



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 812**

51 Int. Cl.:
H03F 3/60 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07017833 .0**

96 Fecha de presentación : **12.09.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1936802**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.06.2008**

54 Título: **Amplificador de potencia de banda ancha.**

30 Prioridad: **08.11.2006 DE 10 2006 052 611**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.10.2011

73 Titular/es: **EADS DEUTSCHLAND GmbH**
Willy-Messerschmitt-Strasse
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es: **Salomon, Andreas**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 366 812 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

Amplificador de potencia de banda ancha

La invención se refiere a un circuito para la amplificación de banda ancha según las características del preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 A partir de los documentos DE 37 09 169 A1 y US 2004/189380 A1 es conocido un acoplador de antena, que tiene una estructura similar a la del preámbulo de la reivindicación 1. En el acoplador de antena, un primer acoplador híbrido de 90° está unido a la entrada del acoplador de antena y un segundo acoplador híbrido de 90° está unido a la salida del acoplador de antena. Entre el primer y el segundo acoplador híbrido están conectados en paralelo dos filtros supresores, estando conectado cada filtro supresor respectivamente en serie con un elemento de desplazamiento de fase. En este acoplador de antena, la anchura de banda de la señal a transmitir depende de la anchura de banda del respectivo acoplador híbrido de 90°. No es posible una amplificación de banda ancha con el acoplador de antena conocido.

- 15 Los amplificadores de banda ancha lineales (clase A) encuentran aplicación particularmente en la técnica de medición como amplificadores de medición. Para ello, varias etapas de transistor adaptadas a banda ancha son conectadas una tras otra formando un amplificador conjunto. Los respectivos transistores obtienen entonces una corriente de reposo apropiada, para garantizar el punto de operación para un funcionamiento de amplificación lineal. La tecnología de semiconductores principalmente empleada para estos amplificadores es GaAs. Estos amplificadores de medición operan habitualmente de forma muy lineal. Sin embargo, estos amplificadores de medición tienen un intervalo de frecuencia muy limitado y están limitados en la potencia de saturación.

- 20 Para la mejora de la adaptación a banda ancha de las etapas de amplificación individuales se opera con una realimentación negativa HF (del inglés "High Frequency", de alta frecuencia) (elemento RC) entre la entrada HF y la salida HF. Esta realimentación negativa HF debe atenuar para frecuencias bajas una tendencia oscilatoria creciente de los transistores HF, provocada por su curva característica de amplificación aumentada (figura 1). Igualmente, la realimentación negativa HF procura un comportamiento de amplificación uniforme sobre un intervalo de frecuencia muy amplio. Se asume aquí una pérdida de amplificación.

Para la mejora de la adaptación de entrada se emplean acopladores híbridos de 90° de banda ancha (figura 2). Además de ello, se aplica para cada etapa de amplificación habitualmente una realimentación negativa HF. A través de ello se mejora la adaptación de entrada sobre el intervalo de frecuencia de los acopladores híbridos de 90°. Además de ello se aumenta la potencia de saturación del amplificador.

- 30 Una disposición de circuito para la consecución de la adaptación de potencia para amplificadores de alta frecuencia adaptados a ruido es conocida a partir del documento DE 28 07 813 B1.

- El modo de funcionamiento de un acoplador híbrido de 90° de 3 dB es conocido. Un acoplador híbrido de 90° actúa, como ya indica su nombre, como un acoplador direccional que divide respectivamente la mitad de la potencia HF introducida en dos salidas HF. Las señales HF en estas dos salidas HF tienen entonces una diferencia de fase de 90°. Si la potencia HF es reflejada nuevamente de vuelta hacia las salidas de 3 dB, sólo en la salida aislada tiene lugar una adición de la potencia HF. En este punto, la potencia HF reflejada puede ser convertida en calor con una resistencia de terminación. Hacia la entrada del acoplador híbrido de 90° no puede retornar con ello ninguna potencia HF reflejada, lo que conduce a una mejora considerable de la relación de ondas estacionarias de entrada VSWR (del inglés "Voltage Standing Wave Ratio") del circuito conjunto.

- 40 Los acopladores híbridos de 90° de banda ancha son sin embargo de dimensiones muy grandes. La compañía Anaren ofrece un acoplador híbrido de 90°, que soporta potencias HF de hasta 100 vatios cw (del inglés "Continuous Wave", onda continua) sobre un intervalo de frecuencia de 500 MHz hasta 3 GHz.

- 45 Sin embargo, con aproximadamente 15 x 3,5 x 1 cm son demasiado grandes para un desarrollo de emisoras pequeñas y compactas. Aunque desde el punto de vista físico no es realizable casi ninguna reducción de un acoplador así, existe de todos modos el deseo de reducir el tamaño.

Además, los acopladores híbridos de banda ancha están muy limitados a niveles bajos de potencia en cuanto a su potencia máxima admisible.

- 50 Amplificadores según el preámbulo de la reivindicación 1 son conocidos entre otras cosas de la compañía Kuhne Electronic (www.kuhne-electronic.de/german/vorverstaerker.html). Estos amplificadores tienen sin embargo una amplificación con una anchura de banda de menos de una octava.

En lo que sigue, se entenderá por el término anchura de banda la magnitud del intervalo de frecuencia que ocupa una señal entre su frecuencia límite inferior y superior. Además, por el término octava se entenderá un intervalo con una relación de frecuencia de 2:1 entre un valor superior de frecuencia y un valor inferior de frecuencia.

Constituye la tarea de la invención proporcionar un circuito compacto para la amplificación de banda ancha, con el que sea posible una amplificación de anchura de banda de más de 1 octava.

Esta tarea es resuelta con el amplificador de banda ancha conforme a las características de la reivindicación 1. Realizaciones ventajosas de la invención son el objeto de reivindicaciones subordinadas.

5 La tarea es resuelta mediante las características de la reivindicación 1. En el circuito conforme a la invención se aplican acopladores híbridos de 90°, que tienen un intervalo de operación de 1/n octavas entre un valor inferior de frecuencia y un valor superior de frecuencia, en que $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$, es decir n es un elemento de los números enteros positivos naturales. Con otras palabras, el valor superior de frecuencia del intervalo de operación es mayor que el valor inferior de frecuencia y al mismo tiempo menor o igual que el doble del valor inferior de frecuencia.

10 Un acoplador híbrido de 90° con un intervalo de operación así es denominado en lo que sigue también como acoplador híbrido de banda estrecha. En contraposición con un acoplador híbrido de banda ancha, que tiene un intervalo de operación con un valor superior de frecuencia que es mayor que el doble del valor inferior de frecuencia del intervalo de operación.

15 La invención hace posible aplicar acopladores híbridos de 90° tanto de tipo SMD o de tipo “drop in”, como también acopladores híbridos de 90° alojados en aluminio. Por componentes de tipo “drop in” un técnico en la materia entiende una pieza de recambio que encaja directamente, es decir un recambio de un componente, circuito, módulo, etc. existente dentro de un circuito existente, mediante la implantación de una realización más moderna o de mayor rendimiento, sin que tengan que ser modificados para ello la infraestructura de la placa de circuito, el software o cualquier otra cosa. Por un componente SMD (del inglés “Surface Mounted Device”, dispositivo de montaje en superficie) un técnico en la materia entiende un componente montable en superficie.

Un acoplador híbrido SMD de 90° es por ejemplo el componente ANAREN XINGER 11306-3 y es ofrecido por la compañía ANAREN. Estos acopladores híbridos SMD de 90° de banda estrecha están disponibles como producto de fabricación en masa para el mercado de telefonía móvil. Según sea de grande la anchura de banda de los acopladores, aumenta también la compatibilidad de potencia del componente.

25 Otra característica esencial del circuito conforme a la invención es que las etapas de amplificación se basan en transistores, que están hechos a partir de materiales semiconductores con grandes bandas electrónicas prohibidas (“bandgap” en inglés). Tales transistores son denominados también transistores de banda prohibida ancha. Tales transistores pueden estar hechos por ejemplo sobre la base de semiconductores de nitruro III, por ejemplo GaN, AlN o sobre la base de carburo de silicio (SiC) o diamante.

30 Los transistores de banda prohibida ancha se caracterizan, en contraposición con los transistores usuales, por ejemplo sobre la base de GaAs (semiconductores III-V), por una impedancia de entrada más alta. A diferencia de los transistores sobre la base de GaAs, los transistores de banda prohibida ancha en el intervalo de 100 MHz - 500 MHz no tienden a un comportamiento oscilatorio. Por ello pueden aplicarse transistores de banda prohibida ancha también en este intervalo de frecuencia como amplificadores, frente a lo cual los transistores sobre la base de GaAs en este intervalo de frecuencia tienden a oscilar.

La invención es descrita más detalladamente en lo que sigue con ayuda de figuras. Muestran:

la figura 1: la estructura básica de una realimentación negativa HF,

la figura 2: la estructura de un circuito de amplificación con acopladores híbridos de 90° y con etapas de amplificación conectadas en paralelo con realimentación negativa HF,

40 la figura 3: la evolución de la amplificación, en función de la frecuencia, de una etapa de amplificación de transistor con transistores de banda prohibida ancha sin realimentación negativa HF,

la figura 3a: la pérdida de retorno (“return loss”) de entrada S11 de los transistores PTF240PD (GaN) y CRF24010 (SiC) a modo de ejemplo,

45 la figura 3b: la pérdida de retorno de entrada del circuito de amplificación conforme a la invención según la figura 6,

la figura 4: la evolución de la atenuación de la conexión en serie de dos acopladores híbridos de 90° de banda estrecha (aquí de tipo XINGER 11306-3; 2,0 GHz - 4,0 GHz),

la figura 5: la evolución de una superposición aditiva de la figura 3 y la figura 4,

la figura 6: la estructura de un circuito conforme a la invención,

la figura 7: la evolución de la introducción por acoplamiento de la potencia de entrada HF en los canales de amplificación paralelos de un circuito conforme a la invención, condicionada por el acoplador híbrido de 90° 1a de la figura 6.

La figura 1 muestra una etapa de amplificación de transistor ya descrita anteriormente de un amplificador de banda ancha lineal con realimentación negativa HF. Para ello son conectadas una tras otra varias etapas de transistor 2 adaptadas a banda ancha formando un amplificador conjunto. Los respectivos transistores obtienen entonces una corriente de reposo apropiada, para garantizar el punto de operación para un funcionamiento de amplificación lineal. La tecnología de semiconductores principalmente empleada para estos amplificadores es GaAs.

La figura 2 muestra la estructura de un circuito de amplificación con acopladores híbridos de 90°. Mediante el empleo de acopladores híbridos de 90° de banda ancha 1a, 1b se mejora la adaptación de entrada de los acopladores híbridos 1a, 1b sobre su respectivo intervalo de frecuencia de operación. Entre ambos acopladores híbridos 1a, 1b están conectadas en paralelo dos etapas de amplificación 2a, 2b. Cada etapa de amplificación 2a, 2b tiene en este caso una realimentación negativa HF. La señal a amplificar es suministrada al circuito por la entrada HF_IN. En la salida HF_OUT se tiene la señal amplificada, que es conducida por ejemplo a una antena.

La figura 3 muestra la evolución a modo de ejemplo de la amplificación en función de la frecuencia de una etapa de amplificación de transistor con transistores de banda prohibida ancha sin realimentación negativa HF. En esta representación se muestra a modo de ejemplo la evolución, en función de la frecuencia, de la amplificación de una etapa de amplificación de transistor con un transistor de GaN, de tipo RT240PD de la compañía RFHIC. La amplificación es de aproximadamente 25 dB en el intervalo de 1,5 GHz a 3,0 GHz. Por debajo de 1,5 GHz, la etapa de amplificación de transistor está adecuadamente adaptada, de modo que la amplificación en este intervalo es de por encima de 25 dB.

Típicamente, los transistores de banda prohibida ancha sólo muestran valores de pérdida de retorno (S11) muy pequeños sobre el intervalo de frecuencia deseado (figura 3a). El transistor de GaN del tipo PTF240PD tiene valores de $1,1 \text{ dB} < S_{11} < 1,25 \text{ dB}$ (representación izquierda en la figura 3a). El transistor de SiC del tipo CRF24060 muestra una pérdida de retorno de entrada de $0,65 \text{ dB} < S_{11} < 0,90 \text{ dB}$ sobre el intervalo de frecuencia de 100 MHz – 3,0 GHz (representación derecha en la figura 3a). Esta circunstancia de valores S11 muy bajos dificulta la integración de estos transistores en una cadena de amplificación, ya que la potencia de salida de componentes de amplificación anteriores en una cadena de amplificación es fundamentalmente reflejada de vuelta nuevamente a la entrada del transistor de banda prohibida ancha. Esto puede llevar a la destrucción de los componentes de amplificación anteriores.

El empleo de un acoplador híbrido de 90° mejora la pérdida de retorno de entrada a valores de $S_{11} > 10 \text{ dB}$ sobre un intervalo de frecuencia de 250 MHz – 3,0 MHz (figura 3b). Con ello, una construcción de amplificador con acopladores híbridos de 90° es más adecuada que componentes de sistema integrables.

La figura 4 muestra la evolución, en función de la frecuencia, de la amplificación de dos acopladores híbridos de 90° de banda estrecha conectados en serie del tipo 11306-3 de la compañía ANAREN XINGER.

Los acopladores híbridos de 90° de banda estrecha operan en el intervalo de frecuencia de 2,0 – 4,0 GHz a un factor de acoplamiento constante de 3 dB. Igualmente se garantiza la estabilidad de fase de 90°. Las pérdidas de amplificación en este intervalo de frecuencia son pequeñas. Por debajo de 2,0 GHz y por encima de 4,0 GHz aumenta sin embargo fuertemente la atenuación de los acopladores híbridos.

La figura 3 muestra además que la etapa de amplificación de transistor está adecuadamente adaptada. La red de adaptación de entrada y de salida de los respectivos transistores es realizada mediante líneas de microtira, que representan de modo adecuado una combinación una combinación de inductancias y capacitancias para obtener la evolución de amplificación deseada sobre todo el intervalo de frecuencia. La conformación de una red de adaptación es una medida familiar para un técnico en la materia.

En el intervalo de 100 MHz a 2,0 GHz, es decir sobre un intervalo de frecuencia de aproximadamente 5 octavas, la etapa de amplificación de transistor tiene una amplificación que compensa la atenuación de los acopladores híbridos de 90° de banda estrecha. Convenientemente, la etapa de amplificación de transistor está adaptada de tal modo que en uno o varios intervalos de frecuencia prefijables, en los cuales los acopladores híbridos de 90° tienen valores de atenuación mayores de 3 dB, la amplificación de las etapas de amplificación compensa estos valores de atenuación, de modo que a la salida del circuito la amplificación en un intervalo de frecuencia de k octavas está dentro de un intervalo de valores prefijable, en que $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$.

En la figura 5 se representa la evolución, en función de la frecuencia, de la amplificación de un circuito conforme a la invención de la figura 6. La evolución de la amplificación en función de la frecuencia en la figura 5 es el encadenamiento aditivo de las evoluciones de amplificación representadas en las figuras 3 y 4. La figura 5 muestra que la evolución de la amplificación en el intervalo de frecuencia de 300 MHz a 3000 MHz es de 24 dB o superior. El circuito conforme a la invención muestra un comportamiento de amplificación constante sobre un intervalo de

frecuencia de aproximadamente 3 octavas, es decir 300 MHz – 600 MHz, 600 MHz – 1200 MHz y 1200 MHz – 3200 MHz. En comparación con la evolución de amplificación, representada en la figura 5, del acoplador híbrido de 90° el circuito conforme a la invención tiene una ganancia de banda ancha de 1700 MHz a una amplificación de 24 dB.

- 5 Con el circuito conforme a la invención es posible con ello una amplificación de 24 dB sobre un intervalo de frecuencia de 300 MHz a 3000 MHz, sin que haya que conmutar entre distintas etapas de amplificación.

Por supuesto, el circuito conforme a la invención no está limitado a un intervalo de operación de 300 MHz a 3000 MHz. Mediante la elección de etapas de amplificación de transistor adecuadas en tecnología de banda prohibida ancha son posibles circuitos de amplificación de banda ancha con un intervalo de operación de 100 MHz a 5000 MHz.

- 10 Con ayuda de la figura 7 se explica otra vez el principio de la ampliación de banda ancha. La figura 7 representa la evolución de acoplamiento del acoplador híbrido de 90° 1a de la figura 6, que es de 3 dB en su intervalo especificado de 2,0 GHz – 4,0 GHz (tipo Anaren Xinger 11306-3).

- 15 La curva a) tiene una evolución de acoplamiento de 0 dB a -3 dB. El intervalo de operación del primer acoplador híbrido 1a para el puerto A (figura 6) es con ello de entre 2,0 y 4,0 GHz. La curva b) muestra la evolución de acoplamiento de -20 dB hasta como máximo -3 dB. El intervalo de operación del segundo acoplador híbrido 1b para el puerto B es con ello también de entre 2,0 y 4,0 GHz.

- 20 La representación muestra con ello la magnitud de la potencia desacoplada en los puertos A y B. La consecuencia del uso del acoplador híbrido de 90° 1a es que en el intervalo 1. (100 MHz a 2,0 GHz) en la etapa de amplificación de transistor 2a, lo que también se denomina canal HF, con el transistor 2a se introduce por acoplamiento más potencia de entrada que en el canal HF con el transistor 2b. Lo mismo es válido para el intervalo 3. (> 4,0 GHz).

En el intervalo 2. (2,0 GHz a 4,0 GHz), ambos canales HF obtienen igual cantidad de potencia de entrada HF, ya que aquí el acoplamiento es respectivamente de 3,0 dB.

REIVINDICACIONES

1. Circuito para la amplificación de banda ancha que comprende una entrada HF_IN y una salida HF_OUT, en que a la entrada HF_IN del circuito está unido un primer acoplador híbrido de 90° (1a) y a la salida HF_OUT del circuito está unido un segundo acoplador híbrido de 90° (1b) y en que entre el primer y el segundo acoplador híbrido de 90° (1a, 1b) están conectadas en paralelo dos etapas de amplificación (2a, 2b), caracterizado porque en lo que respecta a los acopladores híbridos de 90° (1a, 1b) se trata de acopladores híbridos con un intervalo de operación de 1/n octavas entre un valor inferior de frecuencia y un valor superior de frecuencia, en que $n \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$, es decir n es un elemento de los números enteros positivos naturales, de tal modo que el valor superior de frecuencia es mayor que el valor inferior de frecuencia y al mismo tiempo menor que el doble del valor inferior de frecuencia, y en que las etapas de amplificación (2a, 2b) se basan en transistores con una base de nitruro III, o SiC o diamante, y en que las etapas de amplificación (2a, 2b) están adaptadas a los acopladores híbridos de 90° (1a, 1b) de tal modo que en uno o varios intervalos de frecuencia prefijables, en los cuales los acopladores híbridos de 90° (1a, 1b) tienen valores de atenuación mayores de 3 dB, la amplificación de las etapas de amplificación (2a, 2b) compensa estos valores de atenuación, de modo que en la salida HF_OUT del circuito la amplificación en un intervalo de frecuencia de k octavas está dentro de un intervalo de valores prefijable, en que $k \in \mathbb{N} \setminus \{0\}$.
2. Circuito según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque en lo que respecta a los acopladores híbridos de 90° (1a, 1b) se puede tratar tanto de componentes montables en superficie como también de componentes de tipo "drop in" o alojados en aluminio.

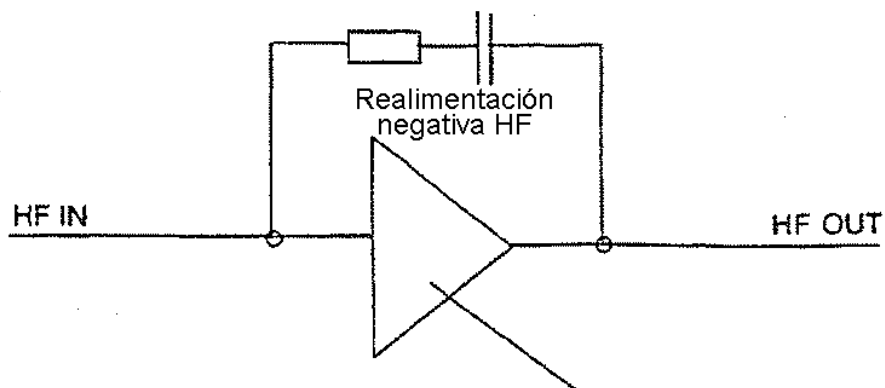


Fig. 1

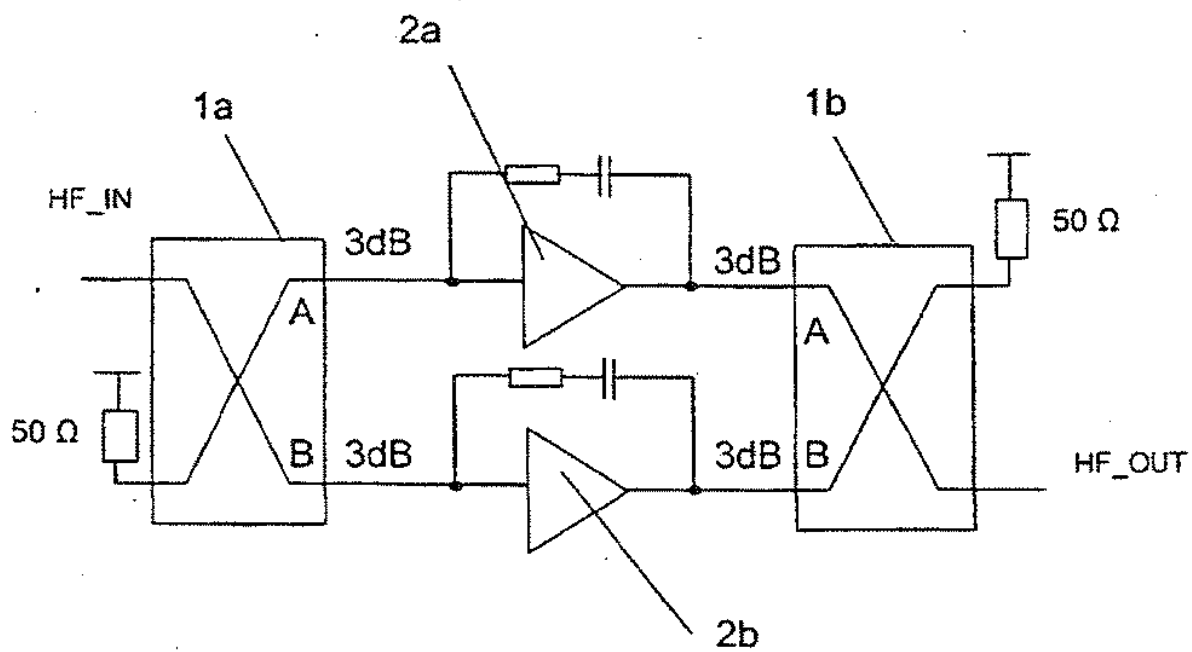


Fig. 2

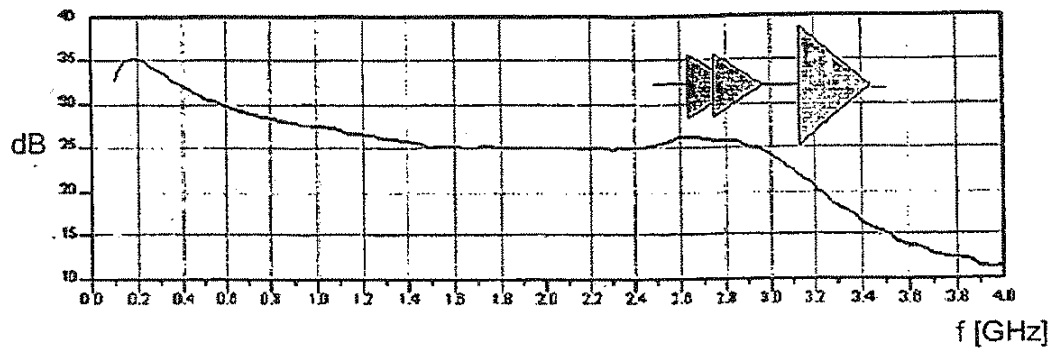


Fig. 3

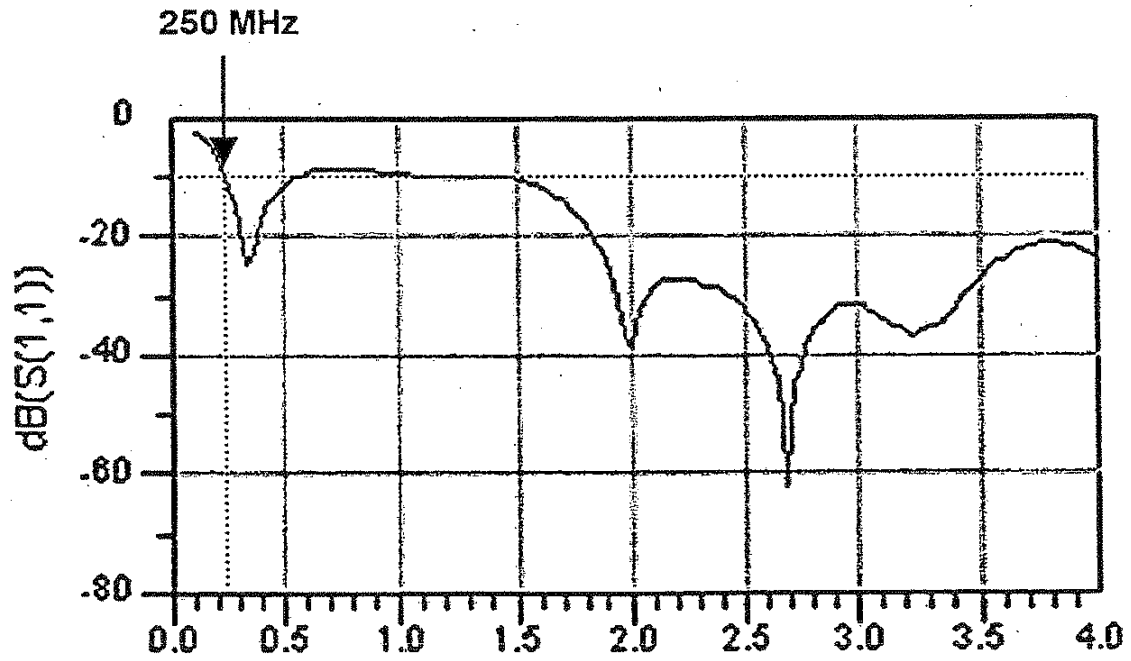
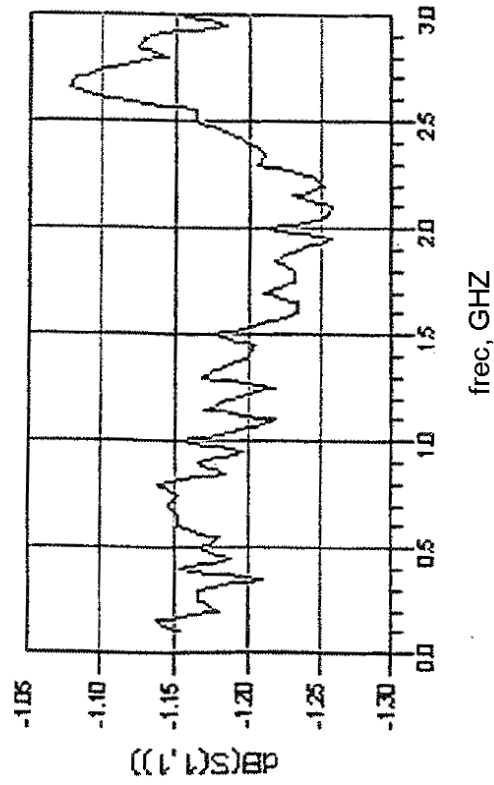


Fig. 3b

Curva característica de transistor para transistor de GaN RFHIC PTF240PD
10 vatios



Curva característica de transistor para transistor de SiC CREE CRF24010
10 vatios

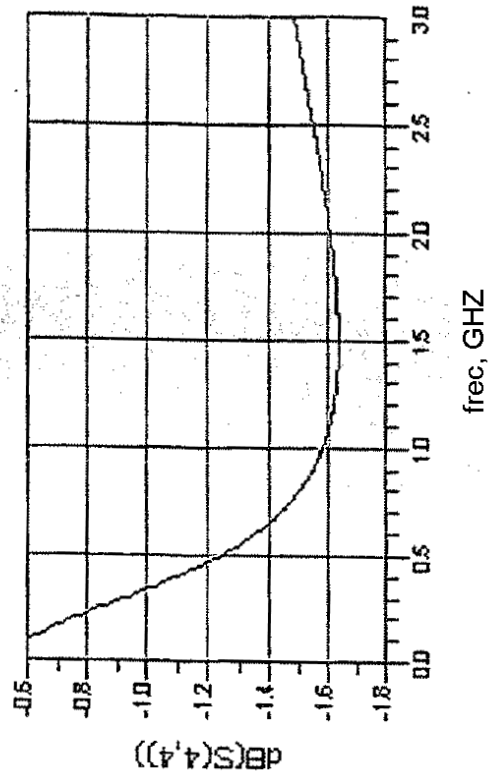


Fig. 3a

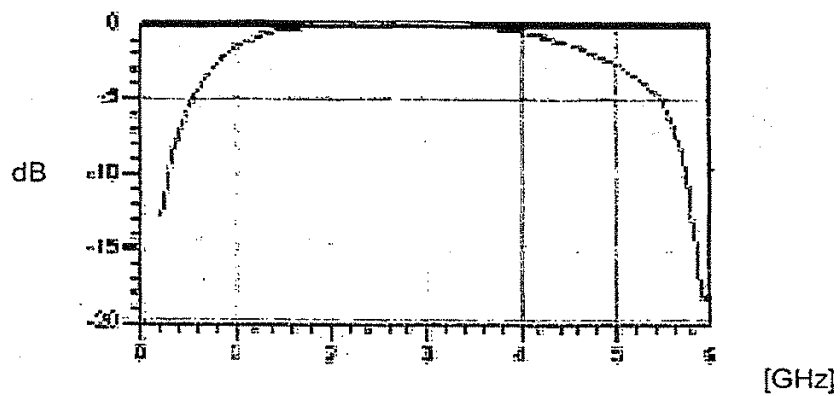


Fig. 4

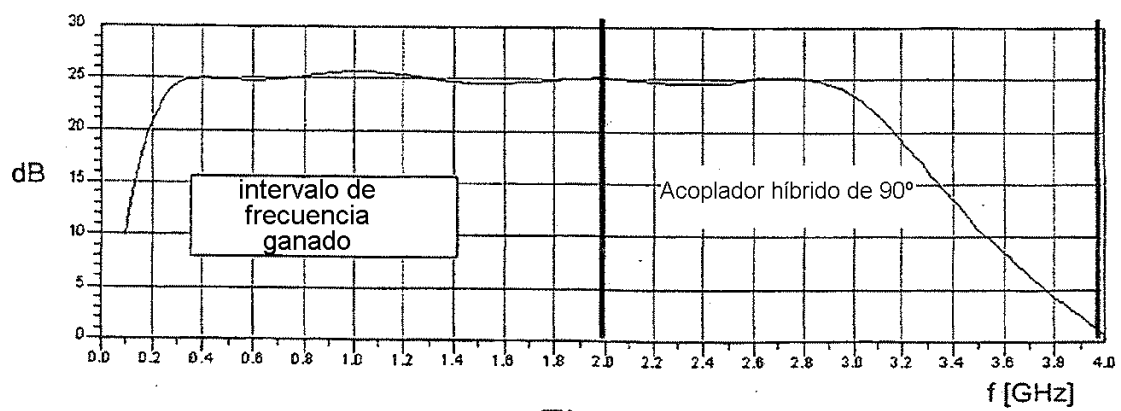


Fig. 5

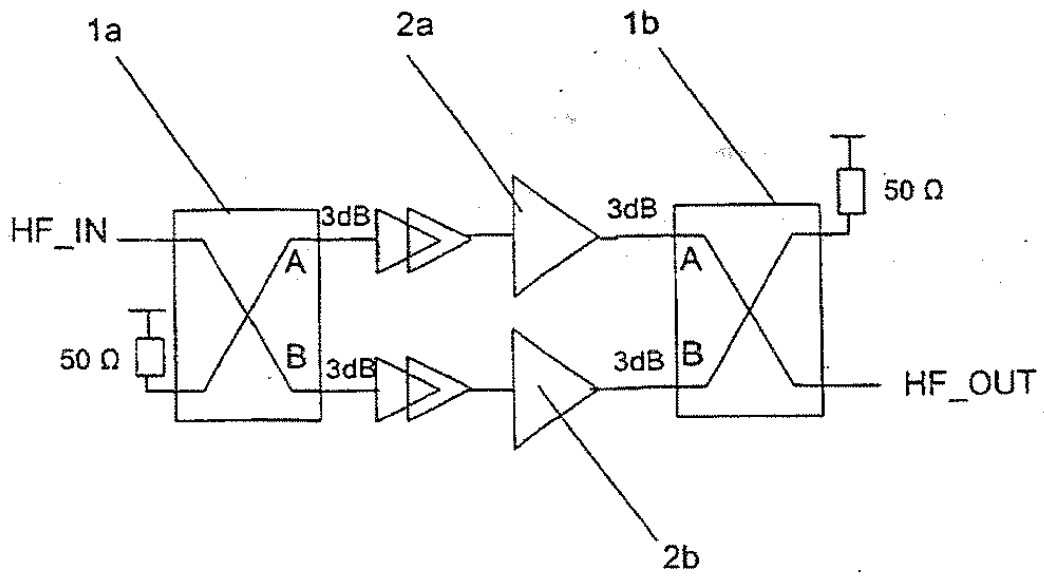


Fig. 6

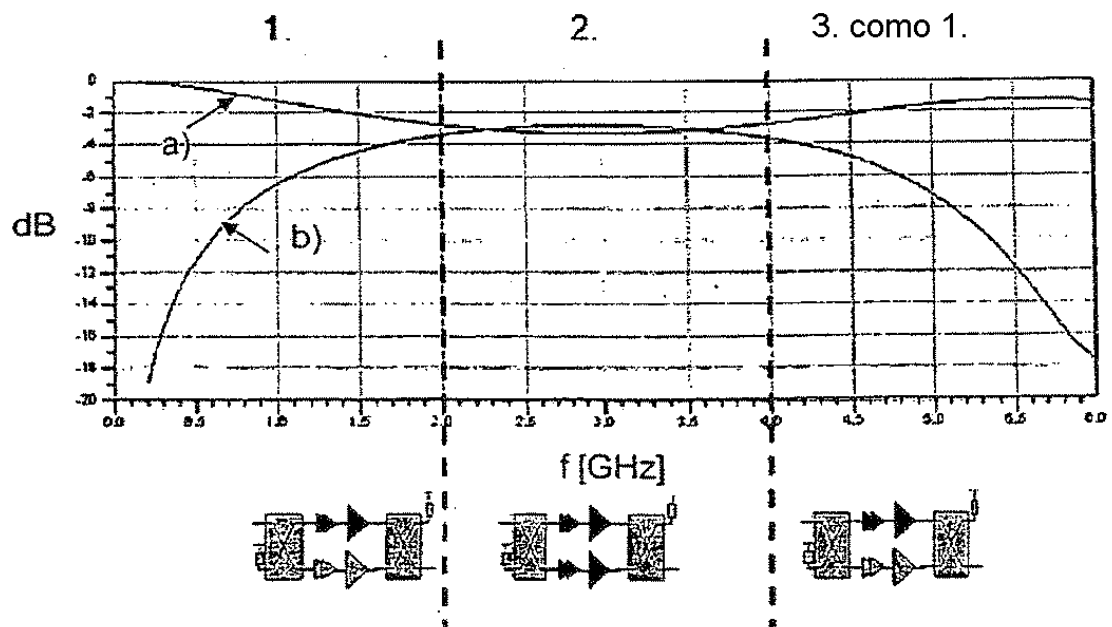


Fig. 7