

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 827**

51 Int. Cl.:

H03F 1/26 (2006.01)

H03F 1/34 (2006.01)

H03F 3/193 (2006.01)

H03F 3/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2016** **E 16202310 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** **EP 3179629**

54 Título: **Amplificador de potencia de radiofrecuencia de bajo ruido y sistema de transmisión y recepción que incluye tal amplificador**

30 Prioridad:

09.12.2015 FR 1502560

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

20.02.2020

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Esplanade Nord, Place des
Corolles
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

GUERN, PIERRE;
MAILLOUX, PIERRE-YVES y
SABOUREAU, CEDRICK

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 743 827 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 radiofrecuencia de bajo ruido y sistema de transmisión y recepción que incluye tal amplificador

5 La presente invención se refiere a un amplificador de potencia de RF en el que el ruido emitido se reduce considerablemente. También se refiere a un sistema de emisión y recepción de RF que incluye tal amplificador.

La invención se aplica, por ejemplo, en sistemas de emisión y recepción de RF coubicados que pertenecen a diferentes redes de telecomunicaciones, donde es probable que cada sistema contamine al otro.

10 En el campo de las telecomunicaciones UHF o VHF en particular, ciertas misiones imponen colocar en el mismo lugar geográfico sistemas de emisión y recepción, perteneciendo cada uno a una red propia, siendo ambas redes independientes y funcionando a frecuencias cercanas. Se dice que estos sistemas están coubicados, o también se habla de sistemas de sitios compartidos. Este es particularmente el caso cuando dos antenas, y sus medios de emisión y recepción asociados, están dispuestos en el mismo vehículo. Esto da como resultado un atasco entre los dos sistemas y una degradación del alcance. Más particularmente, en tal situación de proximidad entre un emisor de una red y un receptor de otra red, el receptor está contaminado por el ruido fuera de banda emitido por el transmisor.

15 Los órdenes de magnitud de potencia en juego pueden alcanzar 5 vatios interceptados a la recepción por 50 vatios emitidos por el emisor.

En las soluciones conocidas para resolver este problema de proximidad geográfica, el ruido de emisión se procesa mediante filtrados múltiples, consumidores de energía y de volumen en equipos, y por lo demás son costosos.

20 Por otra parte, las fases de amplificación de potencia, que administran la señal a emitir, generan ruidos significativos al pie de la portadora cuando el amplificador trabaja cerca de su saturación y, por lo tanto, su mejor rendimiento. Estos ruidos adicionales pueden ser considerables, muy superiores al ruido de señal pequeña.

Por último, el ruido del último nivel de potencia no se puede filtrar porque la viabilidad de filtros muy selectivos no se adquiere con alta potencia. Aunque estos filtros se pueden realizar, el rendimiento global del emisor puede reducirse considerablemente debido a las pérdidas en estos filtros.

25 Los documentos DE 35 29 078 A1, US 2005/270104 A1, US 2003/214357 A1 y EP 2 506 443 A1 desvelan amplificadores con circuitos de retroalimentación.

Un objeto de la invención es en particular superar los inconvenientes mencionados anteriormente. Para esto, el objeto de la invención es un amplificador de potencia de RF tal como se describe en las reivindicaciones.

30 La invención también se refiere a un sistema de emisión y recepción de radiofrecuencias que incluye un amplificador de potencia tal como se describe anteriormente.

Otras ventajas y características de la invención serán evidentes con la ayuda de la descripción que sigue, hecha con referencia a los dibujos adjuntos que representan:

- La figura 1, un ejemplo de un amplificador de potencia según la técnica anterior;
- La figura 2, una ilustración de la generación del ruido de un amplificador de potencia de RF transpuesto en un pie de portadora;
- La figura 3, un ejemplo de realización de un amplificador de potencia según la invención;
- La figura 4, una ilustración de la corrección de ruido proporcionada por la invención;
- La figura 5, una comparación de los ruidos generados entre un amplificador según la técnica anterior y un amplificador según la invención.

40 La figura 1 presenta de forma esquemática un amplificador de potencia según la técnica anterior. Éste incluye al menos un transistor Q1 destinado a amplificar una señal de entrada E, de bajo nivel. Se considera a continuación, a título de ejemplo, un transistor de efecto campo. Si es necesario, se pueden interconectar varios transistores en paralelo para proporcionar la potencia necesaria. Una potencia típica en el campo de las telecomunicaciones UHF o VHF es de 50 vatios. El transistor está conectado a dos tensiones de polarización V_D y V_G . La primera, V_D , conectada al drenaje del transistor a través de una inductancia L1 proporciona la potencia eléctrica necesaria para la amplificación. La segunda, V_G , polariza la tensión de la rejilla del transistor a través de una resistencia R2. Convencionalmente un bucle de retroalimentación 10, activo en UHF y VHF, está conectado entre el drenaje y la rejilla. Este bucle de retroalimentación 10 determina, en particular, la ganancia de RF del nivel de amplificación formado por el transistor. Las señales de radiofrecuencia presentes en la entrada E del amplificador están acopladas a la rejilla del transistor a través de una capacidad C.

50

El amplificador genera un ruido que está presente al nivel de la antena. De manera más precisa, el ruido resultante al nivel de la antena es el ruido de salida del amplificador y, más particularmente, del transistor Q1.

Como se ha indicado anteriormente, el filtrado del ruido a la salida del nivel de potencia no siempre es posible. En particular, en VHF es posible filtrar a la salida del transistor Q1, pero no en UHF.

El ruido a la salida del transistor Q1 se compone de dos tipos de ruido:

- Un ruido convencional, llamado ruido térmico, función de la temperatura de distribución de frecuencia más o menos uniforme;
- Un ruido no convencional, llamado ruido electrónico, debido al funcionamiento de los semiconductores.

5 En particular, el nivel de ruido a la salida de un amplificador de potencia del transistor aumenta considerablemente en la proximidad de la saturación. Este fenómeno es particularmente visible en los montajes de transistores en la clase AB. El factor de ruido equivalente, cerca de la portadora, puede degradarse en 20 dB con respecto al funcionamiento de bajo nivel. Los dos fenómenos presentados a continuación pueden explicar este segundo tipo de ruido, no convencional:

- 10 - Por una parte, para los amplificadores de clase AB, la corriente aumenta considerablemente cuando el transistor comienza a autopolarizarse. El ruido de recombinación de los portadores (ruido de disparo, ruido en $1/f$, siendo f la frecuencia, en particular) generado en la banda base se encuentra transpuesto al pie de la portadora por las no linealidades. El ruido en $1/f$ al pie de la portadora es proporcional a la corriente consumida y, por lo tanto, a la potencia promedio emitida por un amplificador de clase AB;
- 15 - Por otra parte, un amplificador cercano a su saturación se vuelve no lineal y, por lo tanto, se pliega, detecta y transpone el conjunto de su banda de ruido térmico en la banda base, luego transpone de nuevo este ruido en el pie de la portadora.

20 Los ensayos y pruebas realizados por la solicitante han demostrado que este ruido se genera esencialmente en la salida del transistor, sobre la vía de fuente de drenaje en el caso de un transistor de efecto campo. Este ruido no está correlacionado con el ruido térmico a la entrada del transistor. El modelo convencional de la fuente de ruido a la entrada de un amplificador de potencia no se puede tener, por lo tanto, en cuenta para resolver el problema planteado.

Antes de exponer la solución proporcionada por la invención, a continuación, se ilustra la creación de este ruido generado a la salida del transistor.

25 La figura 2 ilustra los efectos de las no linealidades tal como se describió anteriormente, que se producen cuando el amplificador está cerca de la saturación, en su mejor rendimiento.

Una primera parte 1 muestra, en el campo de frecuencia, la portadora 21 de la señal emitida, que se distingue del piso 22 de ruido térmico.

30 Una segunda parte 2 muestra el ruido de recombinación de los portadores generados en la banda 23 base, a bajas frecuencias, estando este ruido en $1/f$. Las no linealidades causan el plegamiento del espectro de ruido, en la banda base, como se ilustra en esta segunda parte 2.

35 Una tercera parte 3 ilustra la transposición del ruido generado en la banda base, en $1/f$ al pie 24 de la portadora. Este ruido así transpuesto por las no linealidades provoca un ruido 25 añadido al pie de la portadora 21 emitido por el amplificador. Este ruido, en $1/f$, es proporcional a la corriente consumida y, por lo tanto, a la potencia promedio emitida por un amplificador de clase AB. Como se indicó anteriormente, la solicitante ha destacado el hecho de que este ruido se genera esencialmente a la salida del transistor Q1. De manera más precisa, la rejilla del transistor permanece silenciosa mientras que la fuente comprende el ruido.

Por lo tanto, el modelo de ruido convencional de un amplificador de potencia que supone una entrada ruidosa no es adecuado para contrarrestar este ruido.

40 La figura 3 ilustra un ejemplo de realización de un amplificador según la invención. Para suprimir el ruido 25 al pie de la portadora, o al menos atenuarlo fuertemente, según la invención, se agrega un bucle 30 de retroalimentación analógico en la banda base. Esto vuelve, a baja frecuencia, a esclavizar la salida S del amplificador a la entrada E, menos ruidosa. En otras palabras, esto equivale a inyectar una parte del ruido de salida en la entrada del transistor para cancelar este ruido. El bucle de ruido está activo en la banda 23 base, por ejemplo, entre unos pocos cientos de

45 kilohercios y unos pocos megahercios.

Retomando el ejemplo de la realización de la figura 1, el bucle 30 de retroalimentación, que se llamará a continuación bucle de ruido, está conectado en paralelo al bucle 10 de retroalimentación convencional, agregando algunos componentes o circuitos de adaptación.

50 En particular, este bucle 30 de ruido está conectado entre la salida y la entrada del amplificador a través de las inductancias 31, 32 de desacoplamiento. De manera más precisa, una primera inductancia 31 está conectada entre el bucle 30 de ruido y el drenaje del transistor Q1 y una segunda inductancia 32 está conectada entre el bucle 30 de ruido y la rejilla del transistor. Estas inductancias son pasantes a bajas frecuencias, en la banda base correspondiente a las frecuencias a filtrar, y aíslan el bucle de ruidos a altas frecuencias.

Con respecto a la conexión a las tensiones de polarización VG, VD, el bucle de ruido está conectado por un lado a la

tensión de drenaje VD mediante un filtro de bajas frecuencias y radiofrecuencias, por ejemplo, una inductancia 34. Está conectado en el otro lado a la tensión de la rejilla VG a través de la resistencia de polarización R2, ya presente en el montaje de la figura 3.

- 5 Por ejemplo, el bucle 30 de ruido consiste en un condensador cuyo valor de capacidad está adaptado a las frecuencias de base. De manera más precisa, la capacidad se calcula para que el bucle de ruido esté activo en las bandas de interés, en las bajas frecuencias, correspondientes a la banda de frecuencia alrededor de la portadora en la que se desea disminuir el ruido emitido.

- 10 El bucle 30 de retroalimentación está en baja frecuencia, casi en la banda base y, por lo tanto, debajo de la banda útil de amplificación del amplificador. La banda útil es la banda de uso del amplificador o banda de radiofrecuencias, entre una frecuencia $F_{\min}$ y una frecuencia $F_{\max}$. Por ejemplo, $F_{\min} = 20$ MHz y $F_{\max} = 500$ MHz. La banda base es la banda de modulación, aquí la banda situada debajo de la banda útil, es decir, entre 0 y $F_{\min}$. Un efecto de la invención es obtener un máximo de retroalimentación por debajo de la banda útil, debajo de $F_{\min}$ del amplificador, sin modificar la retroalimentación y, por lo tanto, la ganancia del amplificador en su banda útil, $F_{\min}$ a $F_{\max}$.

La figura 4 ilustra los efectos del bucle de ruido en la atenuación del ruido en el pie de portadora.

- 15 La primera parte 1 se reanuda, en el campo de frecuencia, el caso de la figura 2 con la portadora 21, el piso 22 de ruido térmico y la banda de frecuencia de base.

Las otras dos partes 2', 3' retoma el espectro 25 de ruido de banda base de la figura 2 y el espectro 45 de ruido corregido por el bucle 30 de ruido. La segunda parte 2' presenta, por lo tanto, el ruido corregido 45 antes de la transposición, con una alta atenuación en comparación con el ruido en $1/f$ sin corregir.

- 20 La tercera parte 3' ilustra la transposición del ruido 45 corregido en la banda base, en el pie 24 de la portadora. Como el ruido corregido está fuertemente atenuado, se encuentra esta atenuación al pie de la portadora.

- 25 La figura 5 presenta, bajo una forma, la atenuación obtenida en el ruido generado a la salida del transistor Q1, vista desde la salida del amplificador. Una primera curva 51 representa la ganancia de ruido en función de la frecuencia sin un bucle de ruido. Una segunda curva 52 representa la ganancia de ruido para un amplificador de potencia según la invención, equipado con el bucle 30 de ruido. Esta segunda curva 52 muestra una fuerte disminución del ruido en la banda 23 base, disminución que se encuentra al pie de la portadora 21 como se ilustra en la figura 4.

- 30 Las figuras 4 y 5 muestran claramente que la invención permite limitar considerablemente el ruido visto desde la salida del amplificador de potencia. En la práctica, esta reducción en el ruido de la banda base da como resultado una disminución importante en la degradación del ruido del pie de portadora proporcionado por las no linealidades y los ruidos de recombinación de portador. En particular, la figura 4 muestra que el ruido resultante transpuesto al pie de portadora se aproxima al ruido térmico convencional. Las pruebas realizadas por la solicitante han demostrado que estas potencias de ruidos de 10 a 100 veces mayores se miden en ausencia del bucle 30 de ruido.

- 35 Ventajosamente, la presente invención puede implementarse de manera muy simple y económica. De hecho, es fácil y económico poner un bucle de retroalimentación de bajas frecuencias en paralelo con el bucle de retroalimentación de ganancia convencional. En una versión simple, tal como se ilustra en la figura 3, la retroalimentación 30 de bajas frecuencias se inserta al nivel de los desacoplamientos R2, 34 de la polarización del transistor.

- 40 La invención también tiene la ventaja de que es compacta, es decir, no aumenta el volumen o la superficie ocupado por el amplificador de potencia, o de forma muy limitada. Por último, no degrada el rendimiento del amplificador. Unas pruebas realizadas por la solicitante, han demostrado, en particular, que es posible lograr con un amplificador según la invención una reducción de ruido del orden de 15 dB del ruido al pie de la portadora agregado y emitido por el amplificador, sin filtrado, sin pérdidas y, por lo tanto, sin pérdida de rendimiento. Ventajosamente, se puede, en ciertos casos de aplicación, suprimir el filtro de salida habitualmente usado para las aplicaciones en sitios compartidos.

REIVINDICACIONES

1. Amplificador de potencia de RF que incluye al menos un transistor (Q1) destinado a amplificar una señal de entrada, en una banda útil, incluyendo dicho transistor un primer circuito (10) de retroalimentación que determina su ganancia de amplificación, **caracterizado porque** incluye un segundo circuito (30) de retroalimentación que incluye un condensador, estando dicho segundo circuito (30) conectado entre la salida y la entrada de dichos transistores (Q1) a través de inductancias (31, 32), formando dichas inductancias un filtro con dicho condensador, siendo dicho filtro:
 - pasante en una banda (23) de frecuencias de base en la que se produce ruido (25) a la salida de dicho transistor, de modo que una parte de dicho ruido de salida sea inyectado en la entrada de dicho transistor a través de dicho segundo circuito, y;
 - aislante para las otras frecuencias, estando la banda de frecuencias de base por debajo de la banda útil.
2. Amplificador de potencia según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho amplificador emite una señal que tiene una portadora (21) dada, una banda de frecuencia alrededor de dicha portadora (21), en la que se desea disminuir dicho ruido (25) emitido, es una transposición de dicha banda (23) de frecuencias de base.
3. Amplificador de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicho transistor (Q1) es un transistor de efecto campo, dicho circuito (30) de retroalimentación está conectado al drenaje de dicho transistor a través de una primera inductancia (31) y a la rejilla de dicho transistor a través de una segunda inductancia (32).
4. Sistema de emisión y recepción de radiofrecuencias, **caracterizado porque** incluye un amplificador (Q1, 10, 31, 32) de potencia según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

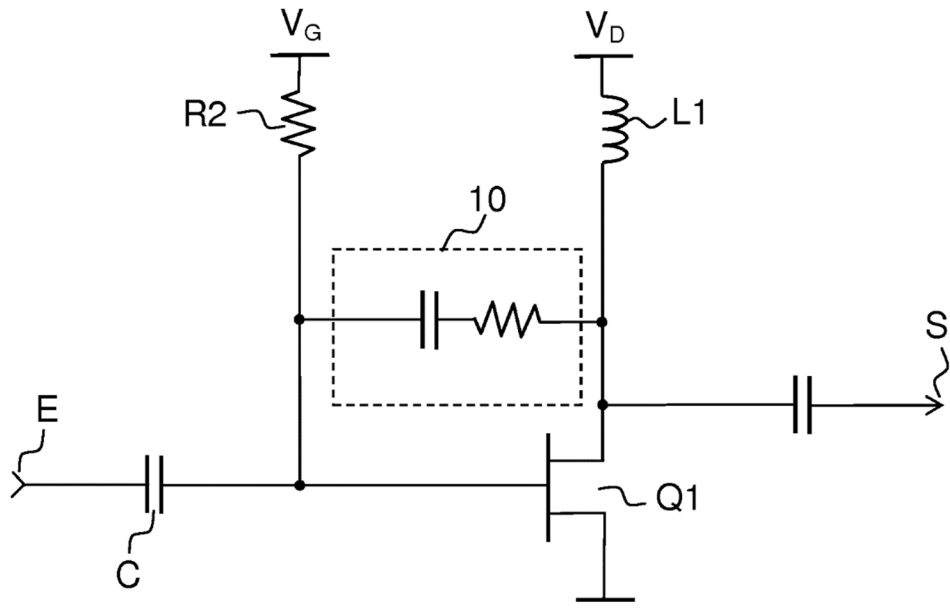


FIG.1

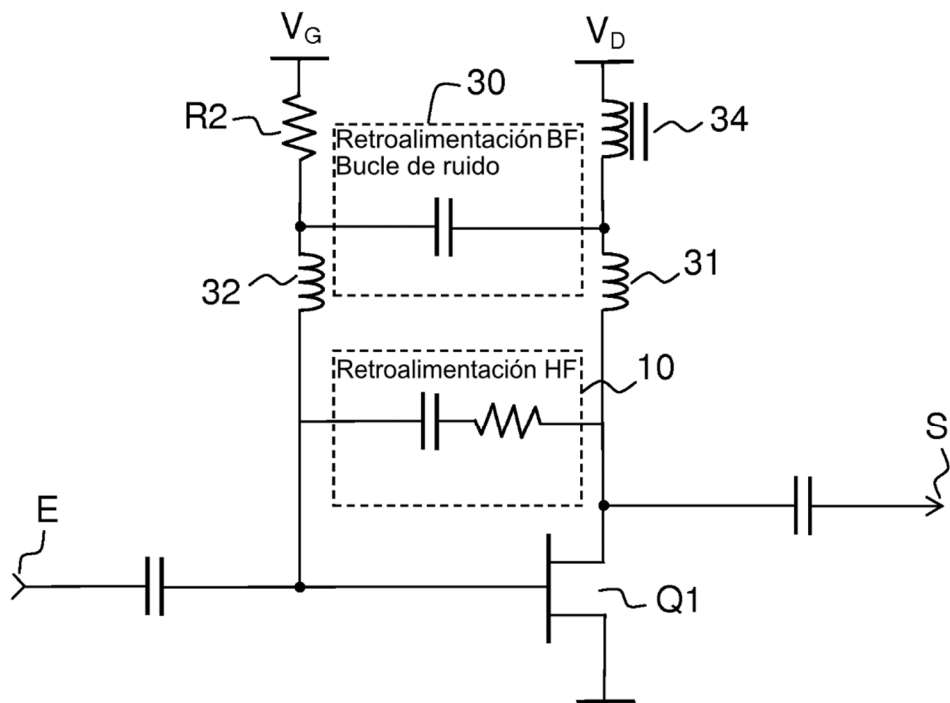


FIG.3

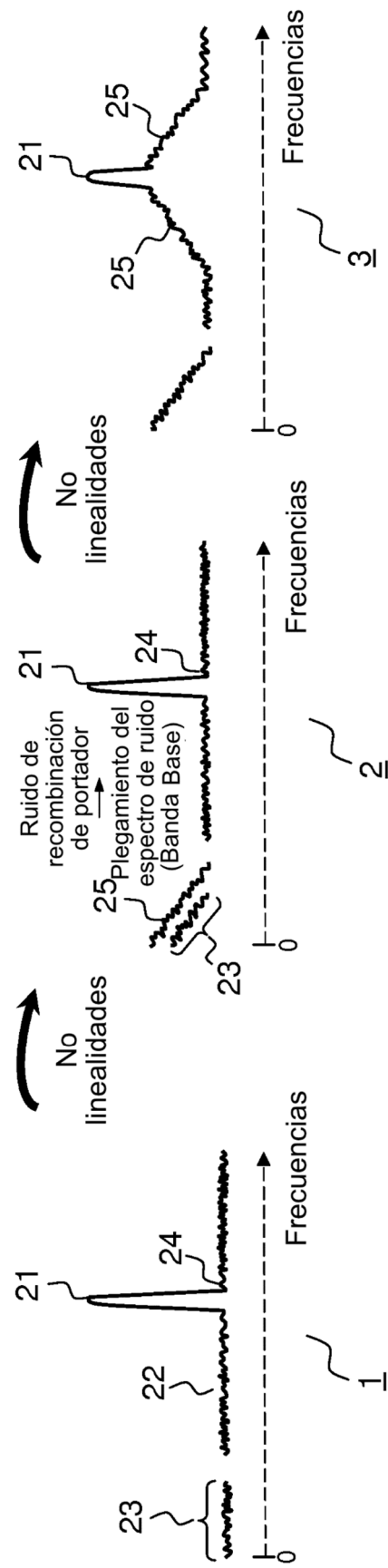


FIG.2

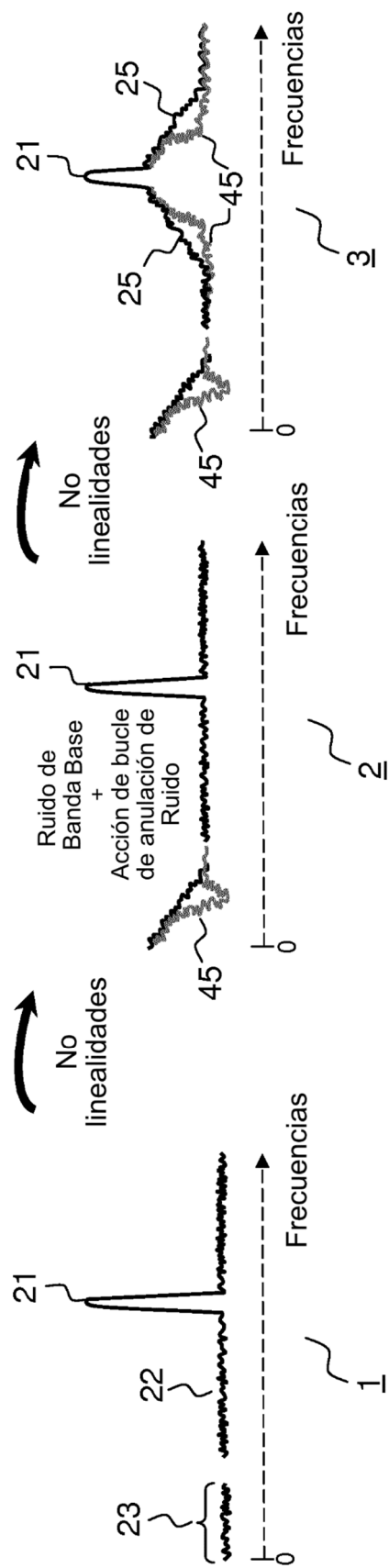


FIG.4

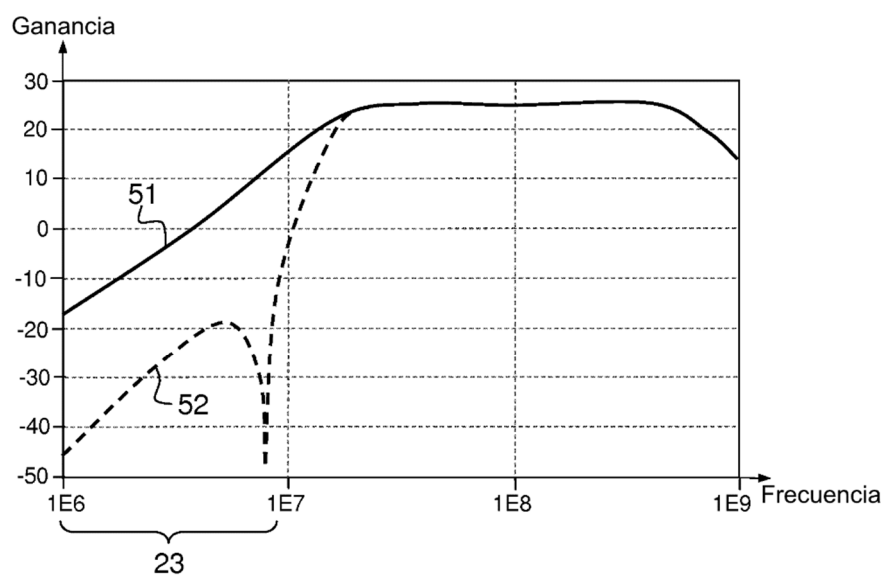


FIG.5