

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 717**

51 Int. Cl.:

H03F 3/60 (2006.01)

H03F 3/19 (2006.01)

H03F 3/24 (2006.01)

H03F 1/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2015 PCT/SE2015/051182**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2017 WO17082776**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2015 E 15804988 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3347984**

54 Título: **Un circuito amplificador para compensar una señal de salida de un circuito**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2020

73 Titular/es:
**TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON
(PUBL.) (100.0%)
16483 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:
HELLBERG, RICHARD

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 788 717 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

Un circuito amplificador para compensar una señal de salida de un circuito

5 CAMPO TÉCNICO

Realizaciones del presente documento se refieren a un circuito amplificador para compensar una señal de salida de un circuito inyectando una señal de compensación. Además, se dan a conocer nodos de red de radiocomunicaciones y equipos de usuario en sistemas de comunicaciones inalámbricas, y dispositivos electrónicos en general que comprenden el circuito amplificador.

10

ANTECEDENTES

Los amplificadores de potencia se usan ampliamente, por ejemplo, en estaciones base de radiocomunicaciones y equipos de usuario de sistemas de comunicaciones inalámbricas. Típicamente, los amplificadores de potencia amplifican señales de entrada de altas frecuencias en una señal de salida preparada para su transmisión de radiocomunicaciones. Una eficiencia y una linealidad elevadas son en general deseables para los amplificadores de potencia con el fin de reducir el consumo de energía y minimizar errores y/o distorsiones de la señal de salida.

15

20

Las técnicas conocidas de corrección de errores o distorsiones para amplificadores de potencia incluyen técnicas de realimentación, de pre-distorsión y de proalimentación (*feedforward*). De ellas, para sistemas que tienen un ancho de banda amplio y con requisitos fuertes de linealidad son viables únicamente las denominadas técnicas adaptativas de pre-distorsión y proalimentación.

25

La pre-distorsión adaptativa, usada típicamente en implementaciones digitales, es una técnica de linealización que funciona al proporcionar una señal inversamente no lineal a la entrada de un amplificador no lineal de manera que la señal de salida se hace lineal. Para conformar la señal de entrada no lineal hacia el amplificador, la técnica de pre-distorsión adaptativa hace uso del muestreo de la señal de salida del amplificador junto con un modelado no lineal y un procesado adaptativo de la señal. Una ventaja principal de esta técnica es que la eficiencia del amplificador no se ve prácticamente afectada.

30

No obstante, la técnica de pre-distorsión digital adaptativa no puede contrarrestar el ruido y gestiona diversos tipos de distorsión de manera deficiente, o no los gestiona en absoluto. En general, la señal de pre-distorsión tiene anchos de banda mucho más altos que la señal de salida final, especialmente para la compresión, regiones de pendiente de ganancia baja o negativa y acodamientos bruscos en la función de transferencia. Los sistemas de pre-distorsión digitales requieren un conjunto correcto de parámetros del modelo, el cual, en ocasiones, resulta difícil de determinar. Un conjunto específico de parámetros del modelo podría no funcionar en la práctica si los amplificadores producidos se comportan de manera diferente al modelo. La complejidad del procesado de la señal, y, consecuentemente, el tamaño y el consumo de energía, pueden ser altos para procesos de errores complejos. Estos problemas se ven acentuados por requisitos de altos anchos de banda y una baja distorsión.

35

40

La proalimentación, por ejemplo, descrita en "A microwave feed-forward experiment", de Seidel, H., *Bell System Tech. J.*, págs. 2879-2916, Nov. 1971, es una técnica de linealización que funciona inyectando una señal correctora después de un amplificador principal A1 para restablecer la linealidad, según se muestra en la Figura 1. Con este método, la extracción de errores se realiza por medio de un primer acoplador de muestreo de señales C3 mostrado en la Figura 1. Una señal de salida amplificada proveniente del amplificador principal A1 es muestreada por un acoplador de muestreo de señales C2, y, a continuación, el primer acoplador de muestreo de señales C3 compara la señal muestreada con una señal de entrada de referencia IN y da salida a una señal de error. Una línea de transmisión o un filtro de retardo L1 retarda la señal de entrada de referencia IN con el fin de situarla en sincronización con la señal de salida amplificada del amplificador principal A1. A continuación, la señal de error se amplifica por medio de un amplificador de errores A2 para obtener una señal correctora o de compensación y se inyecta mediante C4 a una salida OUT. Una línea de retardo L2 después del amplificador principal A1 garantiza que la señal correctora, de compensación, se inyecta sincronizada con la señal de salida del amplificador principal A1. El recuadro marcado con X puede ser una inversión, o inversor, en los casos en los que el amplificador principal A1 sea un amplificador no inversor. Normalmente, los sistemas de proalimentación se describen en términos de "bucles", es decir, un bucle de extracción de errores seguido por un bucle de inyección de errores.

45

50

55

La inyección de errores llevada a cabo por el elemento C4 de la Figura 1 es gestionada o bien por un transformador o bien por un acoplador direccional. El acoplador direccional tiene la ventaja de que dispone de un alto aislamiento hacia atrás, es decir, la señal inyectada se dirige principalmente hacia delante en dirección a la salida, mientras que el transformador envía la mitad de la potencia de la señal inyectada hacia atrás en dirección al amplificador principal A1.

60

65

Debido a una precisión limitada en cuanto a ganancias, fases y retardos, habitualmente se requieren dos o más etapas de proalimentación para reducir el error a niveles especificados e incluso si los bucles se ajustan adaptativamente. Comúnmente, también se usa una etapa de proalimentación para complementar un sistema de pre-distorsión con el fin de gestionar los tipos de errores "difíciles".

5 El método de proalimentación puede gestionar cualquier tipo de errores, por ejemplo, ruido, ganancia, variaciones de
 10 respuesta de frecuencia y todos los tipos de distorsiones incluyendo efectos de memoria no lineales con contantes
 de tiempo arbitrarias, regiones de ganancia negativa e incluso histéresis. Puede realizar esto a altas frecuencias,
 sobre anchos de banda amplios y sin tener conocimiento de los procesos de errores específicos implicados. Por lo
 tanto, presenta ventajas con respecto a las técnicas de pre-distorsión tanto en relación con los tipos de errores que
 se pueden gestionar como con el ancho de banda. Puesto que el método de proalimentación también corrige ruido
 del trayecto del amplificador principal, en un sistema de proalimentación bien diseñado pueden eliminarse los filtros
 de alta selectividad y alta potencia después del amplificador principal. También pueden relajarse los requisitos de
 ruido y distorsión sobre la parte de pre-distorsión de un sistema combinado de pre-distorsión-proalimentación.

15 No obstante, uno de los inconvenientes del método de proalimentación es la baja eficiencia. Esto, en gran medida,
 es debido a pérdidas en el acoplador de inyección de errores y a la baja eficiencia del amplificador de errores.
 Habitualmente, unas pérdidas grandes en el acoplador de inyección de errores y una baja eficiencia en el
 20 amplificador de errores aparecerán si la señal de error máxima, ya sea en voltaje o en corriente, que se necesita
 gestionar es grande. Estas pérdidas tienen un comportamiento diferente para acopladores de transformador y
 acopladores direccionales. Otras pérdidas e ineficiencias provienen de la línea de retardo después del amplificador
 principal, de los acopladores de muestreo de la señal, y de la precisión limitada en el equilibrado de los bucles con
 respecto a ganancias, fases y retardos. Esto significa que los amplificadores de errores deben tener margen para
 dar acomodo a una señal residual en lugar de solamente la señal de error.

25 Un acoplamiento por transformador no tiene pérdidas específicas por acopladores, pero influye en la eficiencia del
 amplificador de errores. Presenta una pérdida mayor para una señal de baja amplitud en el trayecto principal. Eso
 hará que disminuya la eficiencia para el amplificador de errores, ya que este último no está aislado con respecto al
 mismo. Las pérdidas elevadas también provienen del envío de la mitad de la potencia de la señal inyectada en la
 dirección errónea. La parte de la señal inyectada que va hacia atrás se refleja en el amplificador principal e
 interacciona con el mismo, lo cual da origen a nuevos productos de distorsión y rizados en la señal de salida,
 conociéndose esto como problemas de interacción. Debido a estos problemas, el método de acoplamiento por
 transformador se ha abandonado sustancialmente a favor del método por acopladores direccionales.

30 Un acoplador direccional tiene unas pérdidas de acoplamiento próximas a cero para señales inyectadas que están
 en fase con la señal de salida del amplificador principal y son proporcionales, según un factor de acoplamiento, a la
 misma, pero presenta pérdidas altas para señales inyectadas que se alejan de estas condiciones. Incluso si el error
 en la señal de salida es cero, el acoplador direccional vuelca parte de la potencia de la señal de salida del
 35 amplificador principal a una resistencia. No obstante, no tiene una penalización específica para señales con baja
 amplitud en el trayecto principal, puesto que el amplificador de error está aislado de eso por el acoplador direccional.
 Además, la eficiencia media del amplificador de errores es baja si el error en la señal de salida es pequeño por
 término medio en comparación con el error máximo.

40 La patente n.º US6573792 B1 da a conocer un sistema de linealización por proalimentación en el que el amplificador
 principal es un amplificador distribuido y la última etapa del amplificador distribuido se usa como amplificador de
 errores.

SUMARIO

45 Es un objetivo de la invención un sistema de linealización por proalimentación según se presenta en la reivindicación
 independiente 1 adjunta que define el alcance de la protección.

50 El circuito amplificador según realizaciones de la presente puede ser un amplificador direccional el cual sustituye al
 amplificador de errores y el transformador o acoplador direccional de un sistema de proalimentación de la técnica
 anterior según se describe en la reivindicación independiente 1.

55 Puesto que el circuito amplificador según realizaciones del presente documento comprende múltiples sub-
 amplificadores distribuidos en diferentes lugares a lo largo de la línea de transmisión de salida para inyectar la señal
 de compensación al puerto de salida, el número de sub-amplificadores, las señales de salida de los sub-
 amplificadores y la distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea de transmisión de salida se pueden
 configurar para reducir la fracción de la señal de compensación inyectada que viaja hacia atrás en dirección a la
 salida del circuito. Esto, al mismo tiempo, hará que aumente la capacidad correctora en la dirección de avance hacia
 el puerto de salida. Además, el número de sub-amplificadores presenta una relación con el ancho de banda y la
 60 eficiencia del amplificador. Por lo tanto, el número de sub-amplificadores se puede configurar de manera que pueda
 lograrse una alta eficiencia sobre un intervalo amplio de las amplitudes de la señal de error y sobre un ancho de
 banda relativo grande. Por otra parte, el número de sub-amplificadores presenta también una relación con la
 directividad, por ejemplo, si se desea una mayor directividad, pueden implementarse más sub-amplificadores sobre
 una línea de transmisión de salida más larga.

65 Por lo tanto, el circuito amplificador según realizaciones del presente documento logra simultáneamente unas bajas

5 pérdidas de inserción del circuito de acoplamiento de transformador y un alto aislamiento hacia atrás del circuito de acoplador direccional. Presenta una mayor eficiencia y menos problemas de interacción que el circuito de acoplamiento de transformador de la técnica anterior. Presenta una mayor eficiencia que el circuito de acoplador direccional para señales de error con una alta relación de potencia de pico/potencia media y para una compresión fuerte en el circuito. El coste del sobredimensionamiento, para gestionar de manera segura dimensiones transitorias grandes de la señal de error, es también inferior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

10 Los diversos aspectos de realizaciones dadas a conocer en la presente, incluyendo características y ventajas particulares de las mismas, se entenderán fácilmente a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos, en los cuales:

15 La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un sistema de proalimentación según la técnica anterior,
 la Figura 2 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un ejemplo de un circuito amplificador según realizaciones de la presente,
 la Figura 3 es un diagrama que ilustra la direccionalidad del circuito amplificador de la Figura 2,
 la Figura 4a es un diagrama que ilustra un ejemplo de señal de salida y señal de error,
 20 la Figura 4b es un diagrama que ilustra eficiencias de compensación del circuito amplificador de la Figura 2 y el método convencional,
 la Figura 5 es un diagrama que ilustra eficiencias de compensación del circuito amplificador de la Figura 2 y el método convencional con disminución del factor de acoplamiento,
 la Figura 6a es un diagrama que ilustra un ejemplo de directividad con respecto al intervalo de frecuencias para el circuito amplificador de la Figura 2,
 25 la Figura 6b es un diagrama que ilustra otro ejemplo de directividad con respecto al intervalo de frecuencias para el circuito amplificador de la Figura 2,
 la Figura 7a es un diagrama que ilustra un ejemplo de una señal de salida distorsionada y una señal de error de un circuito,
 la Figura 7b es un diagrama que ilustra curvas de eficiencia del circuito amplificador de la Figura 2 y del método basado en acopladores convencionales, y
 30 la Figura 8 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un dispositivo electrónico según algunas realizaciones.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

35 A lo largo de toda la descripción que se ofrece seguidamente se han usado numerales de referencia similares para indicar características similares, tales como elementos, unidades, módulos, circuitos, nodos, partes, artículos o similares, cuando proceda.

40 La Figura 2 ilustra un ejemplo de un circuito 200 de amplificador según realizaciones del presente documento, para compensar una señal de salida proporcionada en una salida 212 de un circuito 210. El circuito 210 puede ser un amplificador de potencia, un filtro, un circularador, un mezclador o cualquier tipo del circuito para el cual sea necesario corregir o compensar su señal de salida.

45 El circuito 200 de amplificador comprende una línea 230 de transmisión de salida conectada entre la salida 212 del circuito 210 y un puerto 240 de salida.

El circuito 200 de amplificador comprende, además, un amplificador 220 para amplificar una señal de error obteniendo una señal de compensación.

50 La señal de error se obtiene a partir de una señal de entrada de referencia y de la señal de salida del circuito 210, por ejemplo, comparándolas en un circuito 260 de combinación. La señal de entrada de referencia puede ser una señal de referencia independiente o se puede extraer o escindir a partir de la señal de entrada IN al circuito 210. Existen diferentes maneras de obtener las señales de entrada y de salida del circuito 210. Uno de los ejemplos consiste en usar un acoplador C1, C2 según se muestra en la Figura 2.

55 El amplificador 220 comprende múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224. Tal como se muestra en la Figura 2, las entradas de los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 están acopladas a una línea 250 de transmisión de entrada para recibir la señal de error, y las salidas de los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 están acopladas en lugares respectivos, es decir, diferentes, a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida para inyectar la señal de compensación al puerto 240 de salida. A continuación, la señal de salida compensada se proporciona en el puerto 240 de salida.

60 La línea 230 de transmisión de salida se hace terminar en el puerto 240 de salida con una resistencia de carga R_L . La resistencia de carga R_L puede representar impedancias de una antena, una línea de transmisión, un aislador o/y un filtro, etcétera, acoplado al puerto 240 de salida.

La línea 250 de transmisión de entrada se hace terminar con una resistencia R_T para reducir, o incluso minimizar, reflexiones en la línea 250 de transmisión de entrada.

5 Los elementos D1, D2 son líneas de retardo para sincronizar las señales. Los mismos son importantes si el circuito 210 tiene un retardo elevado, por ejemplo cuando se usan múltiples etapas para una ganancia elevada. No obstante, no son siempre necesarios. D2 por ejemplo es probablemente innecesario en muchos casos si no hay ningún amplificador en el trayecto de excitación al amplificador 220.

10 Preferentemente, las salidas de los sub-amplificadores pueden estar conectadas directamente a la línea 230 de transmisión de salida o pueden estar conectadas a la línea 230 de transmisión de salida a través de algunos medios intermedios o circuitos de acoplamiento.

15 Por lo tanto, según una realización, las salidas de los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 están acopladas directamente a la línea 230 de transmisión de salida en diferentes lugares según se muestra en la Figura 2. Según otra realización, las salidas de los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 están acopladas a la línea 230 de transmisión de salida a través de circuitos de acoplamiento. Los circuitos de acoplamiento pueden ser redes de media longitud de onda, tales como redes en T o pi en cascada consistente en media longitud de onda de líneas de transmisión o transformadores de impedancia concentrada o distribuida. En general, el uso de redes de
20 media longitud de onda limita el ancho de banda alcanzable, pero permite una elección más libre del nivel de impedancia.

Puesto que, habitualmente, resulta difícil acceder al nodo de salida de algunos transistores del amplificador en el
25 circuito 210 directamente, una red de media longitud de onda es una forma viable de acoplar los múltiples sub-amplificadores a la salida del circuito 210. El uso de la red de media longitud de onda facilita el acceso al nodo de salida y, al mismo tiempo, pueden tenerse en cuenta los elementos parásitos de los transistores. De este modo, la primera parte de la red de media longitud de onda puede consistir en los elementos parásitos u otros elementos inevitables de los transistores. En el diseño de una línea de transmisión de salida artificial también pueden
30 incorporarse elementos parásitos en los transistores.

También puede resultar factible un acoplamiento por transformadores. Una de las diferencias con respecto a la
técnica anterior es que ahora hay múltiples sub-amplificadores que se acoplan mediante transformadores a los
diferentes lugares a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida.

35 Puesto que el amplificador 220 comprende múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 distribuidos en diferentes lugares a lo largo de la línea de transmisión de salida para inyectar la señal de compensación al puerto de salida, el número de sub-amplificadores, las señales de salida de los múltiples sub-amplificadores y la distancia entre los
diferentes lugares se pueden configurar para reducir la fracción de la señal de compensación inyectada que viaja
40 hacia atrás en dirección a la salida del circuito y para mejorar la eficiencia del circuito 200 de amplificador.

En lo sucesivo se describirán detalladamente funciones, características, configuraciones y ventajas del circuito 200
de amplificador en referencia a diferentes ejemplos y implementaciones.

45 Según algunas realizaciones, una distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida se puede configurar para tener un cuarto de longitud de onda en una frecuencia central de la banda de frecuencias de funcionamiento del circuito 210. Por ejemplo, tal como se muestra en la Figura 2, los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 están acoplados a la línea 230 de transmisión de salida a intervalos regulares lo
cual es un cuarto de longitud de onda en la frecuencia central de la banda de interés, es decir, el ancho de banda de
funcionamiento del circuito 210. A estos intervalos también se les hace referencia como segmentos de las líneas de
50 transmisión de salida/entrada entre los sub-amplificadores. La temporización correcta de las señales de error, es decir, para situarse en sincronización con la señal de salida del circuito 210, se logra usando intervalos de un cuarto de longitud de onda también en la línea 250 de transmisión de entrada.

De acuerdo con algunas realizaciones, los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 se pueden configurar
55 para reducir el recorrido hacia atrás de la señal de compensación hacia la salida 212 del circuito 210.

Por ejemplo, corrientes de salida de los múltiples sub-amplificadores 221, 222, 223, 224 se pueden configurar de
manera que amplitudes de las corrientes de salida tengan un aspecto parecido a una forma de campana de una
función de ventana. La función de ventana puede ser, por ejemplo, una cualquiera de entre funciones de Dolph-
60 Chebyshev, Gaussiana, Binominal, de Hamming, de Blackman u otras funciones similares, o incluso una
combinación de las mismas.

La finalidad de la conformación en campana de las corrientes de salida de los sub-amplificadores es, principalmente,
mantener bajo el nivel de los lóbulos laterales de la respuesta frecuencia de la onda que viaja hacia atrás a
65 frecuencias por encima del borde de frecuencia inferior del ancho de banda de funcionamiento, ya que eso

determina cuánta potencia de la onda que viaja hacia atrás llega a la salida del circuito 210. De esta manera, las ondas que viajan hacia atrás se reducen, o incluso se minimizan, dentro de la banda de interés. Estas corrientes de salida ponderadas en forma de campana también producen un bajo rizado tanto en el puerto 240 de salida como para las amplitudes de los voltajes de salida de los sub-amplificadores sobre un ancho de banda especificado. Mediante una temporización adecuada de sus señales de excitación respectivas, es decir, las señales de error, las contribuciones de los sub-amplificadores a la excursión del voltaje de salida se suman sincrónicamente en el tiempo, es decir, en fase, en la dirección de avance a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida hacia el puerto 240 de salida. Las ondas que viajan hacia atrás presentan diferencias en el tiempo que hacen que la suma de los voltajes de salida de los sub-amplificadores aparezca como filtrada en pasobajo y se muestre únicamente como un pequeño rizado para las señales de entrada dentro del ancho de banda de las secuencias de funcionamiento.

Se usan normalmente ponderaciones binomiales ya que las mismas consisten en enteros pequeños, con lo cual el amplificador 220 se puede ensamblar por medio de un número reducido de sub-amplificadores dimensionados con enteros discretamente pequeños o unitarios sin desperdiciar ninguna capacidad de la corriente de salida. Como ejemplo, el amplificador 220 comprende cuatro sub-amplificadores 221, 222, 223, 224, y las corrientes de salida de los cuatro sub-amplificadores se ponderan con coeficientes de ponderación 1,3,3,1, es decir, las corrientes de salida de los dos sub-amplificadores 222, 223 en la parte central son tres veces con respecto a las corrientes de salida de los dos sub-amplificadores 221, 224 en cada uno de los lados. En la Figura 3 se muestra la direccionalidad, es decir, la potencia de la onda que va hacia atrás dividida por la potencia de la onda de avance, del amplificador 220. Puede verse que es mejor de 30 dB en un 40% del ancho de banda. En este ejemplo, los segmentos de la línea de transmisión de salida son de un cuarto de longitud de onda y tienen una impedancia característica constante, y el amplificador 220 está dimensionado para gestionar señales de errores que tienen una dimensión de hasta la mitad de la amplitud de la señal de salida deseada máxima.

En la Figura 4a, se muestran un ejemplo de una señal de salida deseada, la señal de salida distorsionada del circuito 210, y la señal de error, es decir, la señal de compensación a insertar. La compresión fuerte comienza a 0,71 de la amplitud de la señal de entrada completa. La Figura 4b muestra las eficiencias de compensación del circuito 220 de amplificador y del método convencional en una situación en la que se produce una gran no linealidad de la compresión. Las diferencias entre la presente realización y el método convencional pueden observarse en la Figura 4b. El trazado superior muestra la eficiencia de la realización del presente documento con respecto al intervalo completo de la amplitud de la señal de entrada, mientras que el trazado inferior muestra la eficiencia correspondiente al método convencional sin sobredimensionamiento. El amplificador principal, es decir, el circuito 210, se modeliza de manera que presenta una eficiencia constante del 70% en todas las amplitudes de la señal de entrada, mientras que los amplificadores de errores para ambos métodos se modelizan de manera que presentan una eficiencia proporcional a la amplitud del voltaje de la señal de salida, con la eficiencia máxima del 70%.

Debido al gran tamaño de la señal de error provocado por la compresión fuerte, las pérdidas del acoplador son muy grandes para el método convencional, lo cual reduce severamente la eficiencia para las amplitudes de la señal de entrada inferiores a 0,71 de la amplitud completa de la señal de entrada. La eficiencia aumenta linealmente en el intervalo superior de amplitudes de la señal de entrada en donde se incrementa la señal de error, y alcanza un 70% de eficiencia a la amplitud de señal de entrada máxima donde se produce una combinación perfecta en el acoplador.

La realización de la presente no tiene ninguna pérdida de acoplador y, por lo tanto, no padece ninguna disminución de la eficiencia en el intervalo de amplitudes de la señal de entrada inferior a 0,71 de la amplitud completa de la señal de entrada. La eficiencia presenta un pequeño desplazamiento descendente en el intervalo superior de amplitudes de la señal de entrada debido a la menor eficiencia correspondiente a la amplificación de la señal de error a menos del nivel de voltaje de salida máximo en el amplificador 220. La eficiencia a la amplitud máxima de la señal de entrada vuelve al 70%.

Con la reducción del factor de acoplamiento, se reducen las pérdidas del acoplador y, por lo tanto, puede incrementarse la eficiencia del método convencional. No obstante, esto es solamente posible por medio de un sobredimensionamiento con respecto a la potencia proporcionada total, y, por lo tanto, esto resulta costoso para todos los aumentos de eficiencia excepto cuando estos sean pequeños. En la Figura 5 se muestra un ejemplo, en la que el factor de acoplamiento se ha reducido desde -5,4 dB en el ejemplo anterior a -9,5 dB en este ejemplo.

Puede observarse que la eficiencia se incrementa en el intervalo de amplitudes de la señal de entrada inferior a 0,71 de la amplitud completa de la señal de entrada, pero se reduce para la amplitud de la señal de entrada mayor que 0,71 de la amplitud completa de la señal de entrada. La potencia del amplificador principal, P_{main} , se reduce en un 20% desde 0,71 a 0,57 de la potencia de salida total debido a una menor desviación de potencia en el acoplador, pero, al mismo tiempo, la potencia del amplificador de errores, P_{err} , ha aumentado en un factor de 2,6, desde 0,29 a 0,75. La capacidad de potencia total requerida es, ahora, un 30% mayor que en el sistema original. Este método se aproxima únicamente asintóticamente a la eficiencia del amplificador principal en el intervalo inferior de amplitudes de la señal de entrada disminuyendo adicionalmente el factor de acoplamiento, con un coste cada vez más alto. La eficiencia media también se ve afectada por la disminución de la eficiencia en el intervalo superior de amplitudes de la señal de entrada. También pueden lograrse unas menores pérdidas de acoplamiento alimentando también la

5 señal de entrada al amplificador de errores. Desafortunadamente, esto también tiene unos costes elevados en el sobredimensionamiento, y la mayor eficiencia por las menores pérdidas de acoplamiento se ve contrarrestada considerablemente por la baja eficiencia del amplificador de errores a amplitudes bajas de la señal de entrada a no ser que el amplificador de errores se sustituya por un amplificador con una eficiencia comparable al amplificador principal.

10 Se ha mostrado que el número de sub-amplificadores presenta una relación con el ancho de banda del amplificador 220, su directividad y su eficiencia. Por lo tanto, el número de sub-amplificadores se puede configurar de manera que puedan lograrse una buena directividad y una alta eficiencia sobre un intervalo amplio de las amplitudes de la señal de error y sobre un ancho de banda relativo grande.

15 Por ello, en función del ancho de banda y de la directividad deseados, el amplificador 220 se puede implementar con pocos o muchos sub-amplificadores. El intervalo de frecuencias correspondiente a una buena directividad se reduce en general a medida que disminuye el número de sub-amplificadores. Si se desea una directividad mayor, pueden implementarse más sub-amplificadores sobre una línea de transmisión de salida más larga. Una conformación en campana de las corrientes de salida de los sub-amplificadores a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida proporciona una longitud total más corta para una especificación dada. El mantenimiento de la longitud total de la línea de transmisión de salida a un valor pequeño es en general bueno ya que siempre existe una pérdida por unidad de longitud de la línea de transmisión. Las soluciones de compromiso entre los aspectos positivos y negativos de disponer de muchos o pocos sub-amplificadores varían con la tecnología de implementación.

20 En lo sucesivo, se describirá un amplificador direccional de ejemplo que usa menos sub-amplificadores que en el ejemplo previo. Según una realización, el amplificador 220 comprende tres (3) sub-amplificadores 221, 222, 223 con corrientes de salida ponderadas con coeficientes de ponderación 1, 2, 1, es decir, la corriente de salida del sub-amplificador 222 en la parte central es dos (2) veces con respecto a las corrientes de salida de los dos sub-amplificadores 221, 223 en cada uno de los lados. Los sub-amplificadores 221, 222, 223 están acoplados a la línea 230 de transmisión de salida mediante circuitos de acoplamiento, por ejemplo, líneas de transmisión de media longitud de onda y tienen la capacidad de corrección del 10% de la amplitud máxima de la señal de salida.

25 En la Figura 6a y 6b se muestran las directividades con respecto al intervalo de frecuencias para el amplificador 220 con diferentes combinaciones de impedancias características de la línea 230 de transmisión de salida y voltajes de alimentación hacia los sub-amplificadores.

30 La Figura 6a muestra un ejemplo de la directividad del amplificador 220, en el que todos los segmentos de la línea 230 de transmisión de salida tienen la misma impedancia característica, y los voltajes de alimentación para los sub-amplificadores se incrementan a lo largo de la línea 230 de transmisión de salida en dirección al puerto 240 de salida. El aumento de los voltajes de alimentación es para dar acomodo a la excursión creciente de voltaje de salida que se obtiene como resultado del incremento de la suma de la potencia de los sub-amplificadores a la señal de compensación. Las excursiones relativas de voltaje de salida que pueden ser capaces de gestionar los sub-amplificadores 221, 222, 223 son, por ejemplo, 0,9, 0,95 y 1 veces, respectivamente, la excursión de voltaje máxima de la señal de compensación.

35 La Figura 6b muestra otro ejemplo de la directividad del amplificador 220, en el que todos los sub-amplificadores tienen el mismo voltaje de alimentación, y la impedancia característica de los segmentos de la línea 230 de transmisión de salida se reduce en dirección al puerto 240 de salida. De esta manera, la excursión de voltaje máxima se mantendrá constante aun cuando cada uno de los sub-amplificadores sume potencia a la señal de compensación. Por ejemplo, suponiendo que la impedancia característica de la línea de transmisión entrante es 1, es decir, el segmento entre la salida 212 del circuito 210 y el sub-amplificador 221, entonces la impedancia para el segmento entre los dos primeros sub-amplificadores 221, 222 es del 94%, para el segmento entre los dos siguientes sub-amplificadores 222, 223 es del 84%, y para el segmento de la línea de transmisión saliente, es decir, entre el sub-amplificador 223 y el puerto 240 de salida es del 80%, de la impedancia característica de la línea de transmisión entrante.

40 Según otra realización, una implementación mínima en términos del número de sub-amplificadores consiste en usar dos sub-amplificadores 221, 223 en el amplificador 220, en donde las corrientes de salida de los dos sub-amplificadores 221, 222 son iguales, es decir, con coeficientes de ponderación 1, 1. Los segmentos de las líneas de transmisión de entrada y de salida entre los dos sub-amplificadores son, los dos, un cuarto de longitud de onda en la frecuencia central de la banda de frecuencias de interés. Esta implementación mínima puede lograr todavía una buena directividad sobre un intervalo más estrecho de frecuencias relativas.

45 Según algunas realizaciones, el amplificador 220 también se puede construir con muchos sub-amplificadores de magnitud unidad con la misma corriente de salida. Entonces, la conformación en campana de las corrientes de salida se puede lograr usando más sub-amplificadores de magnitud unidad en la parte central y menos sub-amplificadores de magnitud unidad en cada lado.

Según algunas realizaciones, si el amplificador 220 se usa en anchos de banda muy grandes, en los sub-amplificadores pueden utilizarse transistores acoplados en contrafase.

5 Para ilustrar la naturaleza complementaria, a nivel de eficiencia, del circuito 200 de amplificador según realizaciones de la presente y del método basado en acopladores, el circuito 210 se representa con un modelo de amplificador principal con distorsión en la dirección de ganancia negativa a "todas" las amplitudes de la señal. En este caso, el error local máximo es proporcional a la amplitud de la señal de salida. La Figura 7a muestra la señal de salida distorsionada del amplificador principal y la señal de error. La Figura 7b muestra las curvas de eficiencia del circuito 200 de amplificador y del método basado en acopladores convencionales.

10 Puede observarse que el método convencional en general tiene una mayor eficiencia para errores que se producen en amplitudes bajas de la señal de salida, mientras que el circuito 200 de amplificador tiene una mayor eficiencia para errores que se producen en amplitudes altas de la señal de salida. Tal como se ha mostrado anteriormente, el método convencional presenta una baja eficiencia si necesita capacidad para errores grandes, mientras que el circuito 200 de amplificador tiene una alta eficiencia para dichas situaciones siempre que los errores a las amplitudes bajas de la señal de salida sean pequeños. Aunque no resulta evidente a partir de las Figuras 7a y 7b, esto se cumple también, en general, para errores en cuanto a cuadratura, errores de sobreoscilación, etcétera.

15 De este modo, basándose en el análisis anterior, el circuito 200 de amplificador y el método convencional pueden usarse, en muchos casos, juntos con una eficiencia mayor que cualquiera de los dos métodos por sí solo. En una combinación de este tipo, el método convencional puede tener un factor de acoplamiento bajo y un tamaño limitado del amplificador de errores y puede eliminar todos los errores pequeños a amplitudes bajas de la señal de salida. A continuación, el circuito 200 de amplificador puede eliminar los errores restantes, más grandes, por ejemplo transitorios y compresión. Si el circuito 200 de amplificador se coloca en primer lugar, es necesario suprimir la señal de error, por ejemplo mediante un amplificador de ganancia variable, un atenuador, un multiplicador, etcétera, o usar un circuito de banda muerta en la región de baja amplitud para errores pequeños.

20 El circuito 200 de amplificador también se puede usar junto con un método de pre-distorsión. En general, el método de pre-distorsión gestiona la distorsión a amplitudes bajas bien, pero puede tener problemas con fenómenos transitorios y grandes compresiones, los cuales son gestionados adecuadamente por el circuito 200 de amplificador. El circuito 200 de amplificador se puede situar o bien dentro o bien fuera del bucle de adaptación de pre-distorsión. Si el circuito 200 de amplificador se sitúa dentro, es necesario suprimir su señal de error por motivos de eficiencia en la región de baja amplitud para errores pequeños. Si el circuito 200 de amplificador se sitúa fuera del bucle, se puede hacer, en cambio, que el pre-distorsionador ignore la compresión y los transitorios. También se puede simplificar de otras maneras ya que la acción de proalimentación del circuito 200 de amplificador gestiona asimismo errores de peque escala complicados.

25 Aún cuando se han descrito realizaciones de los diversos aspectos, para aquellos versados en la materia se pondrán de manifiesto una gran variedad de alteraciones, modificaciones y acciones similares sobre dichas realizaciones. Por ejemplo, cualquiera de las combinaciones descritas también se puede complementar, evidentemente, con más etapas de corrección de errores según se requiera. El circuito 200 de amplificador según realizaciones de la presente puede tener un número diferente de sub-amplificadores, puede tener diferentes líneas de transmisión de salida con una forma y una impedancia característica diferentes, puede tener configuraciones diferentes para voltajes de alimentación y corrientes de salida, etcétera. Por lo tanto, las realizaciones descritas no están destinadas a limitar el alcance de la presente exposición.

30 A partir de las realizaciones antes descritas pueden determinarse algunas ventajas. Por ejemplo, el circuito 200 de amplificador según realizaciones de la presente logra simultáneamente unas bajas pérdidas de inserción del método de acoplamiento por transformadores y un alto aislamiento hacia atrás del método por acopladores direccionales. Esto es debido a que el circuito amplificador es un amplificador direccional que sustituye al amplificador de errores y al transformador o acoplador direccional de los sistemas de proalimentación de la técnica anterior. El circuito amplificador comprende múltiples sub-amplificadores distribuidos en diferentes lugares a lo largo de la línea de transmisión de salida. La directividad del circuito amplificador se logra configurando el número de los sub-amplificadores, las corrientes de salida de los sub-amplificadores y la manera de acoplar los sub-amplificadores a las líneas de transmisión de entrada y salida. De este modo, el circuito amplificador tiene una mayor eficiencia y menos problemas de interacción que los métodos de acoplamiento por transformadores de la técnica anterior. También tiene una mayor eficiencia que los métodos por acopladores direccionales para señales de error con una alta relación de potencia de pico/potencia media y para una compresión fuerte. Además, el coste del sobredimensionamiento, para gestionar de manera segura magnitudes grandes de señales de error transitorias es también inferior. Puesto que sus características de gestión y eficiencia son, en muchos aspectos, complementarias con respecto a la pre-distorsión digital y al método de proalimentación basado en acopladores direccionales, el circuito amplificador según realizaciones de la presente se puede combinar de forma ventajosa con los dos. También se puede usar como método de proalimentación único en un sistema multietapa.

65 El circuito 200 de amplificador según realizaciones de la presente se puede utilizar en diversos circuitos en un

- 5 dispositivo electrónico. La Figura 8 muestra un diagrama de bloques esquemático que ilustra un dispositivo electrónico 800, el cual puede ser, por ejemplo, un transceptor de radiofrecuencia, un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, un equipo de usuario, un dispositivo móvil, una estación base, o un nodo de red de radiocomunicaciones, etcétera, en un sistema de comunicaciones inalámbricas, o cualesquiera sistemas o equipos electrónicos generales, en los cuales sea necesario corregir o compensar una señal de salida de un circuito. El dispositivo electrónico 800 comprende un circuito 810, el cual puede ser un amplificador de potencia, un mezclador, un filtro, un modulador, etcétera, donde su señal de salida se corrige o compensa con el circuito 200 de amplificador. El dispositivo electrónico 800 puede comprender otras unidades, tales como una unidad 820 de procesado o similares.
- 10 Cuando se use el término “comprender” o “comprendiendo”, el mismo se interpretará como no limitativo, es decir, significando “compuesto por al menos”.
- 15 Las realizaciones de la presente no se limitan a las realizaciones antes descritas. Por lo tanto, las realizaciones anteriores no deben considerarse como limitativas del alcance de la invención, el cual queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de linealización por proalimentación que comprende:

5 un circuito (210) configurado para recibir una señal de entrada y generar una señal de salida que comprende una primera señal de error;
 un circuito (260) de combinación configurado para obtener una señal de error a partir de una señal de entrada de referencia y la señal de salida del circuito (210);
 10 un circuito (200) de amplificador configurado para compensar la primera señal de error en la señal de salida proporcionada en una salida (212) del circuito (210), en donde el circuito (200) de amplificador comprende:
 una línea (230) de transmisión de salida conectada entre la salida (212) del circuito (210) y un puerto (240) de salida; y
 15 un amplificador (220) que comprende múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) configurados para amplificar la señal de error obteniendo señales de compensación; en donde
 entradas de los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están acopladas a una línea (250) de transmisión de entrada en diferentes lugares con una distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea (250) de transmisión de entrada configuradas para recibir la señal de error obtenida
 20 por el circuito (260) de combinación, en donde la distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea (250) de transmisión de entrada es un cuarto de longitud de onda a una frecuencia central de la banda de frecuencias de funcionamiento del circuito (210); y
 salidas de los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están acopladas a la línea (230) de transmisión de salida en diferentes lugares con una distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea (230) de transmisión de salida y configuradas para inyectar las señales de compensación al
 25 puerto (240) de salida, en donde la distancia entre los diferentes lugares a lo largo de la línea (230) de transmisión de salida es el cuarto de longitud de onda a la frecuencia central de la banda de frecuencias de funcionamiento del circuito (210).

2. Sistema de linealización por proalimentación según la reivindicación 1, en donde los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están configurados, además, para reducir el recorrido hacia atrás de las señales de compensación en dirección a la salida (212) del circuito (210) configurando un número de los múltiples sub-amplificadores, y las corrientes de salida de los múltiples sub-amplificadores.

3. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde las salidas de los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están conectadas directamente a la línea (230) de transmisión de salida.

4. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde las salidas de los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están conectadas a la línea (230) de transmisión de salida por medio de circuitos de acoplamiento.

5. Sistema de linealización por proalimentación según la reivindicación 4, en donde los circuitos de acoplamiento son redes de media longitud de onda.

45 6. Sistema de linealización por proalimentación según la reivindicación 4, en donde los circuitos de acoplamiento son transformadores.

7. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde corrientes de salida de los múltiples sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) están ponderadas en forma de campana según una función de ventana.

8. Sistema de linealización por proalimentación según la reivindicación 7, en donde la función de ventana es una cualquiera de funciones de Dolph-Chebyshev, Gaussiana, Binomial, de Hamming o Blackman, u otras funciones similares, o una combinación de las mismas.

9. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde segmentos de la línea (230) de transmisión de salida entre los sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) tienen una misma impedancia característica y en donde voltajes de alimentación correspondientes a los sub-amplificadores se incrementan a lo largo de la línea (230) de transmisión de salida hacia el puerto (240) de salida.

60 10. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde los sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) tienen el mismo voltaje de alimentación, y la impedancia característica de segmentos de la línea (230) de transmisión de salida entre los sub-amplificadores se reduce a lo largo de la línea (230) de transmisión de salida hacia el puerto (240) de salida.

65

11. Sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde los sub-amplificadores (221, 222, 223, 224) son sub-amplificadores de magnitud unidad con la misma corriente de salida, o tienen magnitudes correspondientes a enteros pequeños, discretos.
- 5 12. Dispositivo electrónico (800) que comprende un sistema de linealización por proalimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 10 13. Dispositivo electrónico (800) según la reivindicación 12, que comprende un transceptor de radiofrecuencia, un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, un equipo de usuario, un dispositivo móvil, una estación base o un nodo de red de radiocomunicaciones.

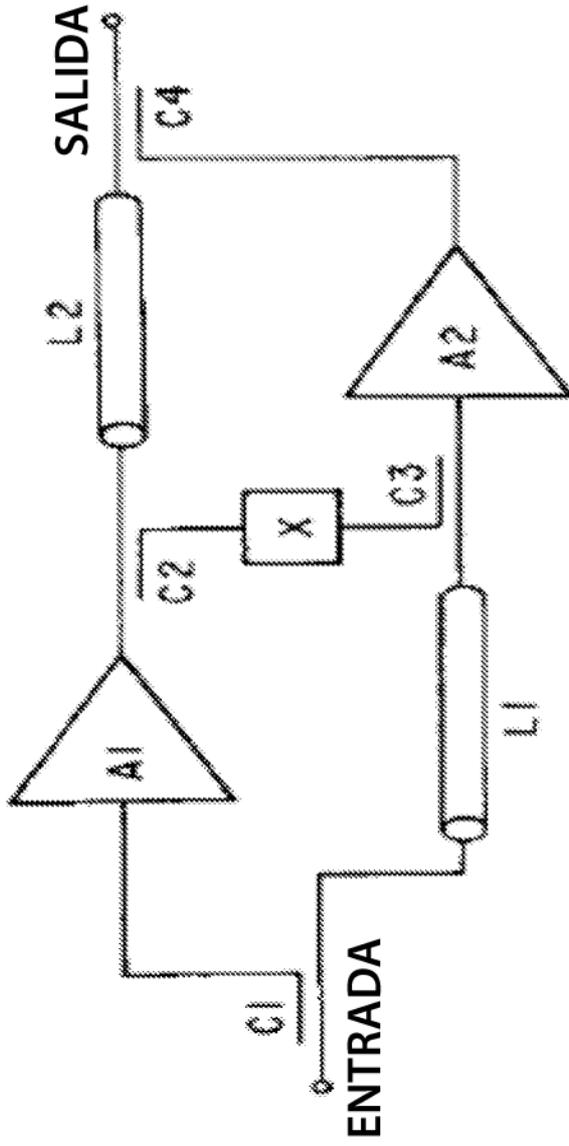


Fig. 1 Técnica anterior

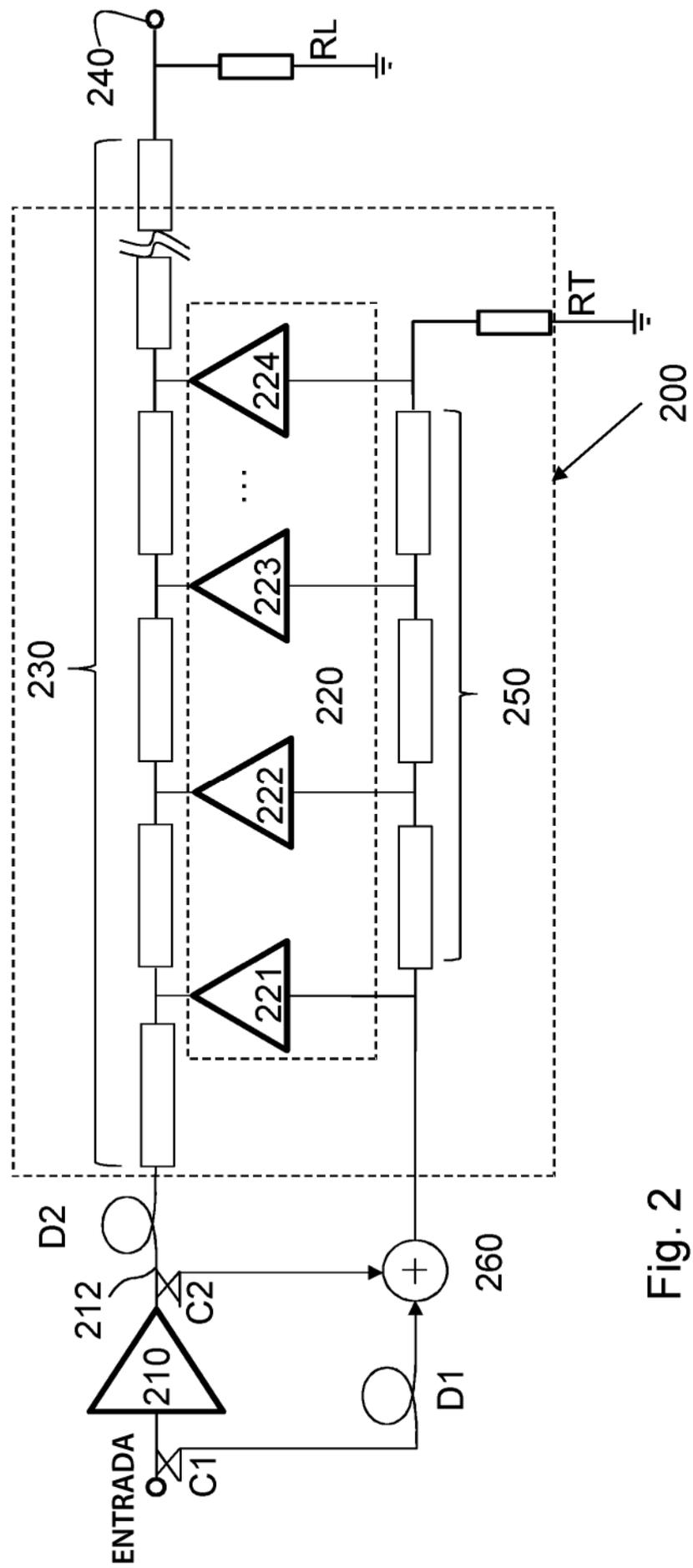


Fig. 2

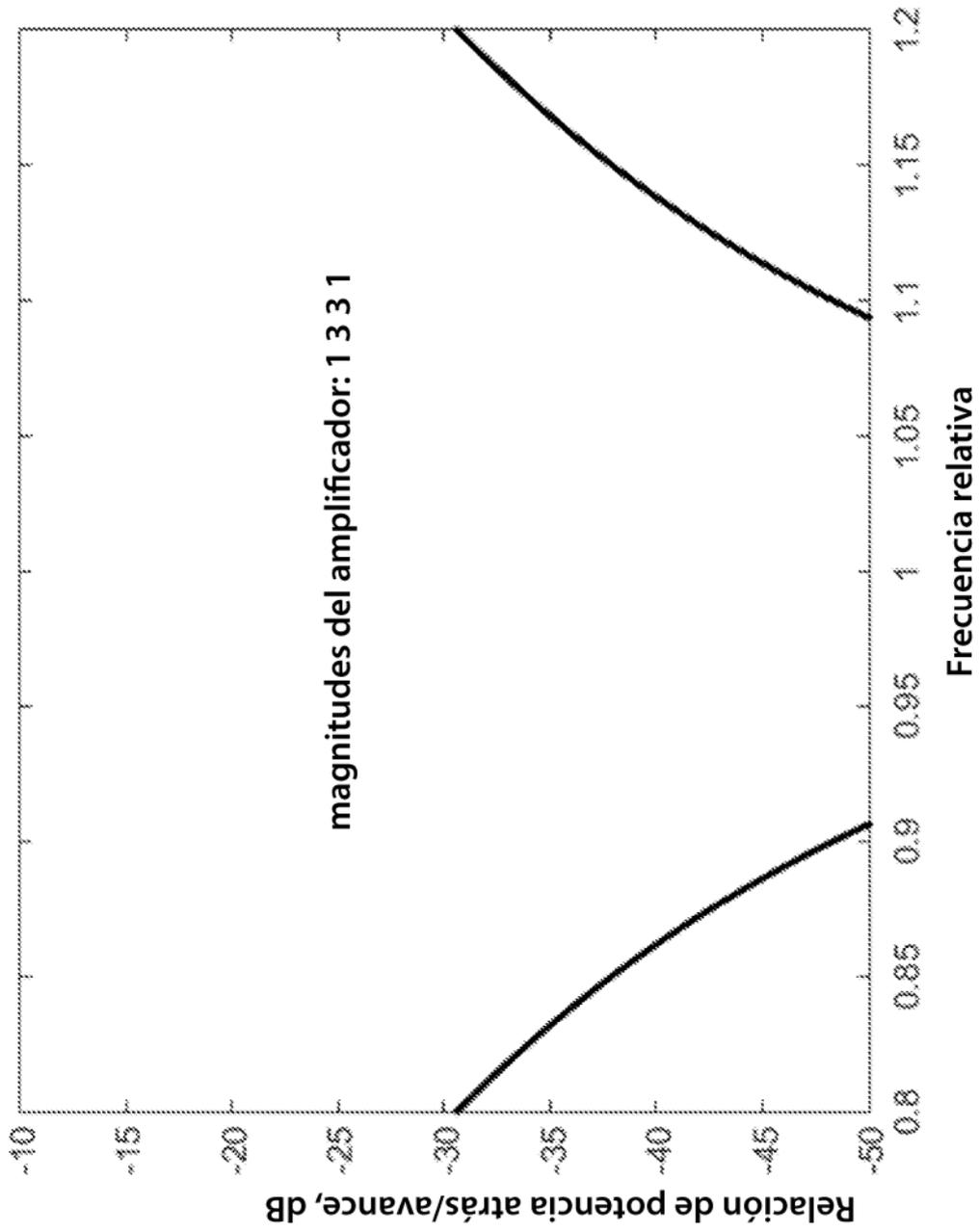


Fig. 3

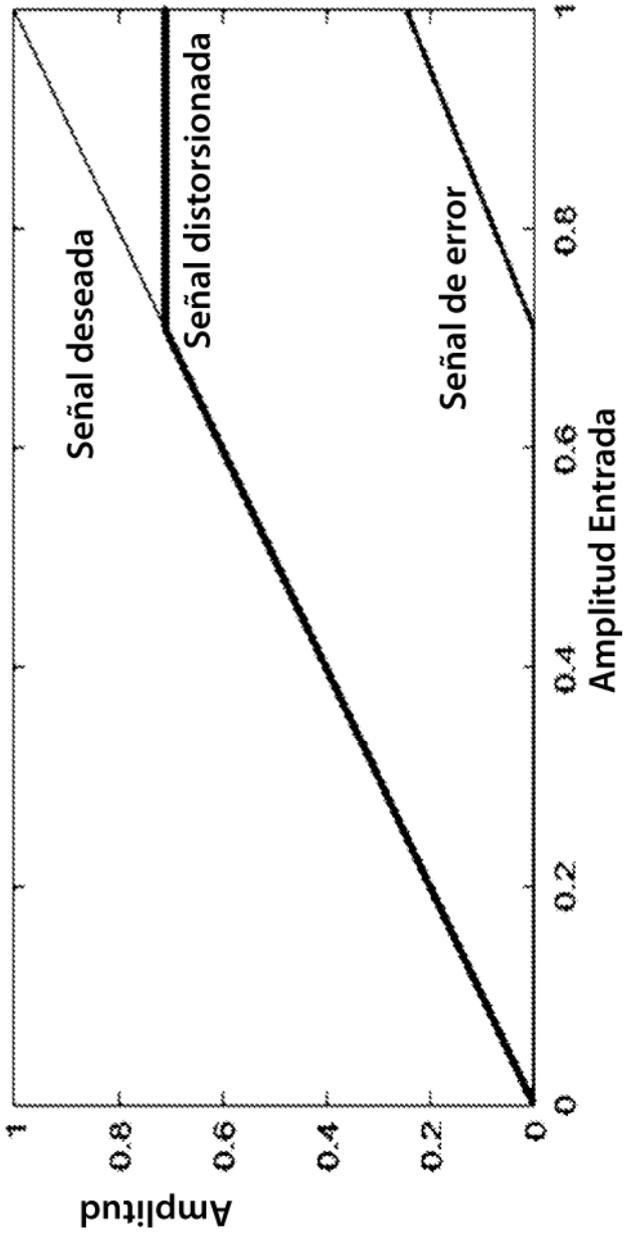


Fig. 4a

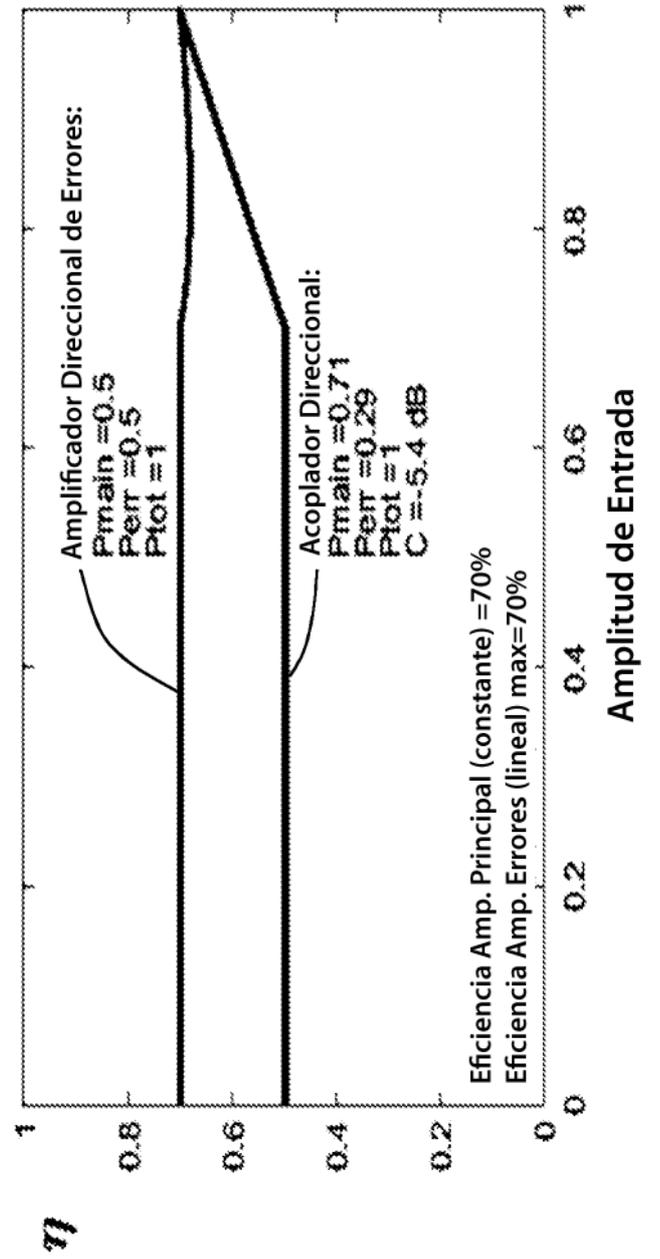


Fig. 4b

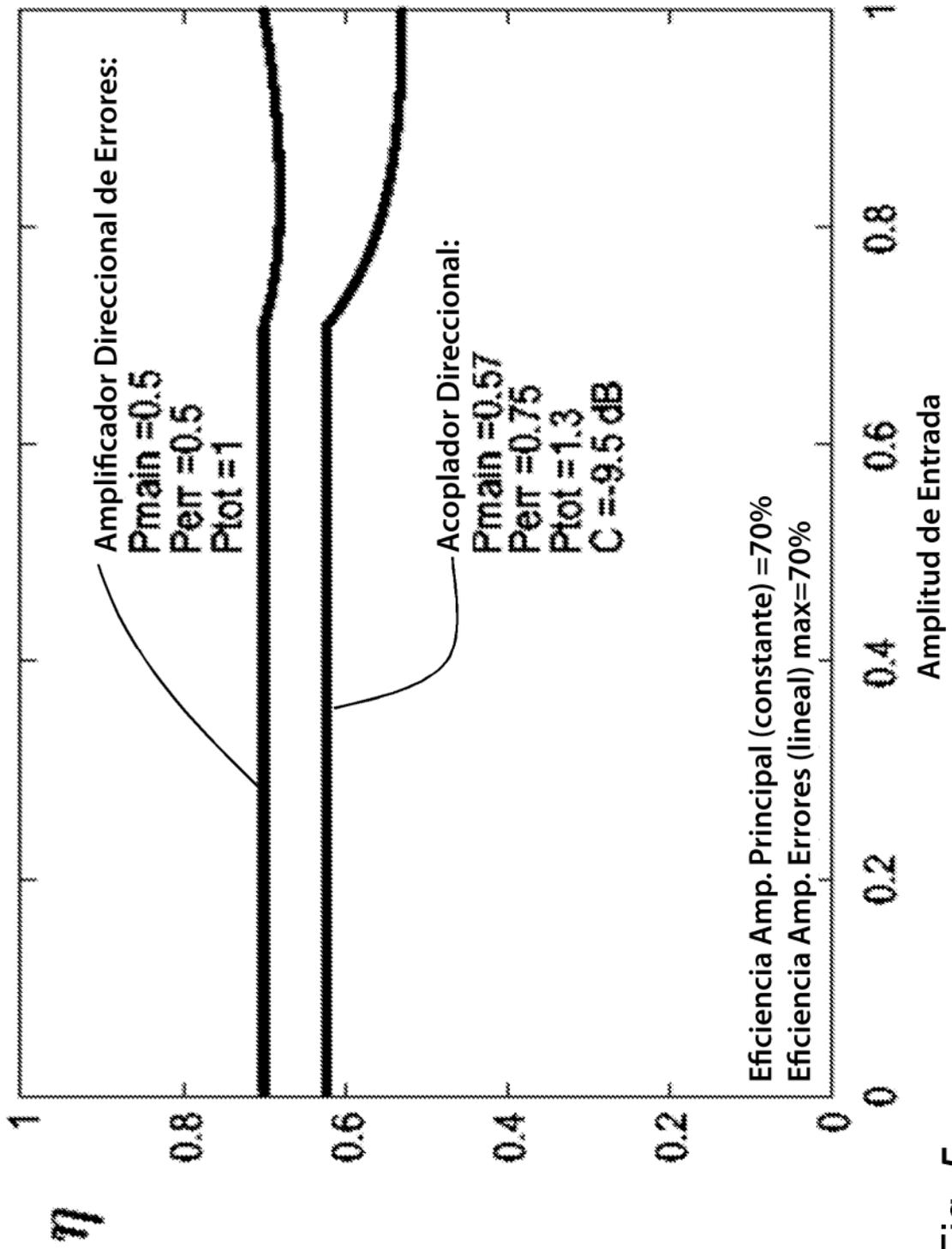


Fig. 5

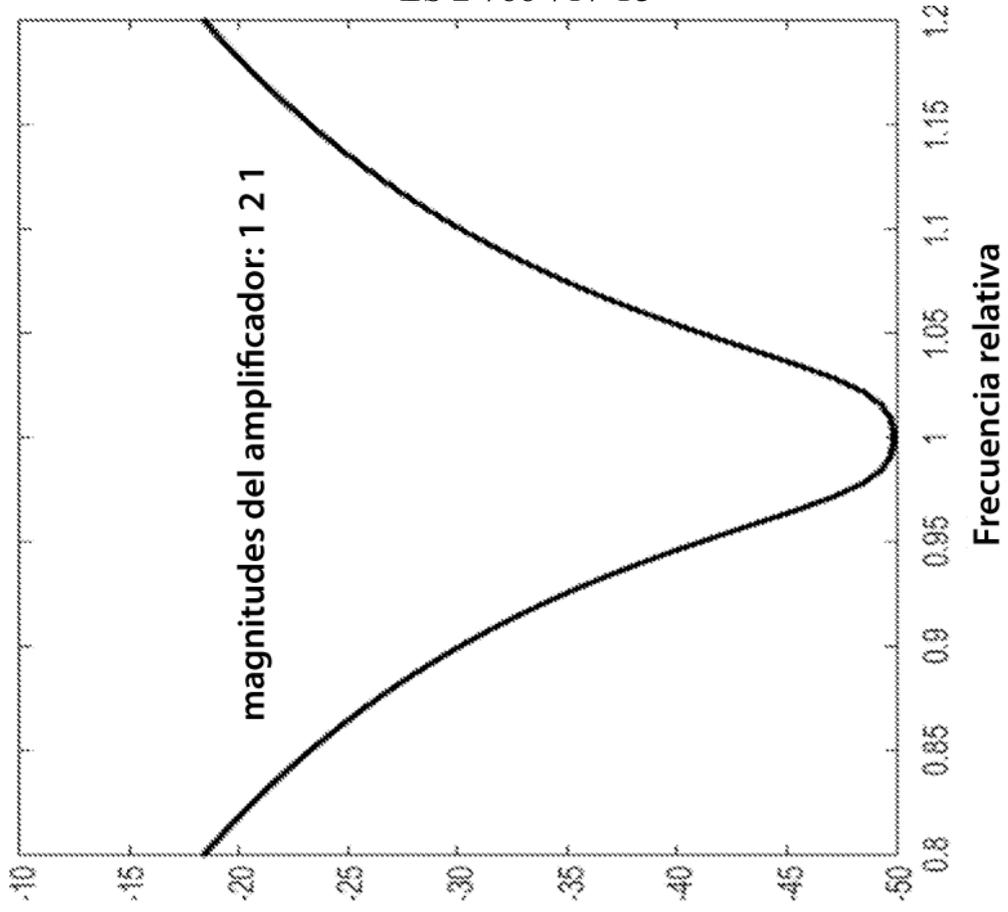


Fig. 6b

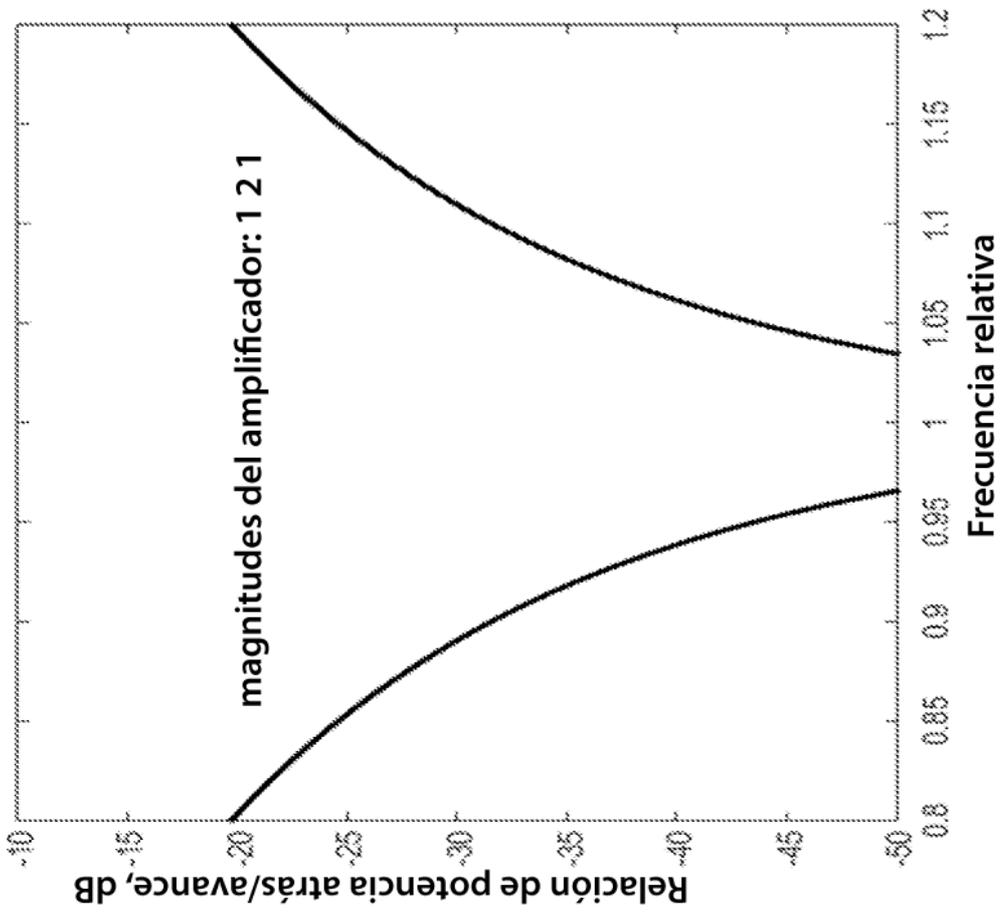


Fig. 6a

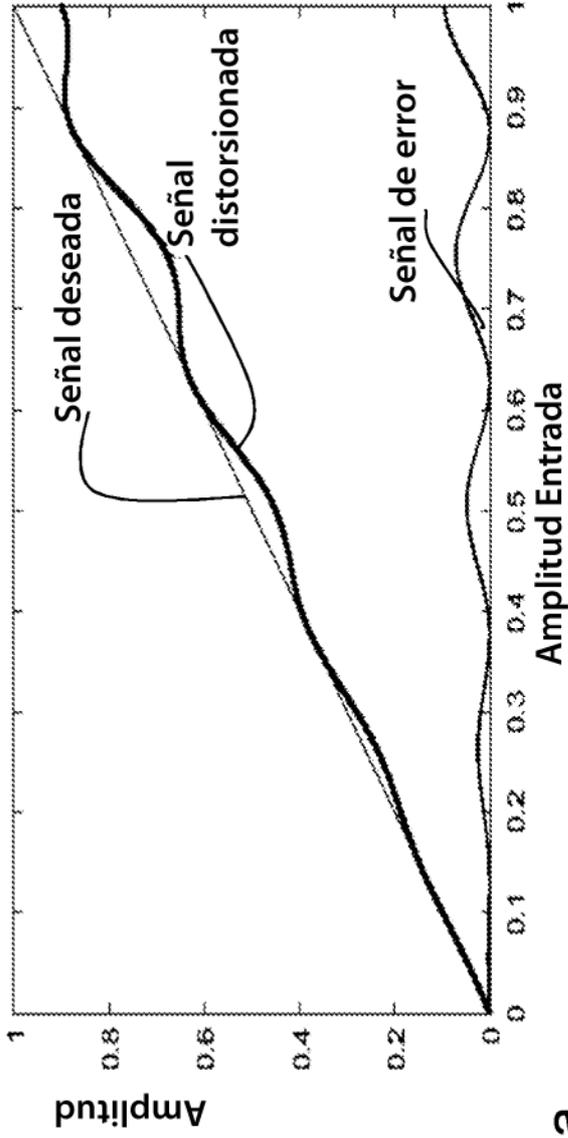


Fig. 7a

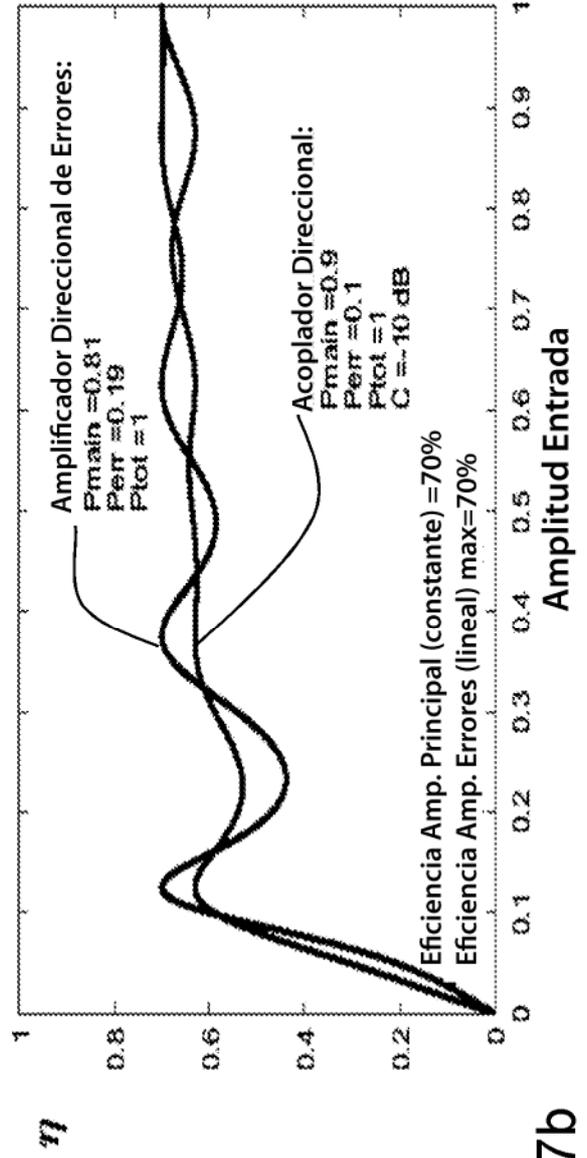


Fig. 7b

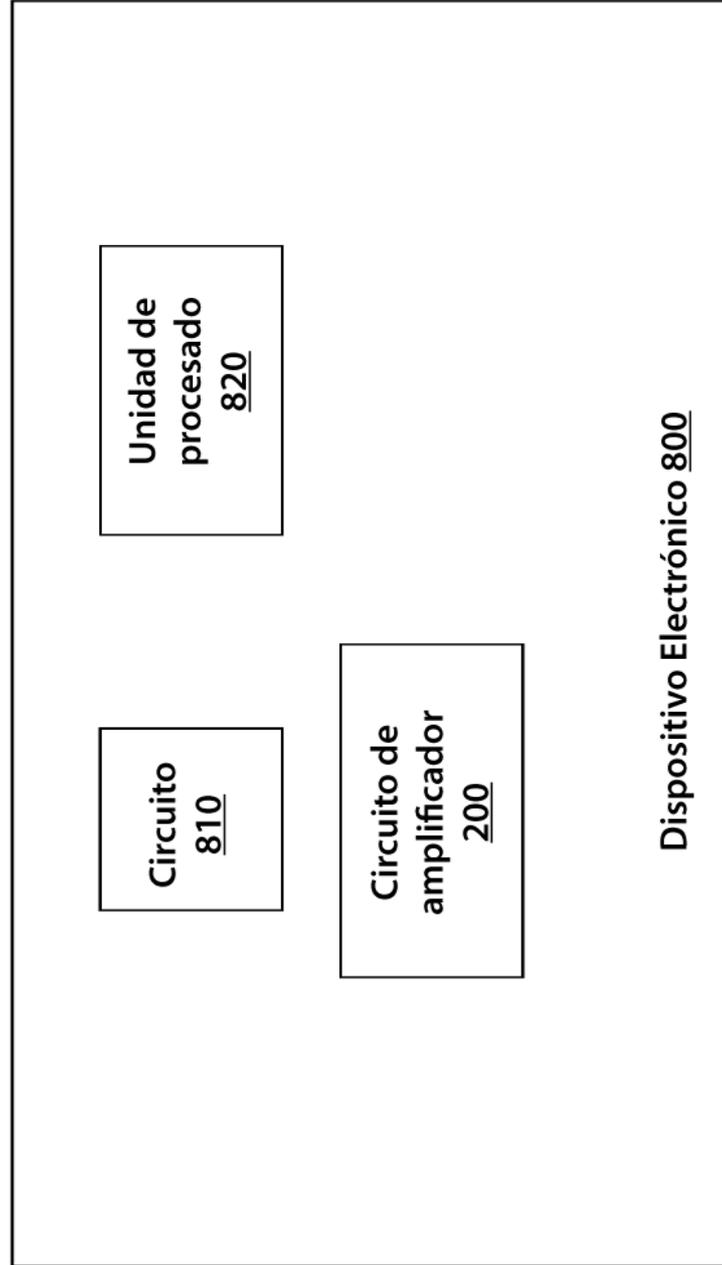


Fig. 8