la abscisa representa  $k$  en una escala logarítmica, y la ordenada representa la impedancia característica  $Z_0$  utilizando  $d_1$  como parámetro. Cuando  $d_1$  es igual a  $0,100$  mm, la curva característica es sustancialmente idéntica a cuando  $d_1$  es igual a  $0,400$  mm. Cuando  $d_1$  es igual a  $1,780$  mm,  $Z_0$  asume un valor ligeramente más alto. Es posible 30 establecer una impedancia característica de  $50\Omega$  para una gama de  $k$  desde  $0,54$  a  $0,65$ , una impedancia característica de  $100\Omega$  para un valor de  $k$  de alrededor de  $0,1$  y una impedancia característica de  $140\Omega$  o mayor para un valor de  $k$  igual a  $0,01$ .

De esta manera, al reducir el valor de  $k$ , es posible aumentar la impedancia característica. Sin embargo, un simple 35 aumento de la impedancia característica no asegura que se pueda reducir la densidad de corriente máxima. Como se ilustra en la figura 6, que ha sido descrita anteriormente, la densidad de corriente máxima asume su valor más pequeño en una gama de  $k$  desde aproximadamente  $0,25$  hasta  $0,55$ . Consecuentemente, lo que se requiere no es simplemente la reducción de  $k$  para aumentar la impedancia característica. En la figura 6 se ve que la densidad de corriente máxima aumenta abruptamente cuando se reduce  $k$  a aproximadamente  $0,1$  o menos. En vista de lo ilustrado en la figura 11 de 40 que la impedancia característica está en el orden de  $100\Omega$  para un valor de  $k$  de alrededor de  $0,1$ , se puede ver que el efecto de reducir la densidad de corriente máxima disminuye, si se elige la impedancia característica de forma que sea mayor que  $100\Omega$ . A partir de lo anterior, es preferible que  $k$  se elija de manera que sea alrededor de  $0,08$  o mayor y que la impedancia característica se establezca en  $100\Omega$  o menos.

En el caso presente, se ha descrito un ejemplo en el cual hay conectados en serie cuatro resonadores, pero debe 45 entenderse que el número de resonadores no está limitado a cuatro. Incluso una sola etapa de resonador puede funcionar como filtro. Para una sola etapa de resonador, por ejemplo, la respuesta de la reflexión indicada por una línea continua en la respuesta en frecuencia ilustrada en la figura 10, será atenuada abruptamente solamente en un lugar, y la respuesta de la banda de paso, indicada por líneas discontinuas, será una respuesta estrecha que tiene un pico abrupto a una 50 frecuencia en la que la respuesta de la reflexión presenta una atenuación abrupta. De esta manera, el resonador de una sola etapa funciona como filtro aunque la banda de paso se haga más estrecha. En la figura 12 se ilustra un ejemplo de filtro que se forma con un resonador de una sola etapa. Un extremo de una línea conductora central  $2_{R1}$  de un primer resonador 5a, está acoplado a una primera sección 4a de terminales de entrada/salida por medio de un primer acoplador capacitivo 6a, y el otro extremo de la línea conductora central  $2_{R1}$  está acoplado a una segunda sección 4b 55 de terminales de entrada/salida a través de un primer acoplador inductivo 8a. La anchura  $w_{10}$  de la línea conductora central de la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central del resonador 5a, son elegidas de manera que sean iguales entre sí, mientras que la separación  $d_1$  del conductor de tierra del resonador 5a se elige de manera que sea mayor que la separación  $d_1$  del conductor de tierra de la primera y segunda secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida. El extremo 51 del acoplamiento capacitivo del primer 60 acoplador capacitivo 6a, que está dispuesto hacia la sección 4a de terminales de entrada/salida, representa una simple extensión de la línea conductora central  $2_{4a}$ , y el extremo 61 del acoplamiento capacitivo, que está dispuesto hacia la línea conductora central  $2_{R1}$  y que se opone al extremo 51 de acoplamiento, está directamente definido por la propia línea conductora central  $2_{R1}$ . Consecuentemente, el primer acoplador capacitivo 6a tiene una fuerza de acoplamiento que es inferior a la del acoplador capacitivo 6a ilustrado en la figura 5.

65 La línea conductora central  $2_{4b}$  de la segunda sección 4b de terminales de entrada/salida, está directamente acoplada con los conductores 7a1 y 7a2 de línea de cortocircuito. El resonador 5a y la segunda sección 4b de terminales de entrada/salida están acopladas conjuntamente por medio del acoplador inductivo 8a. El acoplamiento entre el resona-

## ES 2 343 632 T3

dor y la sección de terminales de entrada/salida se establece de acuerdo con un equilibrio en el diseño para la fuerza del acoplamiento, y puede comprender un acoplamiento capacitivo o inductivo.

5 Como se comprenderá a partir de la descripción de una respuesta de un filtro de un solo resonador, cuando se utiliza una pluralidad de resonadores, por ejemplo en el ejemplo ilustrado en la figura 5, ajustando el acoplamiento entre resonadores contiguos entre los resonadores 5a a 5d, se obtiene una anchura de la banda de paso global requerida, como se ilustra en la figura 10.

10 La línea conductora central 2 y el primer y segundo conductores de tierra pueden estar formados a partir de lantano-, itrio-, bismuto-, talio- y otros superconductores a alta temperatura, para definir un filtro de guía de ondas superconductor. Como ha sido posible reducir la densidad de corriente máxima de acuerdo con la invención, se minimiza la probabilidad de que tenga lugar un flujo de corriente en exceso de una corriente crítica, para un superconductor a alta temperatura, permitiendo que se pueda ejercitar un efecto de baja pérdida en un filtro coplanario superconductor de guía de ondas, sin ser acompañado por una destrucción del filtro coplanario semiconductor de guía de ondas. La  
15 anchura de la línea conductora central y la separación del conductor de tierra pueden ser elegidas previamente para evitar un flujo de corriente en exceso de una corriente crítica para un superconductor de alta temperatura, a la densidad de corriente máxima demandada, haciendo referencia a la figura 6, por ejemplo.

20 Se describirá ahora un segundo filtro, en el cual la impedancia característica se mantiene constante y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central de un resonador se hace mayor que la anchura  $w_{i0}$  de la línea conductora central de una sección de terminales de entrada/salida, para reducir la densidad de corriente.

El segundo modo de llevar a cabo la invención está ilustrado en las figuras 13A a 13C. En este ejemplo, se conectan en serie cuatro resonadores coplanarios 5a a 5d de guía de ondas de un cuarto de longitud de onda, y este ejemplo  
25 es diferente de la configuración de la técnica anterior ilustrada en la figura 2, en cuanto que la anchura  $w_1$  de la línea conductora central y la separación  $d_1$  del conductor de tierra de cada uno de los resonadores 5a a 5d son más grandes que la anchura  $w_{i0}$  de la línea conductora central y la separación  $d_{i0}$  del conductor de tierra de cada una de las secciones 4a y 4b de terminales de entrada/salida. Sin embargo, la impedancia característica de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida que representa un terminal de entrada de señales, a través de resonadores individuales,  
30 a la segunda sección 4b de terminales de entrada/salida, que representa un terminal de salida de señales, asume un valor constante, que se elige de manera que sea  $50\Omega$ , en este ejemplo. En el primer y segundo acopladores capacitivos 6a y 6c, que están dispuestos en el extremo de entrada y de salida, los extremos 51 y 52 de acoplamiento capacitivo, que están dispuestos contiguamente a los conductores centrales  $2_{4a}$  y  $2_{4b}$ , se extienden en direcciones transversales opuestas de los conductores centrales, y están dispuestos paralelamente y estrechamente opuestos a los extremos 61 y 62 de acoplamiento capacitivo de los resonadores, para reforzar el acoplamiento de manera similar a la del modo de realización ilustrado en la figura 5. No hay formados cortes rectangulares 20 como los ilustrados en la figura 2, en ninguno de los primero y segundo conductores 3a y 3b de tierra en un primer y segundo acopladores inductivos 8a y 8b. Para dar una cifra numérica específica, la anchura  $w_1$  de la línea conductora central que forma el resonador se elige de manera que sea 1,164 mm en este ejemplo, como contraste con los 0,218 mm de la figura 5.  
40

En la figura 4 se ilustra gráficamente una distribución de densidad de corriente de un filtro coplanario de guía de ondas de cuatro etapas y un cuarto de longitud de onda, que se corresponde con la figura 3. La densidad de corriente está en su máximo en el primer acoplador inductivo 8a, que está situado a una distancia de alrededor de 10 mm desde la entrada de la línea coplanaria, y en el segundo acoplador inductivo 8b que está situado a una distancia  
45 de alrededor de 25 mm desde la entrada. El pico de la densidad de corriente es alrededor de 1100 A/m, que es considerablemente reducida con respecto al pico ilustrado en la figura 3. La figura 15 muestra gráficamente una distribución de densidad de corriente del primer acoplador inductivo 8a, a una escala ampliada, de una manera que se corresponde con la figura 4. La posición ilustrada en la figura 15 a 10,437 mm representa una posición del eje X correspondiente a la línea XV-XV ilustrada en la figura 13, que se alcanza cuando se retrocede alrededor de 0,02 mm hacia la entrada desde el borde lateral del conductor 7a1 de la línea de cortocircuito, que está dispuesto hacia el resonador 5b. La figura 15 muestra una distribución de densidad de corriente en una región desde esta posición y que se extiende hacia la salida en 0,1 mm. Se observará que hay una concentración de corriente en una esquina  $\beta$  que está en la unión entre el conductor 7a1 de la línea de cortocircuito y una línea conductora central  $2_{R2}$ . El pico alcanza alrededor de 1100 A/m. No hay otro pico o densidad de corriente concentrada, excepto éste. Se considerará una comparación entre la figura 14, que ilustra la distribución de la densidad de corriente en el primer acoplador inductivo 8a, que se ha descrito anteriormente con respecto a la técnica anterior, y la distribución de densidad de corriente en el primer acoplador inductivo 8a del filtro según la figura 13. Inicialmente, se observará que el número de picos en la densidad de corriente se ha reducido en el presente ejemplo. El pico tiene un valor de alrededor de 1100 A/m, que está suprimido en el orden de alrededor del 50%. La reducción del número de picos se atribuye a la ausencia en el presente ejemplo de cortes rectangulares 20 en los conductores de tierra que se utilizan en la técnica anterior. Una reducción del pico de la densidad de corriente representa un efecto de aumento de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central.  
60

Se observará que si la impedancia característica se mantuviera constante en  $50\Omega$ , la densidad de corriente en cada resonador se reduce aumentando la anchura  $w_1$  de la línea conductora central, y la cantidad de la reducción de densidad de corriente máxima es alrededor del 50%, lo cual es equivalente a una reducción de la potencia en aproximadamente el 75%.  
65

## ES 2 343 632 T3

La densidad de corriente máxima dibujada en función de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central, cuando la impedancia característica se mantiene constante, está ilustrada gráficamente en la figura 16. En la figura 16, la abscisa representa la anchura  $w_1$  de la línea conductora central y la ordenada representa la densidad de corriente máxima  $i_{\max}$  para cada línea de impedancia característica que esté normalizada por la densidad de corriente máxima sobre la línea de impedancia característica de  $50\Omega$ , con una anchura  $w_1$  de la línea conductora central igual a 1,16 mm. Las respuestas están ilustradas para impedancias características de 20, 40, 50, 60, 70, 80, 100 y  $150\Omega$ , como parámetro. Se observará que las respuestas son tales que la densidad de corriente máxima queda reducida a medida que aumenta la anchura  $w_1$  de la línea conductora central.

Como generalmente se utiliza el valor de  $50\Omega$  para la impedancia característica, la extensión a la cual puede extenderse la anchura  $w_1$  de la línea conductora central del resonador desde la anchura  $w_{i0}$  de la línea conductora central de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida, cuando se utiliza la impedancia característica de  $50\Omega$ , de la primera sección 4a de terminales de entrada/salida a la segunda sección 4b de terminales de entrada/salida, puede determinarse a partir de la figura 11. Debido a que la primera sección 4a de terminales de entrada/salida tiene una  $k$  que es igual a 0,54 cuando la primera sección 4a de terminales de entrada/salida tiene una separación  $d_{i0}$  del conductor de tierra de 0,4 mm, y una anchura  $w_{i0}$  de la línea conductora central de 0,218 mm, eligiendo una  $k$  en el resonador que esté en la gama de  $0,54 < k \leq 0,65$ , se puede obtener en la figura 11 un efecto de reducción de la densidad de corriente aumentando la anchura  $w_1$  de la línea conductora central.

Como se ha mencionado anteriormente, de acuerdo con la invención, la densidad de corriente puede reducirse por debajo de la densidad de corriente máxima del filtro coplanario de la técnica anterior, en el cual la separación del conductor de tierra y la anchura de la línea conductora central del resonador se eligen de manera que sean iguales a la separación del conductor de tierra y a la anchura de la línea conductora central de la sección de terminales de entrada/salida.

Aunque el presente filtro ha sido descrito anteriormente eligiendo un valor máximo de la separación  $d_1$  del conductor de tierra en 1,780 mm y un valor máximo de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central en 1,308 mm, debe entenderse que el presente filtro no está limitado a estas cifras numéricas. Se hace posible un diseño preferido del filtro eligiendo una relación  $w_1/d_1$  de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central con respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra, y consecuentemente el filtro no está gobernado por tales cifras numéricas.

En la figura 17 se ilustra un filtro coplanario adicional de guía de ondas. Una caja metálica tubular cuadrada 10 contiene un filtro coplanario 11 de guía de ondas. El filtro coplanario 11 de guía de ondas está dispuesto en una relación de oposición y paralelo a una placa lateral de la caja 10, cuyo espacio interior está dividido sustancialmente por la mitad por el filtro coplanario 11 de guía de ondas. La potencia electromagnética que se irradia desde el filtro coplanario 11 de guía de ondas es reflejada casi en su totalidad por la superficie interna de la caja 10, y la mayor parte de la potencia electromagnética radiada es recuperada por el filtro 11, aliviando así la pérdida de la radiación. Un filtro coplanario de guía de ondas que emplee un material superconductor está generalmente contenido dentro de alguna clase de caja, con el fin de producir un estado superconductor.

La presente invención es aplicable de forma similar a un filtro coplanario puesto a tierra, siempre que sea capaz de formar un filtro mediante un diseño adecuado y un ajuste de la impedancia característica de una sección de terminales de entrada/salida y la impedancia característica de un resonador formado dentro de la línea de transmisión.

Se describirá un método para formar un filtro de acuerdo con la presente invención. En la figura 18 se ilustra un ejemplo de un procedimiento de proceso, y en la figura 19 se ilustra un ejemplo de configuración funcional de una unidad auxiliar, que se utiliza en una parte del procedimiento.

Para un resonador coplanario 5 que tenga valores variables de la separación  $d_1$  del conductor de tierra y de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central, se determina la densidad de corriente máxima en el resonador 5 con un calculador 31 de densidad de corriente máxima, sobre la base de corrientes (potencias) demandadas en un sistema en el cual se supone que se va a utilizar el filtro coplanario de guía de ondas (paso S1).

Para una multitud de resultados del cálculo así obtenido, se determina de la manera mencionada una densidad de corriente máxima normalizada  $i_{\max,n}$  para cada valor de la relación  $k$  de la anchura  $w_1$  de la línea conductora central con respecto a la separación  $d_1$  del conductor de tierra o  $k = w_1/d_1$ , con referencia a la figura 6, y esta correspondencia, así como las corrientes predominantes calculadas, son almacenadas en una base de datos 32 (paso S2).

La base de datos 32 está previamente preparada.

Consecuentemente, el método para formar un filtro comienza generalmente obteniendo, sobre la base de una corriente  $i_d$  que es demandada por el sistema en el cual se utiliza el filtro coplanario, diversas densidades de corriente máxima normalizada en la base de datos 32, por medio de una unidad 33 de decisión de densidad de corriente máxima (paso S3).

Un selector 34 selecciona una pluralidad de valores de  $k$  que se corresponden con gamas de densidades de corriente máxima normalizada que son iguales o inferiores al 10% más altas que diversas densidades de corriente máxima normalizada así obtenidas, y son presentadas en una pantalla 35 (paso S4).

## ES 2 343 632 T3

Para diversos valores de  $k$  seleccionados, la separación  $d_1$  del conductor de tierra y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central se determinan por medio de un calculador 36 de parámetros sobre la base de una impedancia característica demandada, un tamaño de perfil exterior y otras condiciones, y son presentados en la pantalla 35 (paso S5).

5

Se diseña entonces un modelo para el filtro, teniendo la sección de terminales de entrada/salida y cada acoplador la separación  $d_1$  del conductor de tierra y la anchura  $w_1$  de la línea conductora central que son presentadas (paso S6). Las películas de conductores sobre el substrato dieléctrico son decapadas de manera que se pueda obtener el modelo diseñado, formando así el deseado filtro coplanario de guía de ondas (paso S7).

10

Cuando se desea reducir una densidad de corriente máxima como un requisito del sistema, se puede aumentar la impedancia característica, y/o se puede reducir la anchura de la línea conductora central. Cuando se desea reducir la pérdida del conductor como requisito del sistema, se puede modificar  $k$  de manera que aumente la  $Q$  sin carga del resonador 5.

15

De esta manera, se puede formar un filtro que es conforme con la corriente demandada por el sistema. Esto es una diferencia con respecto a la técnica anterior, donde se determina la densidad de corriente máxima en un filtro completo, y después se determina la corriente (potencia) que se utiliza en el sistema correspondiente.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Un filtro coplanario de guía de ondas, que comprende:

5 un substrato dieléctrico (1),

10 al menos un resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas, formado sobre una superficie de dicho substrato dieléctrico (1), por una primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) y un primer y un segundo conductores (3a, 3b) de tierra que están formados sobre el substrato dieléctrico (1) en lados opuestos de la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ), respectivamente, definiendo dichos primer y segundo conductores (3a, 3b) entre ellos una separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra,

15 una sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida, que está formada sobre dicha superficie del substrato dieléctrico (1), por una segunda línea conductora central ( $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) y un tercer y cuarto conductores de tierra, formados integradamente con dichos conductores (3a, 3b) de tierra, respectivamente, y dispuestos en lados opuestos de la segunda línea conductora central ( $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ), respectivamente, definiendo dichos tercer y cuarto conductores de tierra entre ellos una segunda separación ( $d_{io}$ ) del conductor de tierra; y

20 un acoplador capacitivo (6a, 6c) formado por las partes finales (51, b1; 52, b2) de dichas primera y segunda líneas conductoras centrales ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ,  $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) opuestas entre sí, para efectuar el acoplamiento capacitivo entre la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida y el resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas,

25 donde una entre la separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra y la anchura ( $w_1$ ) de la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas es mayor que el correspondiente de la separación ( $d_{io}$ ) del segundo conductor de tierra y la anchura ( $w_{io}$ ) de la segunda línea conductora central ( $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) de la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida,

30 **caracterizado** porque

las partes finales opuestas (51, b1; 52, b2) de dicha primera y segunda líneas conductoras centrales ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ,  $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) que forman el acoplador capacitivo (6a, 6c) se expanden ambas en la dirección de la anchura de las mismas; y

35 el resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas tiene una impedancia característica que es mayor que la impedancia característica de la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida.

40 2. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que el filtro comprende una pluralidad de dichos resonadores coplanarios (5a a 5d) de guía de ondas, estando acoplados al menos una pareja resonadores (5a a 5d) de guía de ondas conjuntamente, por medio de un acoplador inductivo (8a, 8b), donde dicho acoplador inductivo (8a, 8b) incluye conductores ( $7_{a1}$ ,  $7_{a2}$ ) de línea de cortocircuito, cada uno con una longitud (L) que es igual a la separación entre los primer y segundo conductores (3a, 3b) de tierra y la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas.

45 3. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que la separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas es mayor que la separación ( $d_{io}$ ) del segundo conductor de tierra de la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida y en el cual la relación k de la anchura ( $w_1$ ) de la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) con respecto a la separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas satisface la relación  $0,20 \leq k \leq 0,70$ .

50 4. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que el acoplador capacitivo (6a, 6c) que acopla la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida y el resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas sirven también como convertidor de impedancias que adapta las dos impedancias características.

55 5. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que la separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra es mayor que la separación ( $d_{io}$ ) del segundo conductor de tierra, siendo la anchura ( $w_1$ ) de la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas, igual a la anchura ( $w_{io}$ ) de la segunda línea conductora central ( $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) de la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida.

60 6. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que la anchura ( $w_{io}$ ) de la segunda línea conductora central ( $2_{4a}$ ,  $2_{4b}$ ) con respecto a la separación ( $d_{io}$ ) del primer conductor de tierra de la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida es igual a 0,54, mientras que la relación k de la anchura ( $w_1$ ) de la primera línea conductora central ( $2_{R1}$  a  $2_{R4}$ ) con respecto a la separación ( $d_1$ ) del primer conductor de tierra del resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas, satisface la relación  $0,54 \leq k \leq 0,65$ .

## ES 2 343 632 T3

7. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, en el que el resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas y la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida están formados por un material superconductor.

5 8. Un filtro coplanario de guía de ondas, según la reivindicación 1, que comprende además:

una caja metálica (10) que contiene el substrato dieléctrico (1), el resonador coplanario (5a a 5d) de guía de ondas y la sección coplanaria (4a, 4b) de terminales de entrada/salida.

10

15

20

25

30

35

40

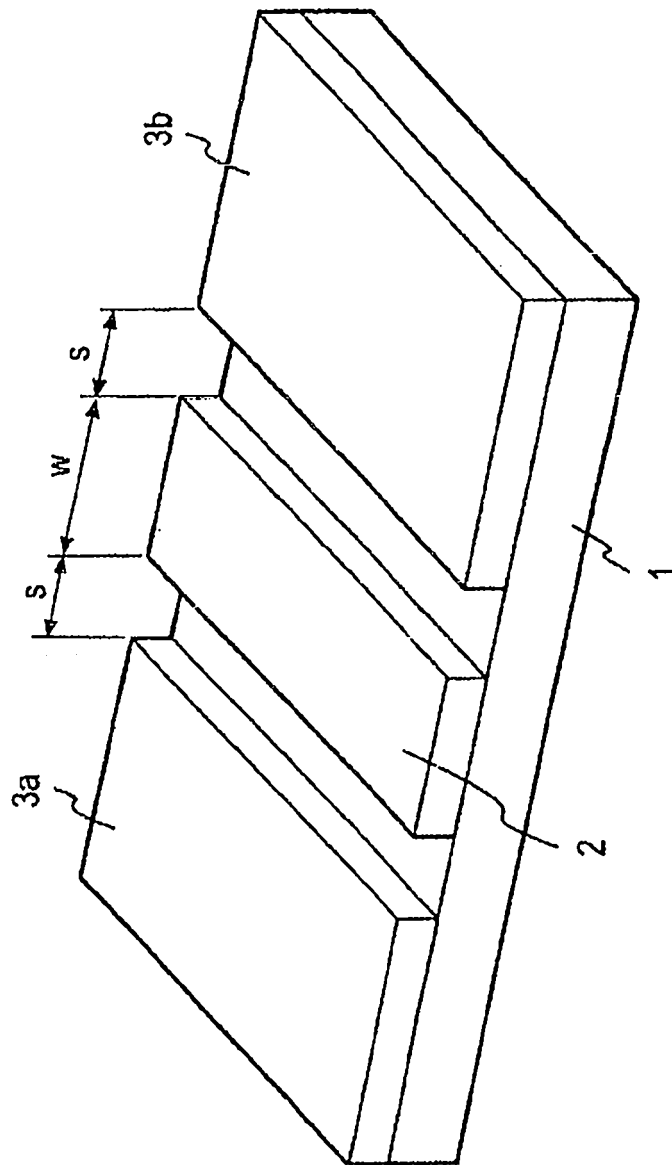
45

50

55

60

65



TÉCNICA ANTERIOR

FIG. 1

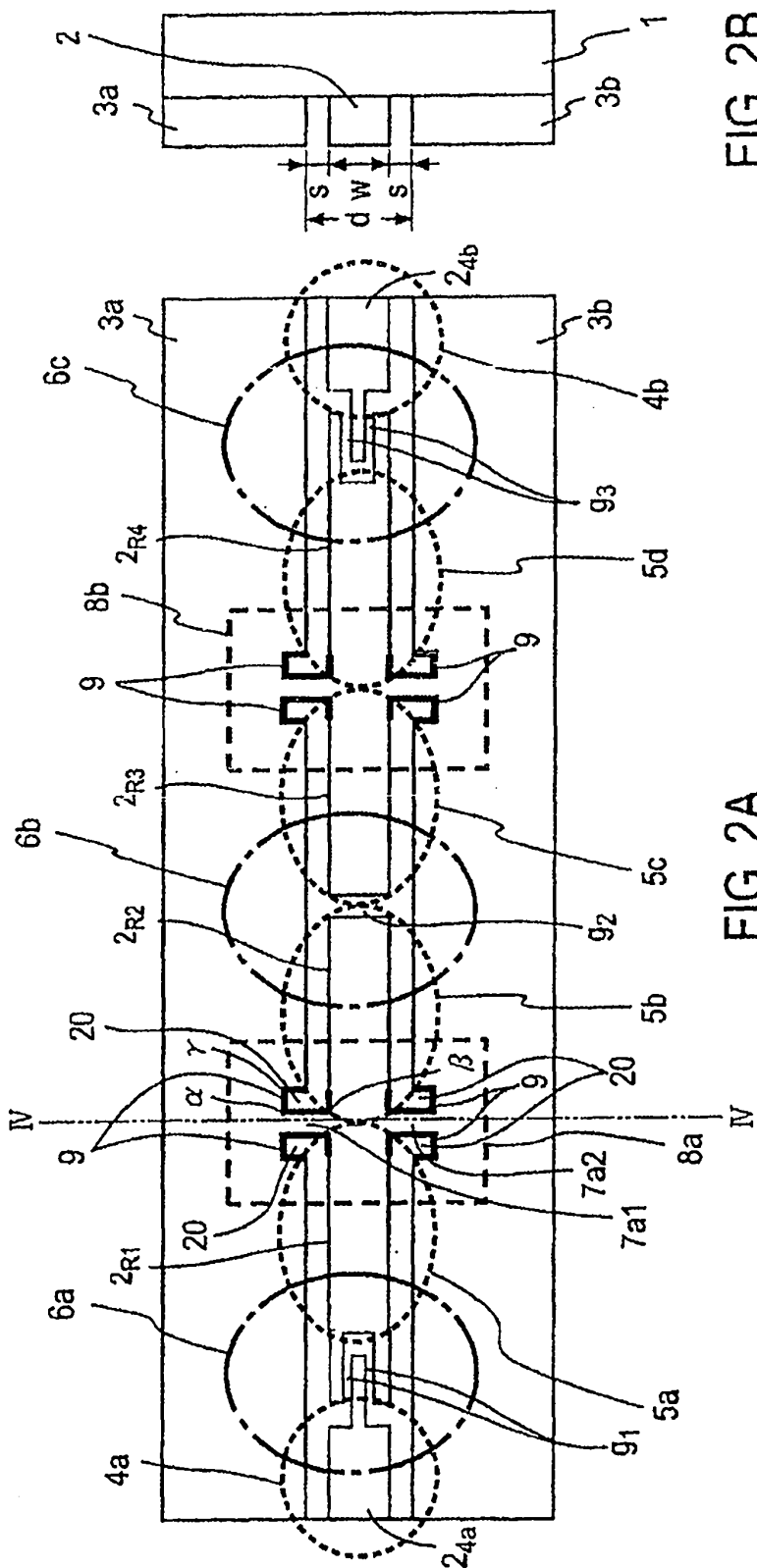


FIG. 2A

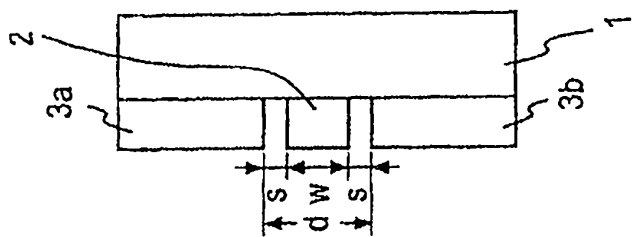


FIG. 2B

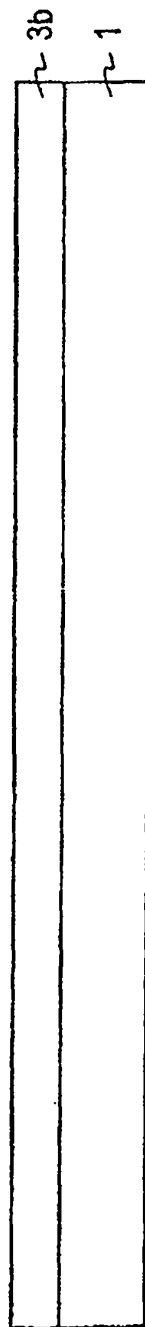
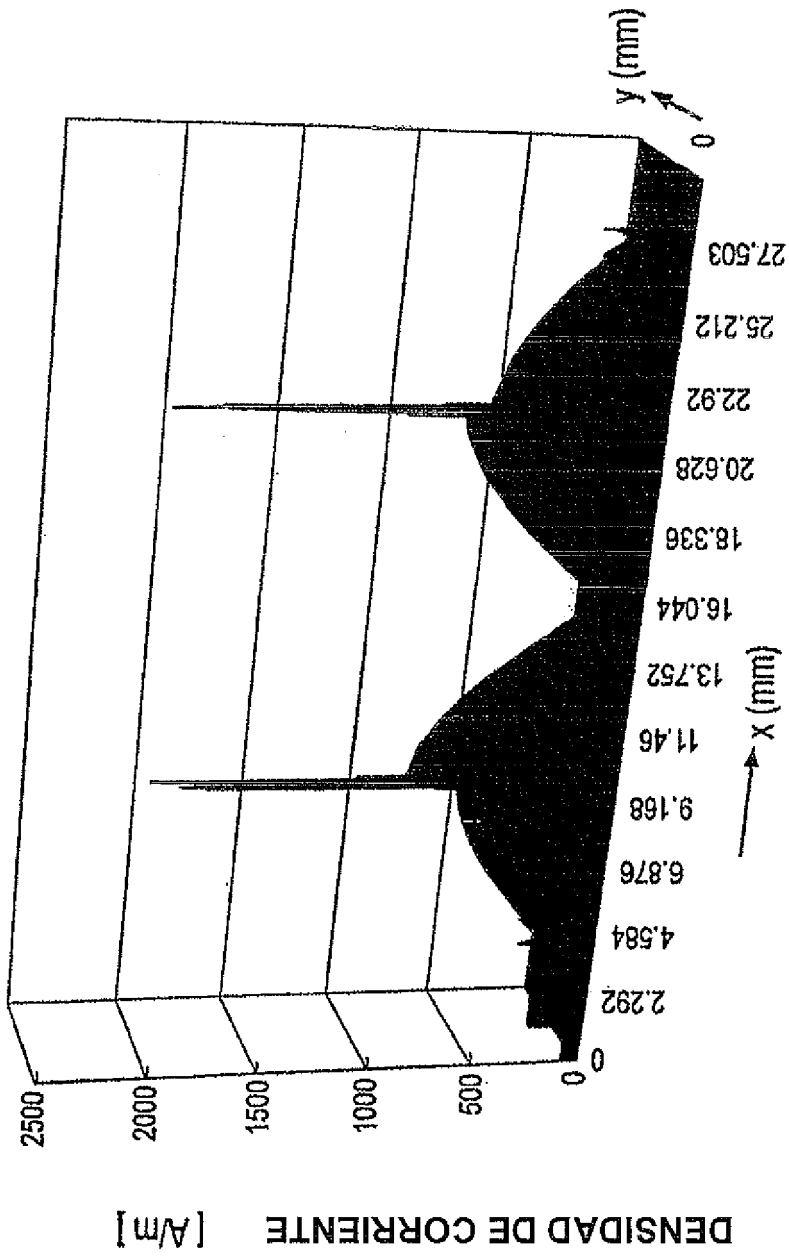


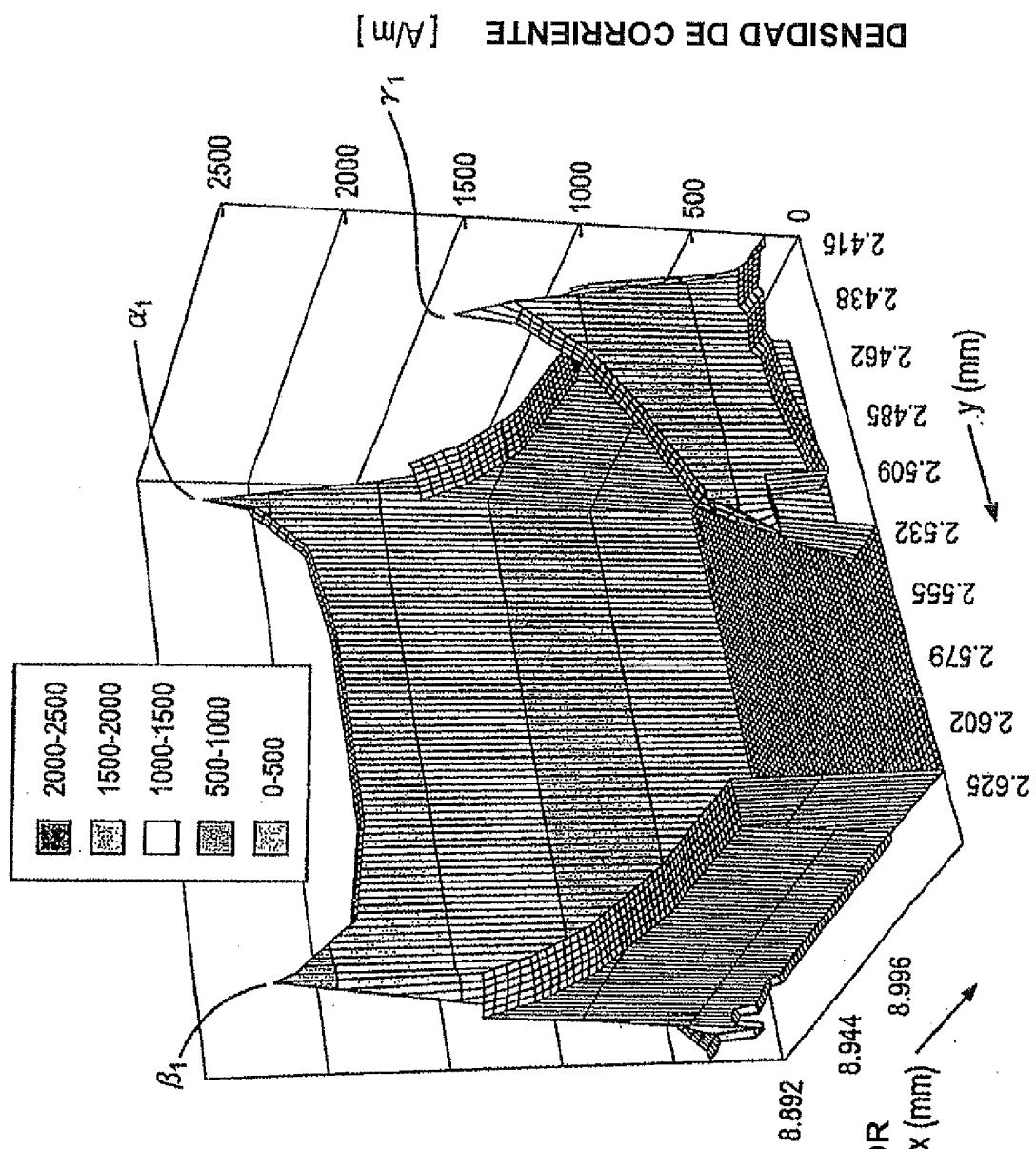
FIG. 2C

TÉCNICA ANTERIOR



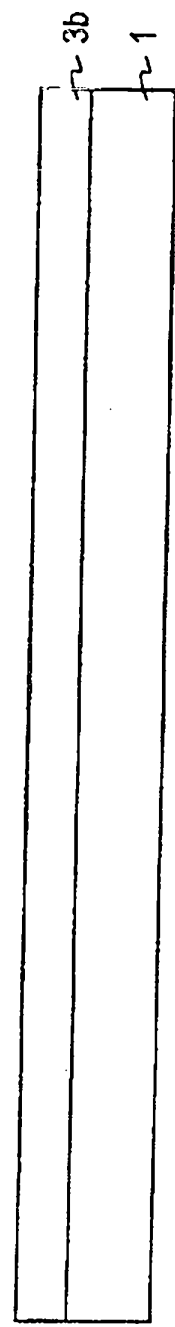
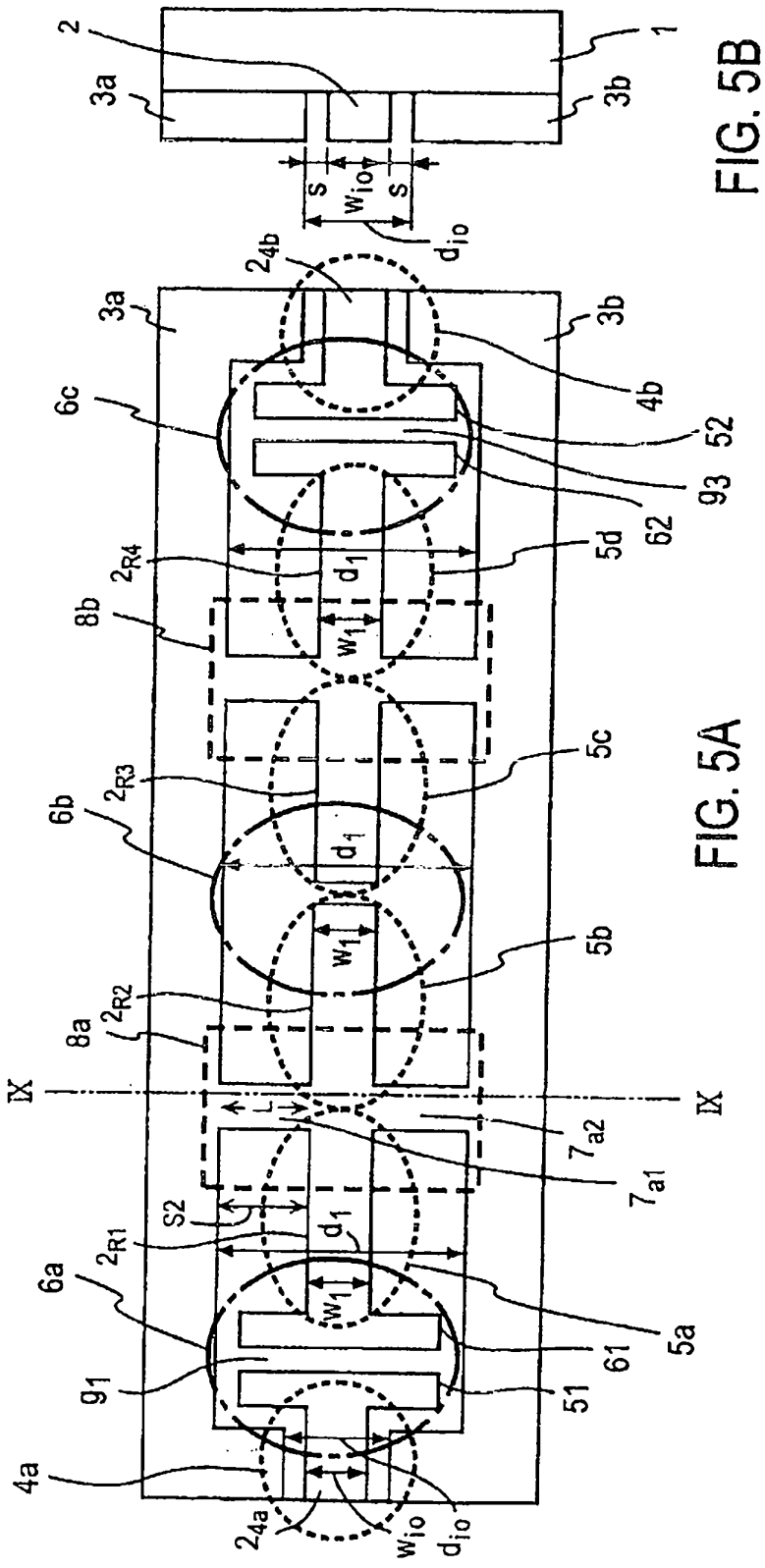
TÉCNICA ANTERIOR

FIG. 3



TÉCNICA ANTERIOR

FIG. 4



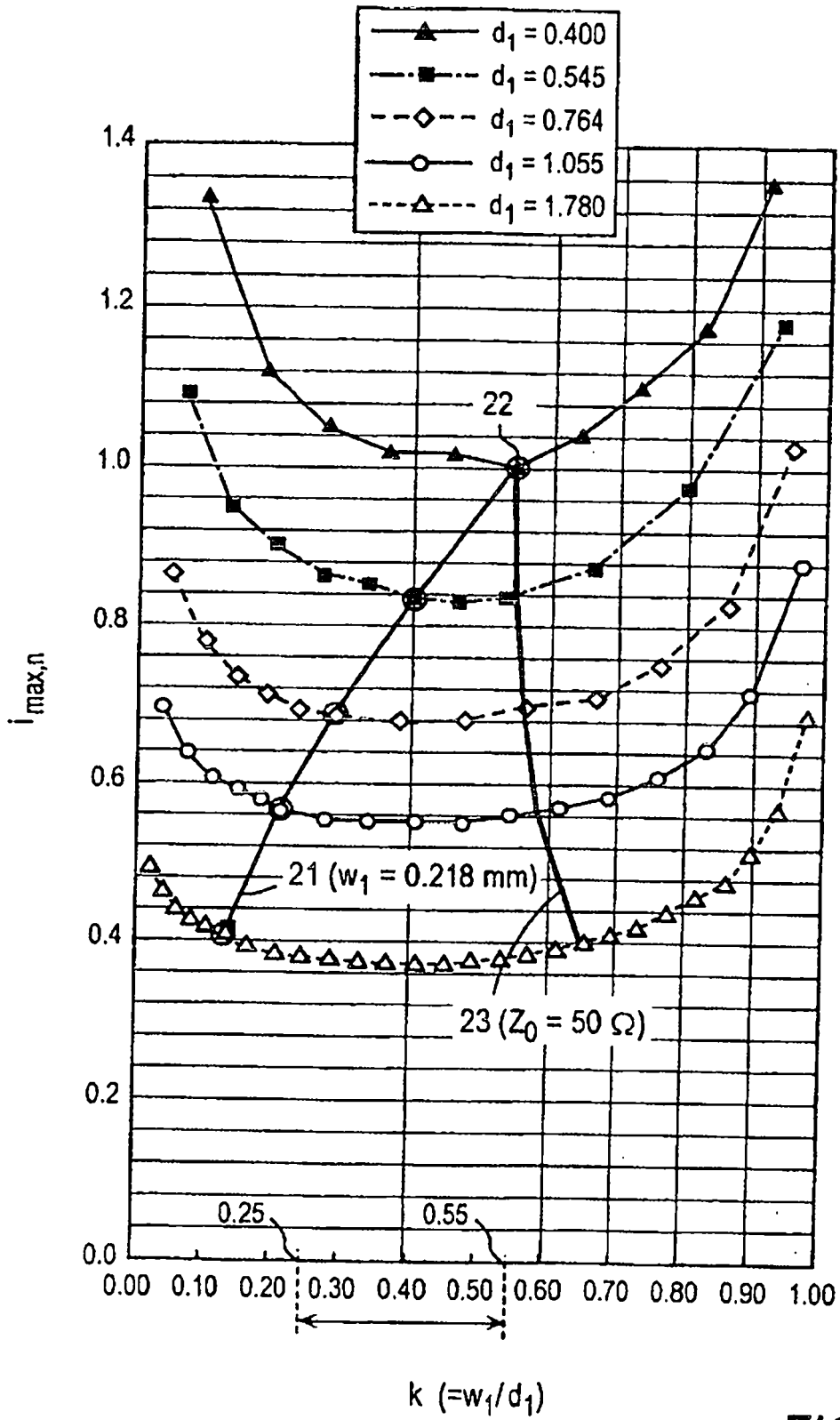


FIG. 6

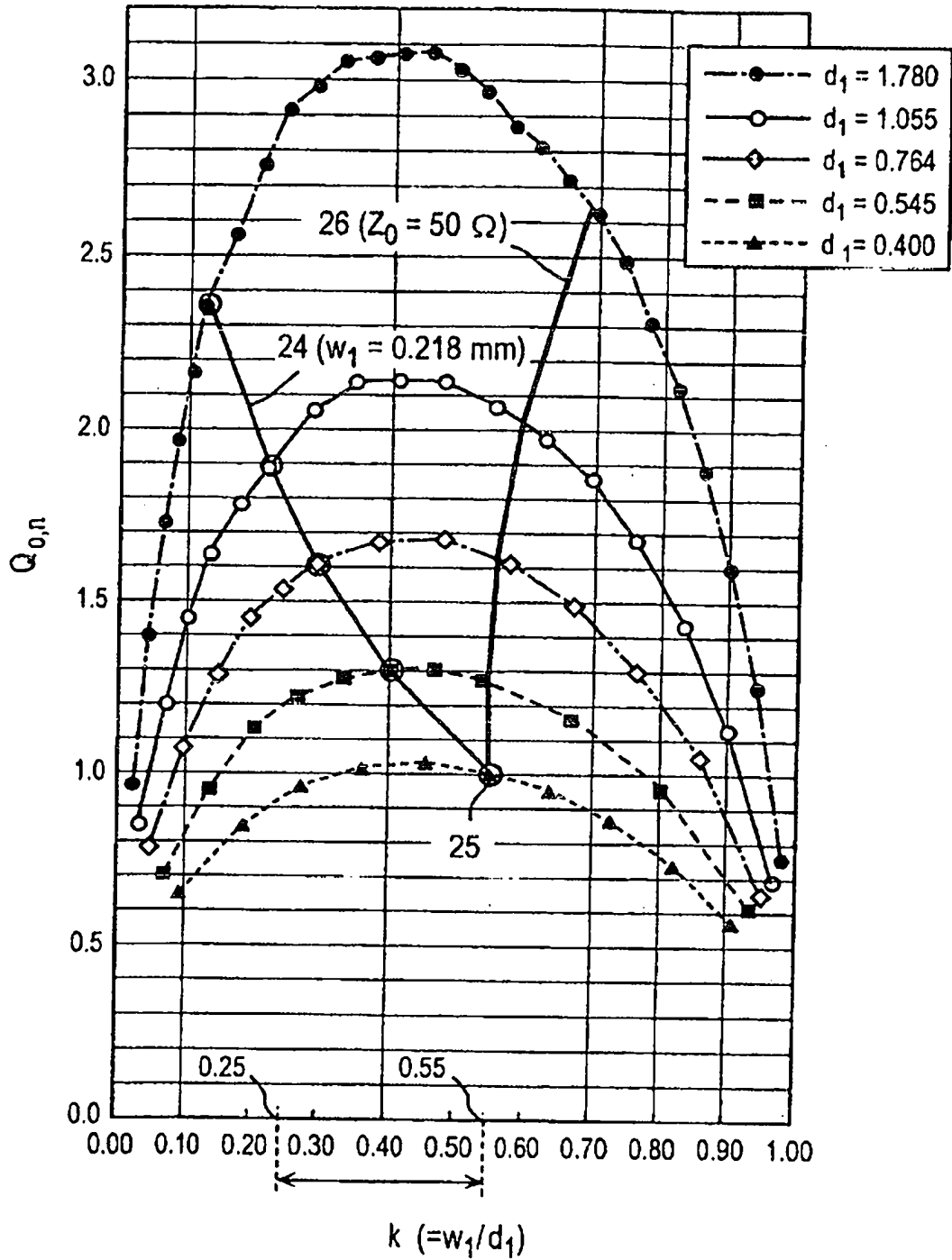


FIG. 7

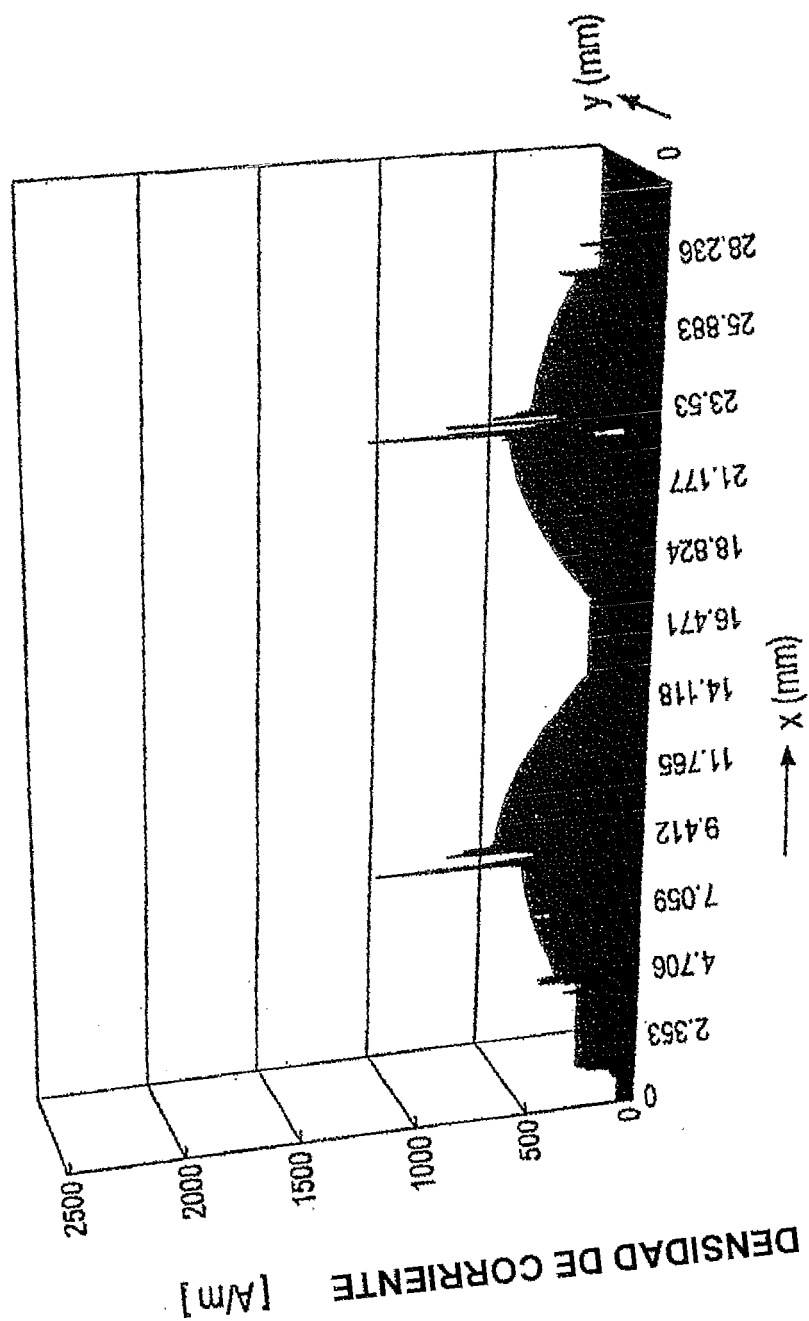


FIG. 8

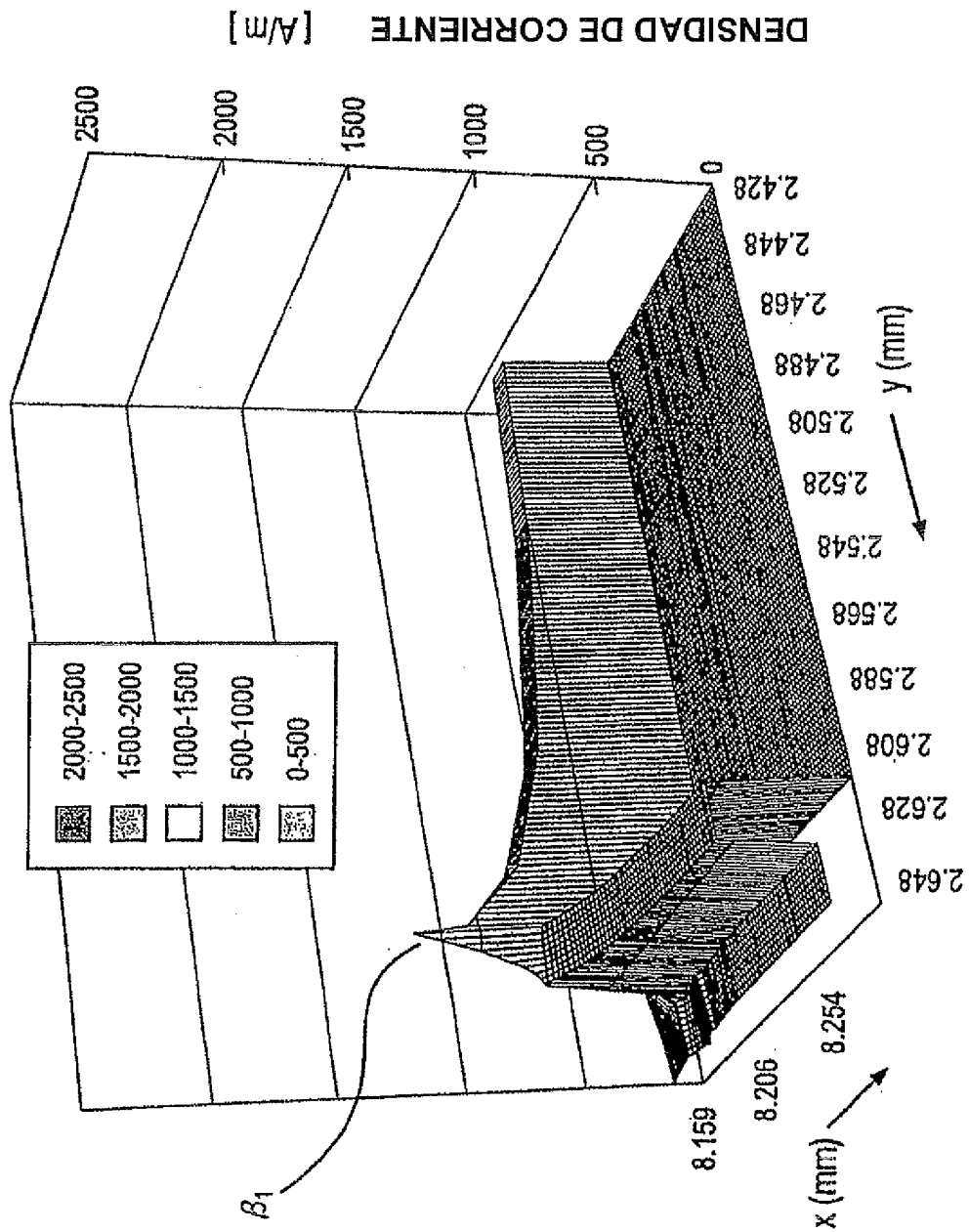


FIG. 9

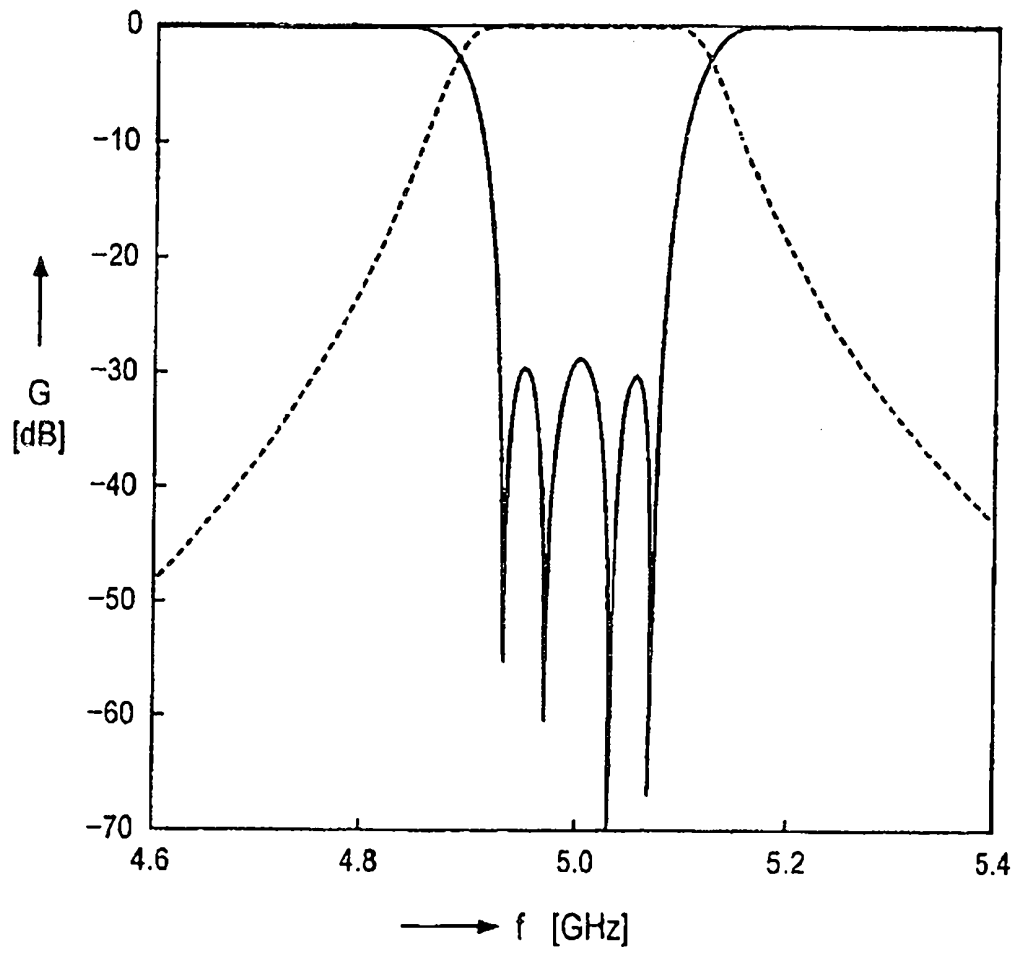


FIG. 10

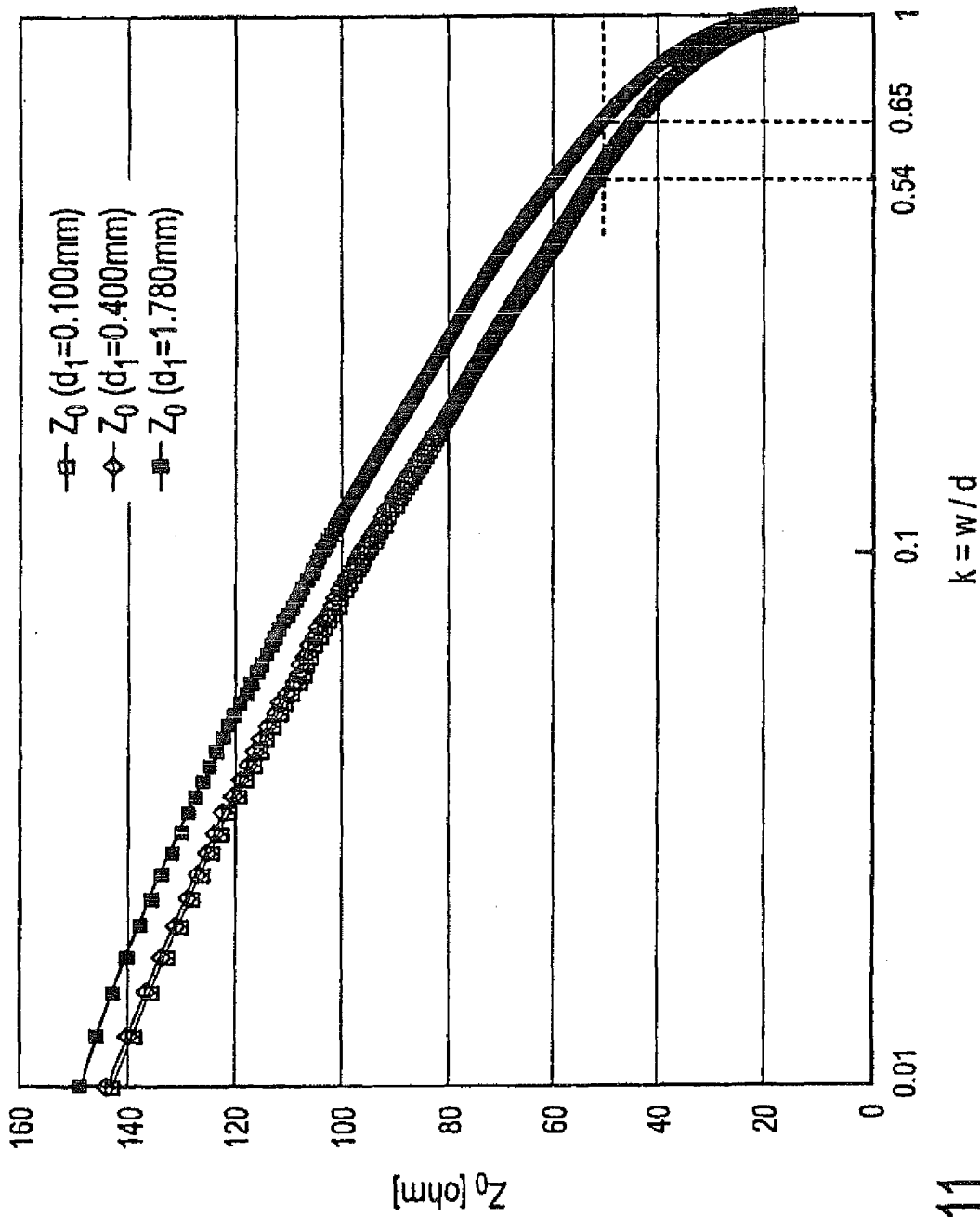


FIG. 11

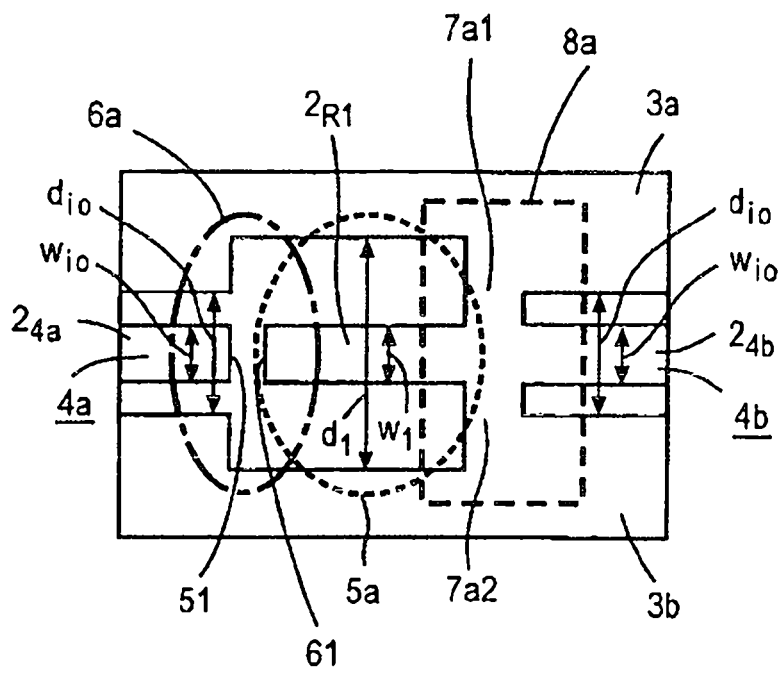
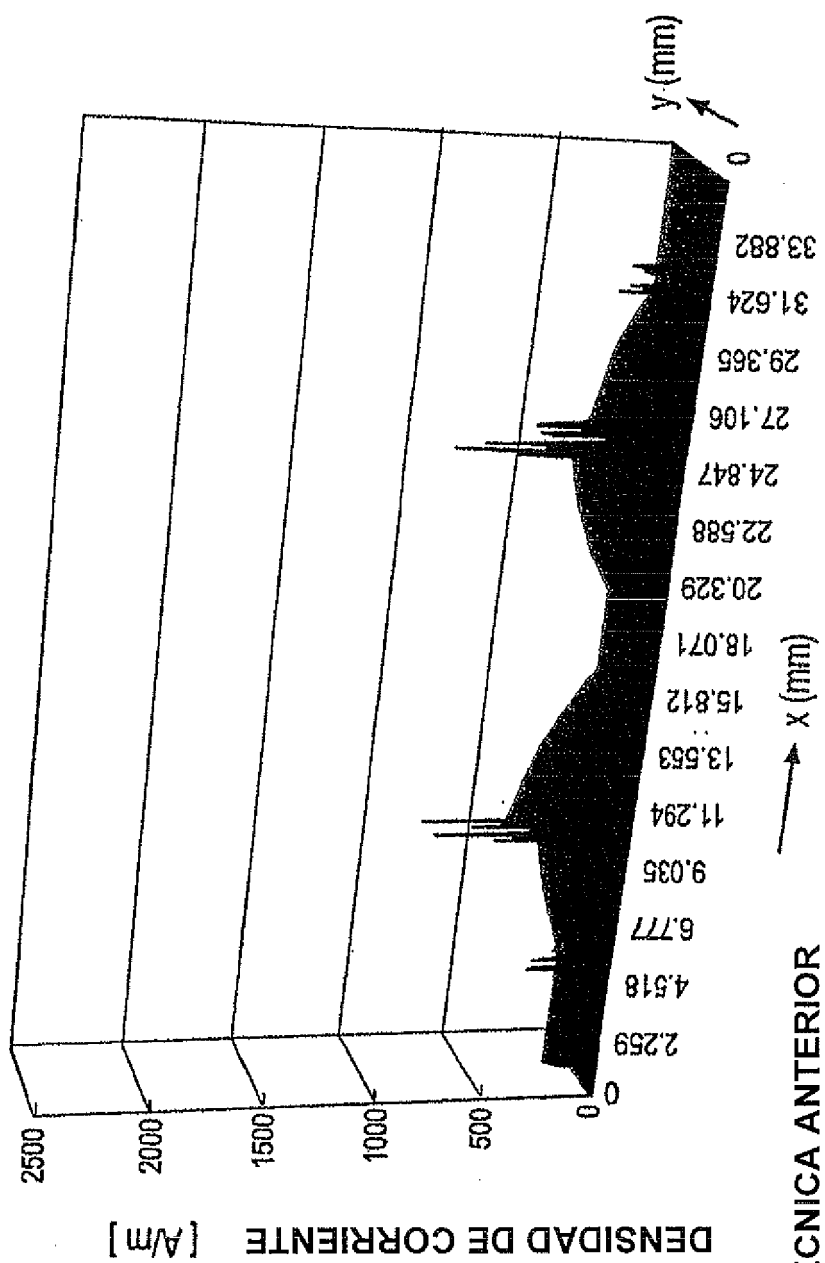
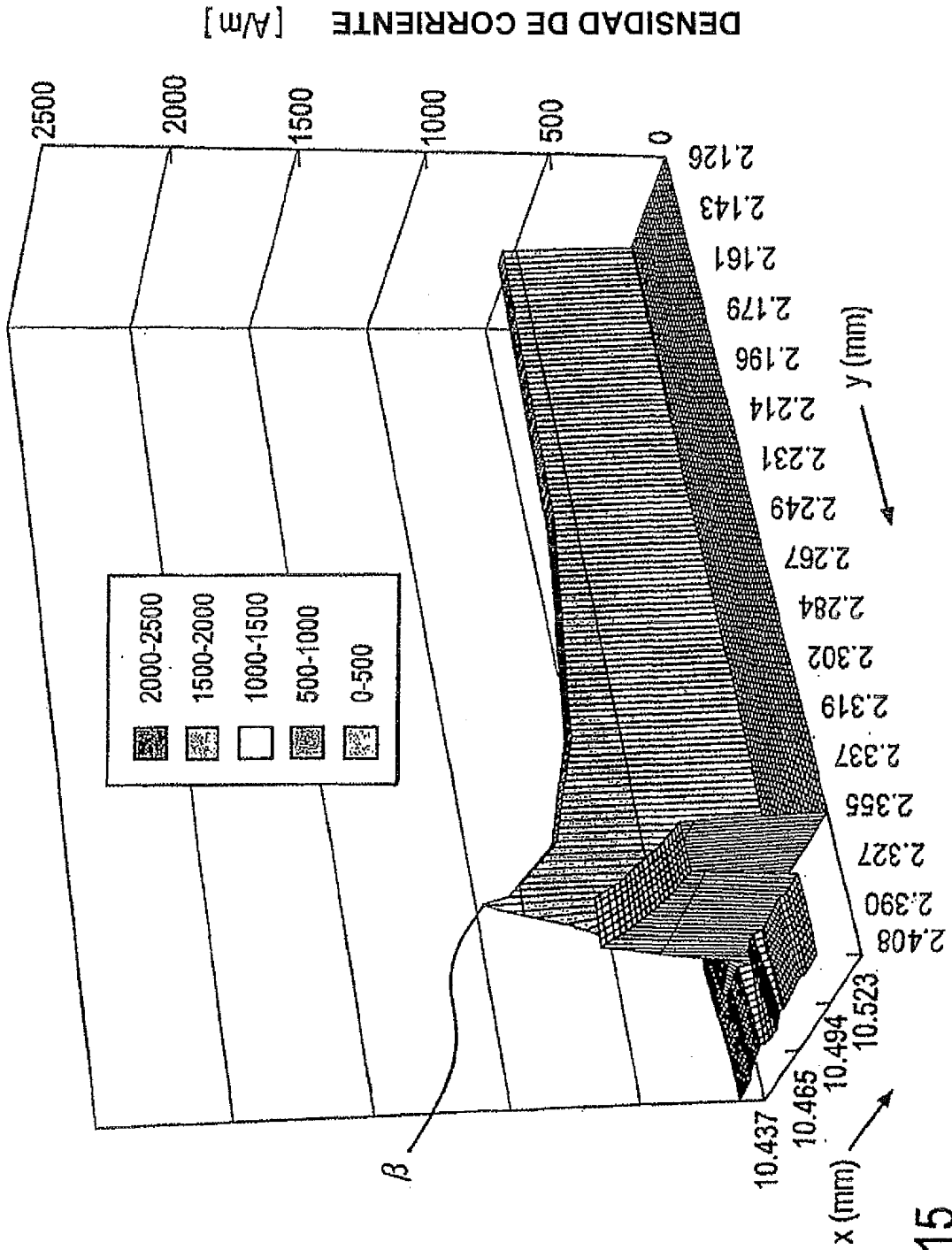


FIG. 12





TÉCNICA ANTERIOR  
FIG. 14



**FIG. 15**

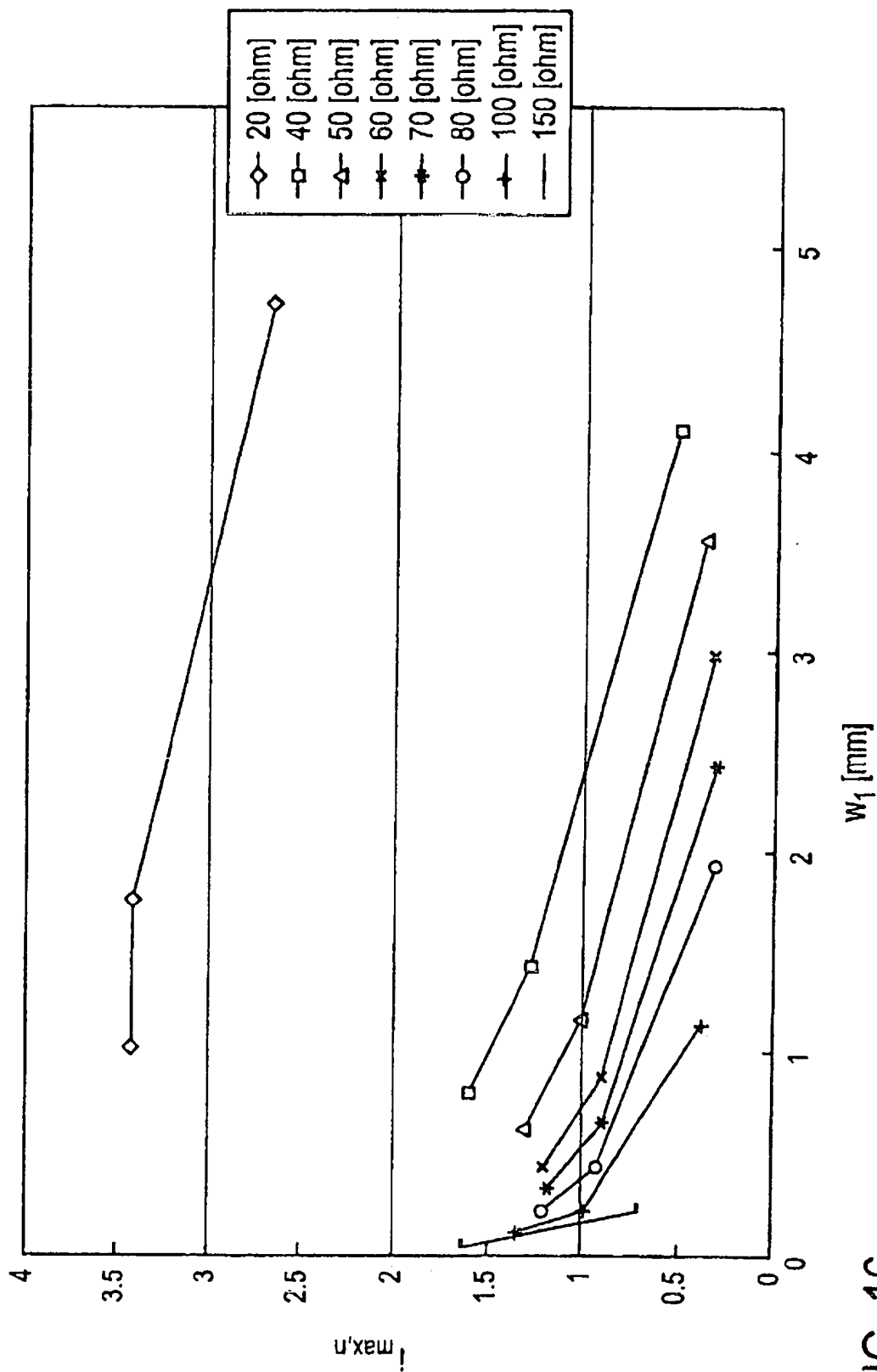


FIG. 16

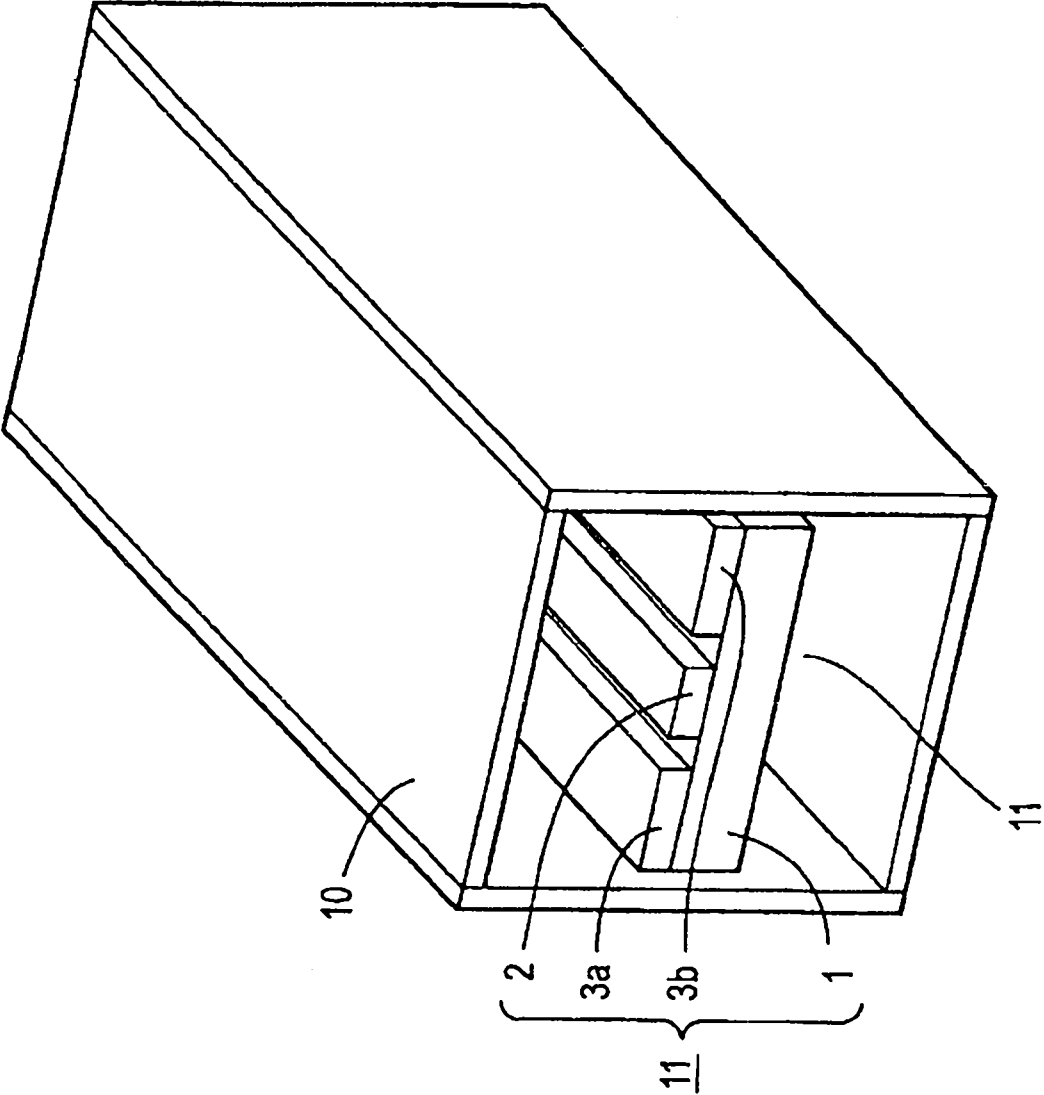


FIG. 17

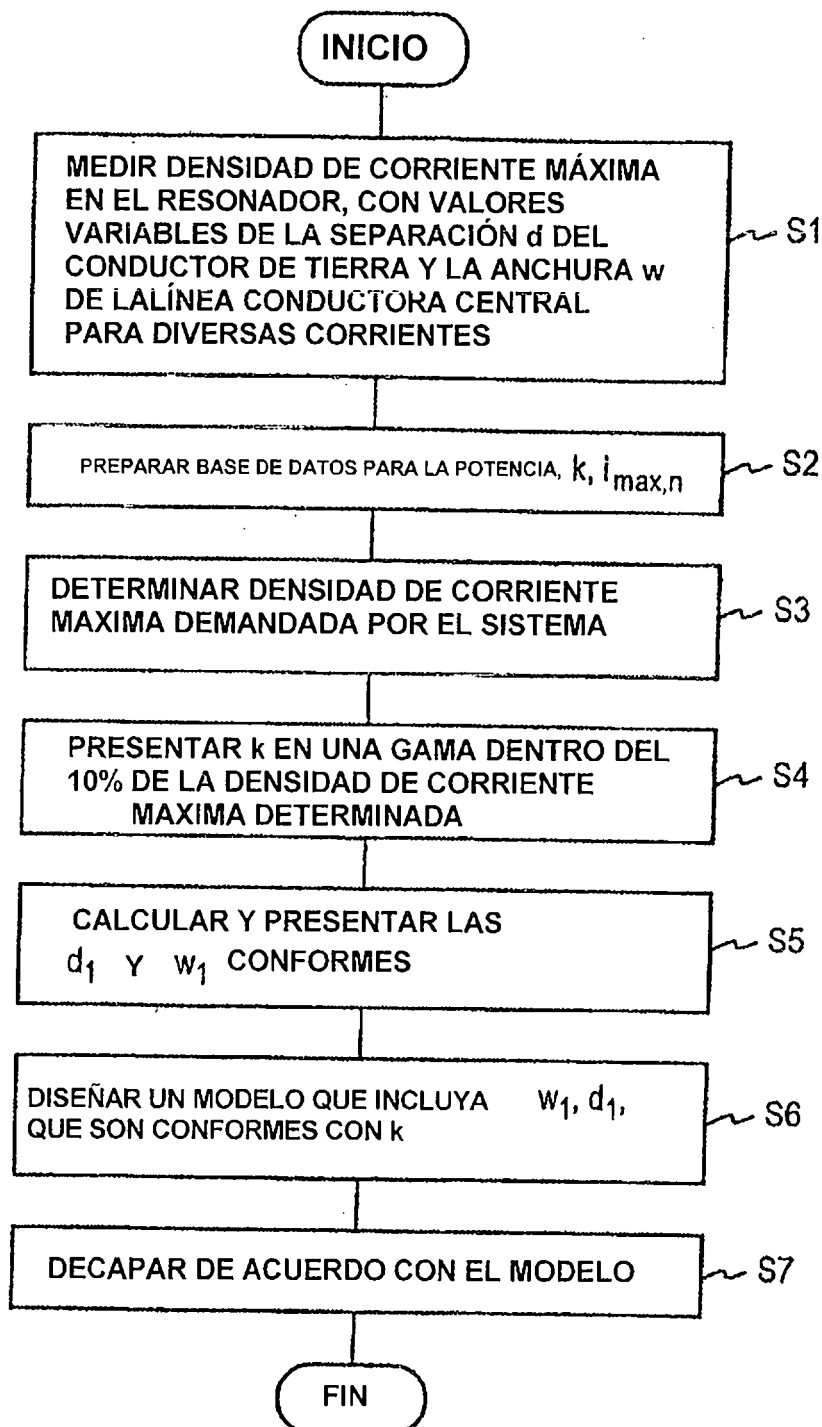


FIG. 18

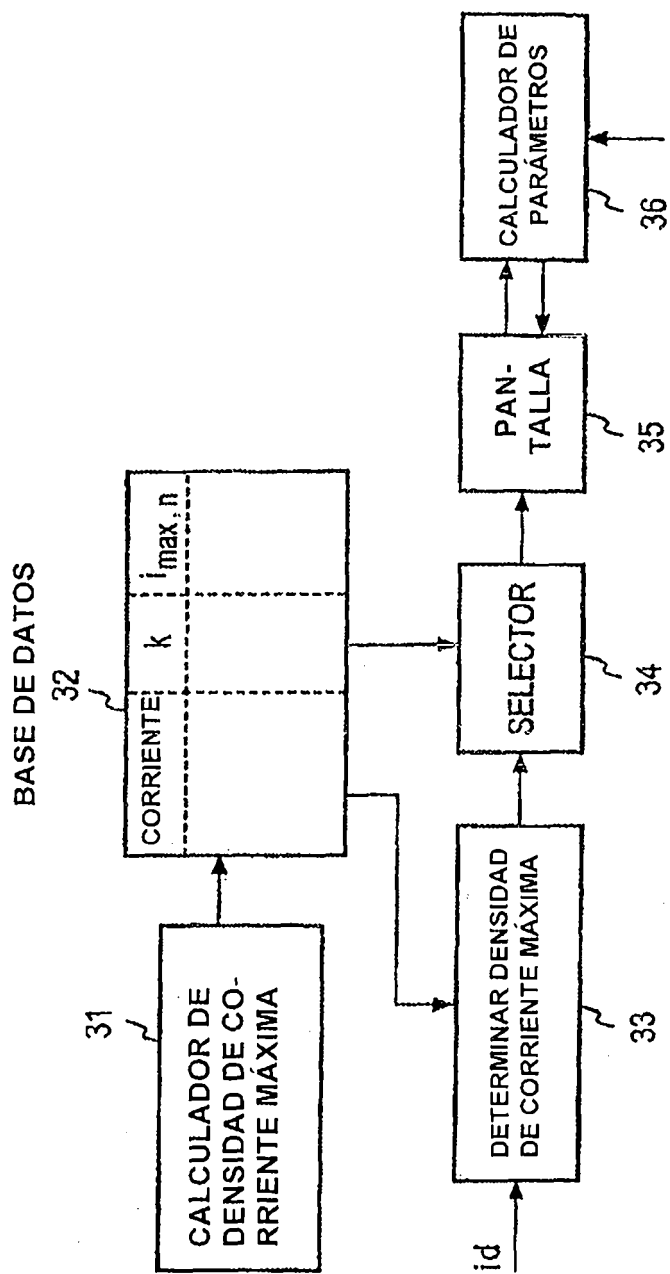


FIG. 19