



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 342 884**

51 Int. Cl.:  
**H03F 1/32** (2006.01)  
**H03F 3/66** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03742287 .0**  
96 Fecha de presentación : **26.06.2003**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1520340**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.04.2005**

54 Título: **Linealización ciega utilizando modulación cruzada.**

30 Prioridad: **28.06.2002 US 187040**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.07.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.07.2010**

73 Titular/es: **Qualcomm, Incorporated**  
**5775 Morehouse Drive**  
**San Diego, California 92121, US**

72 Inventor/es: **Ballantyne, Gary, John**

74 Agente: **Miazzetto, Fabrizio**

ES 2 342 884 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

Linealización ciega utilizando modulación cruzada.

5 **Antecedentes****Campo**

La presente invención se refiere en general a un procedimiento que hace que un circuito no lineal (es decir, un  
 10 circuito cuya aplicación de una función dada varía con la amplitud de la señal de entrada) aplique su función a una  
 señal fuente modulada en amplitud sin tal no linealidad. Sin modificar las características del propio circuito, esto se  
 realiza combinando la señal fuente modulada en amplitud con una o más señales ficticias (una señal ficticia para no  
 linealidades de tercer orden principalmente, dos para las de quinto orden, etc.) para proporcionar una señal combinada  
 que se tratará de manera lineal. La(s) señal(es) ficticia(s), y otras señales generadas tras la introducción de la señal  
 15 ficticia, se filtran posteriormente a partir de la salida del circuito.

**Antecedentes**

Un circuito es "lineal" cuando aplica la misma función a señales de entrada independientemente de las caracte-  
 20 rísticas de las señales de entrada. Por ejemplo, un circuito está libre de una no linealidad dependiente de la amplitud  
 si aplica la misma función a señales de entrada tanto si tienen una pequeña amplitud o una gran amplitud. Por el  
 contrario, un circuito presenta una no linealidad dependiente de la amplitud si su función varía según la amplitud de la  
 señal de entrada. Un ejemplo de un circuito con una no linealidad dependiente de la amplitud es un amplificador que  
 multiplique señales de entrada de pequeña amplitud por diez, pero con señales de entrada de amplitud creciente las  
 25 multiplica sucesivamente por números más pequeños tales como 9,8, 9,7, 9,6, 9,5, etc. Por lo tanto, el comportamiento  
 del amplificador depende de la magnitud de su señal de entrada.

La no linealidad es una propiedad intrínseca de muchos circuitos así como de diversos elementos de circuito tales  
 como transistores, y puede ser incluso deseable en diferentes situaciones. Sin embargo, en el procesamiento de señales  
 30 de comunicación moduladas en amplitud, los elementos de circuito no lineales no son normalmente deseables. Por  
 definición, las señales moduladas en amplitud expresan información por la manera en la que varía la amplitud de una  
 envolvente de señal. Debido a esta variación basada en la amplitud, un circuito no lineal procesará una señal de entrada  
 modulada en amplitud de manera inconsistente (la misma función no se aplica de manera universal). En consecuencia,  
 el ancho de banda de frecuencias de la señal de entrada se ensancha. Por ejemplo, una señal de entrada que ocupe  
 35 inicialmente un ancho de banda de frecuencias estrecho acaba ocupando un mayor intervalo de frecuencias. Por lo  
 tanto, los circuitos con una no linealidad dependiente de la amplitud normalmente aumentan el ancho de banda de las  
 señales de entrada moduladas en amplitud.

Este aumento de frecuencia puede generar problemas. Por ejemplo, la señal de salida de un dispositivo de comu-  
 40 nicación, ensanchada por este efecto no lineal descrito anteriormente, puede solaparse en el canal de frecuencia que  
 esté siendo utilizado por otro dispositivo del mismo tipo. Como un ejemplo más particular, la señal de un teléfono  
 inalámbrico puede solaparse en el canal de frecuencia que esté siendo utilizado por otro teléfono inalámbrico. Esto  
 se denomina como "interferencia" y puede degradar significativamente el funcionamiento del otro dispositivo. Ade-  
 más, si el dispositivo en cuestión está usando un canal en el límite de la banda de frecuencias asignada para tales  
 45 dispositivos, la señal de salida del dispositivo puede solaparse incluso en la banda de frecuencia de dispositivos no  
 relacionados. Por lo tanto, un teléfono inalámbrico puede interferir con un dispositivo diferente que no sea un teléfono  
 inalámbrico.

En la actualidad, los ingenieros intentan normalmente eliminar o compensar la no linealidad en transmisores de  
 50 señales mediante técnicas tales como la limitación del alcance de las señales de entrada para las que se utiliza un cir-  
 cuito no lineal y el filtrado de la salida del circuito no lineal para eliminar señales de frecuencias no deseadas. También  
 se conocen otras técnicas, tales como la linealización de distorsión previa, linealización predictiva y retroalimentación  
 de modulación.

El documento US 5,710,521 describe un sistema que añade una señal fuera de banda a una señal de entrada para  
 55 generar una señal combinada que presente una potencia que sea sustancialmente igual a una potencia de punto de  
 funcionamiento nominal para un dispositivo no lineal.

Aun así, estas técnicas no son totalmente adecuadas en todos los casos. Por ejemplo, todavía existen problemas ya  
 60 que la distorsión previa requiere un modelo preciso de la no linealidad, la predicción requiere una adaptación precisa  
 y adaptativa de circuitos RF, y la retroalimentación de modulación suele ser inestable.

**Resumen**

Este problema de linealización inadecuada se resuelve mediante el contenido de las reivindicaciones independien-  
 65 tes de la presente invención. Se presenta un procedimiento de linealización de un circuito con no linealidad dependiente  
 de la amplitud ("circuito no lineal") que permite que el circuito aplique su función sin su no linealidad intrínseca y  
 sin tener que modificar las características de funcionamiento del circuito. Esto se realiza combinando la señal fuente

modulada en amplitud con múltiples señales ficticias para proporcionar una señal combinada que se trate de manera lineal por el circuito no lineal. Las señales ficticias y otras señales generadas por la introducción de las señales ficticias se filtran posteriormente a partir de la salida del circuito.

5 Según un aspecto más particular de la invención se llevan a cabo las siguientes operaciones. Inicialmente se recibe una señal fuente modulada en amplitud, donde esta señal presenta un ancho de banda de frecuencias fuente y una envolvente fuente. Se calculan múltiples envolventes ficticias que proporcionan una constante si la envolvente fuente y las envolventes ficticias se combinan de una manera predeterminada. Se generan múltiples señales ficticias moduladas en amplitud, donde estas señales ficticias presentan las envolventes ficticias calculadas y donde cada una presenta un ancho de banda de frecuencias ficticias preescrito diferente del ancho de banda de frecuencias fuente y diferentes entre sí. La señal fuente y las señales ficticias se suman para formar una señal combinada, la cual se lleva a una entrada de un circuito no lineal. Las señales de los anchos de banda de frecuencia ficticia, y otras señales formadas por la introducción de las señales ficticias, se filtran en la salida, proporcionando de ese modo una salida linealizada atribuible solamente a la señal fuente.

15

### Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1A es un diagrama de bloques de los componentes e interconexiones de hardware de un sistema de circuitos de linealización a modo de ejemplo.

20

La Fig. 1B es un diagrama de bloques de los componentes e interconexiones de hardware de un sistema de circuitos de linealización con múltiples generadores de señal ficticia.

La Fig. 2 es una máquina de procesamiento de datos digitales a modo de ejemplo.

25

La Fig. 3 es un medio portador de señales a modo de ejemplo.

La Fig. 4 es un diagrama de flujo que muestra una secuencia de una operación de linealización ciega a modo de ejemplo.

30

Las Figs. 5A y 5B son diagramas de señales que muestran una señal fuente con envolvente fuente y una señal ficticia con envolvente ficticia, respectivamente.

### Descripción detallada

35

La naturaleza, objetivos y ventajas de la invención resultarán más evidentes para los expertos en la técnica después de considerar la siguiente descripción detallada con relación a los dibujos adjuntos.

#### *Componentes e interconexiones de hardware*

40

##### *Introducción*

Un aspecto de la presente invención se refiere a un aparato de linealización, el cual puede realizarse mediante varios componentes e interconexiones de hardware, describiéndose un ejemplo mediante el circuito 101 de linealización de la Figura 1A. El circuito de linealización se ilustra en el contexto de un entorno 100 de aplicación a modo de ejemplo, el cual incluye un circuito 114 no lineal. En el entorno 100 se describen varias entradas y salidas, tales como la 102, 113, 114a, 114b, 118, etc. Dependiendo del contexto, estos números de referencia se utilizan para hacer referencia a líneas de hardware de entrada/salida (“entradas” y “salidas”) así como a señales de entrada y señales de salida presentes en tales líneas de entrada/salida. Y, aunque el término “circuito” se utiliza para una referencia más sencilla, los circuitos descritos en este documento pueden implementarse mediante dispositivos electrónicos discretos, trazas de placa de circuito impreso, sistemas de circuitos integrados, firmware, software, hardware o mediante una combinación de los mismos. La formación de algunos subcomponentes a modo de ejemplo se describe posteriormente en mayor detalle con referencia a un aparato de procesamiento de datos digitales a modo de ejemplo, un circuito lógico y un medio portador de señales.

55

Convencionalmente, las señales de entrada (como la 102) se introducen directamente en un circuito no lineal (como el 114), y el circuito no lineal simplemente procesa la señal de entrada y proporciona su salida (en 114b). En lugar de este enfoque conocido de proporcionar la señal 102 de entrada directamente al circuito 114 no lineal, un aspecto de la presente invención dirige la señal 102 de entrada a un circuito 101 de linealización, el cual genera una señal 113 acondicionada que se introduce en el circuito 114 no lineal en lugar de la señal 102 de entrada. Y, en lugar de considerar la salida 114b del circuito 114 no lineal con la salida final, se utilizan componentes adicionales del circuito 101 de linealización para procesar adicionalmente esta salida 114b para proporcionar una salida 118 linealizada final. La salida 118 linealizada está libre de efectos no lineales del circuito 114 que estarían presentes en 114b si la señal 102 de entrada se proporcionara directamente al circuito 114.

65

*Circuito No Lineal*

El circuito 114 no lineal aplica una función dada a señales en su entrada 114a y genera una salida resultante en 114b. Sin embargo, el circuito 114 es no lineal ya que la función dada varía con la amplitud de la señal que llega a 5 114a. Como un ejemplo sencillo, el circuito 114 puede intentar duplicar la amplitud de su señal 114a de entrada. En este caso, si la señal de entrada es de 2 mV, el circuito 114 genera una salida de 4 mV. Sin embargo, siguiendo con este ejemplo, el rendimiento del circuito 114 empieza a degradarse con señales de entrada de mayor amplitud. En lugar de multiplicar las señales de entrada por dos, el circuito 114 empieza a multiplicar las señales de entrada por 1,95 y después por 1,9 para señales de entrada de mayor amplitud, después por 1,85, por 1,80, etc. Por lo tanto, el circuito 114 10 presenta una no linealidad dependiente de la amplitud ya que la función que aplica varía dependiendo de la amplitud de la señal de entrada.

De manera ventajosa, la presente invención puede llevarse a la práctica sin conocer la extensión, comportamiento y otras características específicas de la no linealidad del circuito 114. En este sentido, un aspecto de la invención 15 es una “linealización ciega”. Sólo se requiere saber la clase de no linealidad del circuito 114 y, en particular, que el circuito presenta una no linealidad dependiente de la amplitud. Por lo tanto, el circuito 114 genera distorsión AM-AM y AM-PM, lo que quiere decir que la modulación de amplitud (AM) de la señal de entrada provoca una modulación de amplitud no lineal de la señal de salida, y/o que la modulación de amplitud de la señal de entrada provoca una modulación de fase no lineal (PM) de la señal de salida. 20

De manera no limitativa, algunos ejemplos del circuito 114 no lineal incluyen un amplificador, un filtro, un aislador, un elemento de RF, un mezclador, etc.

*Circuito de Linealización*

El circuito 101 de linealización se utiliza junto con el circuito 114 no lineal para hacer que el circuito 114 proporcione una salida lineal. En lugar de proporcionar una señal 102 fuente directamente al circuito 114 no lineal, el circuito 101 de linealización preprocesa la entrada 102 y proporciona la entrada 113 preprocesada al circuito 114 no lineal; 30 el circuito 101 de linealización también postprocesa la salida 114b del circuito no lineal proporcionando en última instancia una salida 118 linealizada. Por consiguiente, el circuito 101 de linealización incluye algunos componentes 104, 112 de preprocesamiento colocados entre el circuito 114 no lineal y la entrada 102, y algunos componentes 116 de postprocesamiento colocados entre el circuito 114 no lineal y la salida 118 final.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, hay varios componentes de preprocesamiento entre la entrada 102 y 35 el circuito 114 no lineal. Estos incluyen un generador 104 de complemento y un sumador 112. El generador 104 de complemento incluye un detector 106 de envolvente, un calculador 108 de complemento de envolvente y generador 110 de señal ficticia. El detector 106 de envolvente mide, cuantifica, estima, calcula o determina de otro modo la envolvente de la señal que llega a la entrada 102. Esta se denomina como la envolvente fuente. El detector 106 de envolvente puede implementarse mediante cualquiera de varios detectores de envolvente ampliamente conocidos, 40 tales como una estructura de circuito de uno o más diodos, condensadores, resistencias, etc. Como alternativa, en una aplicación en la que la información de envolvente ya se conoce, la descripción de la envolvente fuente llega al generador 104 de complemento desde otra fuente (no mostrada), por ejemplo, en forma digital.

El calculador 108 de complemento de envolvente calcula una envolvente “ficticia” que es complementaria a la 45 envolvente fuente. En términos generales, la envolvente ficticia se calcula de manera que, si se añade a la envolvente fuente, el resultado sería una constante. Por lo tanto, en una implementación básica, el valor de la envolvente ficticia en cualquier instante puede calcularse restando la envolvente fuente con respecto a una constante. El cálculo de la envolvente ficticia se describe posteriormente en mayor detalle.

En un ejemplo, el calculador 108 de complemento puede construirse utilizando un sistema de circuitos discreto 50 tales como transistores. Como alternativa, el calculador 108 de complemento puede implementarse mediante software, especialmente en caso de que se omita el detector 106 de envolvente y la descripción de envolvente fuente llegue en forma digital.

El generador 110 de señal ficticia modula la amplitud de una señal portadora para proporcionar una señal ficticia 55 caracterizada por la envolvente ficticia. Como un ejemplo representativo, no limitativo, el generador 110 de señal ficticia puede comprender un oscilador y un multiplicador, donde el multiplicador calcula el producto de la portadora y de la envolvente ficticia calculada por el calculador 108 de complemento. Esto puede conseguirse utilizando, por ejemplo, modulación polar. En un ejemplo diferente, el generador 110 de señal ficticia puede comprender un modulador de cuadratura, que incluye un sistema de circuitos para calcular componentes I y Q en función de la envolvente ficticia 60 calculada, y un multiplicador para calcular el producto de tales componentes I y Q. Independientemente del esquema de modulación, la señal 105 ficticia se produce en una o más frecuencias (un “ancho de banda” de frecuencias), el cual difiere intencionadamente del ancho de banda de frecuencias fuente con el fin de ayudar a eliminar la señal ficticia de la salida 118 final, tal y como se describirá posteriormente en mayor detalle.

Por lo tanto, la salida 105 del generador 104 de complemento comprende una señal ficticia cuya envolvente se describe mediante la envolvente ficticia. Esta señal tiene un ancho de banda de frecuencias determinado por el 65 generador 110 de señal ficticia. Un sumador 112 combina la señal 105 ficticia con la señal 102 fuente original. Por lo

## ES 2 342 884 T3

tanto, tal y como se ha mencionado anteriormente, los componentes 104, 112 son componentes de preprocesamiento que acondicionan la señal 102 fuente antes de que llegue al circuito 114 no lineal. La salida de los componentes de preprocesamiento es una salida 113 acondicionada. Esta señal se introduce en el circuito 114 no lineal, el cual procesa su entrada 114a y proporciona una salida en 114b.

5 Tal y como se ha mencionado anteriormente, el circuito 101 de linealización también incluye varios componentes de postprocesamiento entre el circuito 114 no lineal y la salida 118 final. Concretamente, un filtro 116 sirve para eliminar cualquier “producto de intermodulación”, es decir, señales que presenten el ancho de banda de frecuencias ficticias así como señales creadas por la interacción de unión de la señal de entrada y la señal ficticia con la no linealidad. Por  
10 lo tanto, la salida 118 final sólo contiene señales atribuibles a la señal 102 fuente. El filtro 116 puede comprender, por ejemplo, uno o más filtros de paso de banda. Lo expuesto anteriormente describe aspectos de la invención, la cual, sin embargo, comprende en su totalidad múltiples señales ficticias tal y como se describe a continuación.

### *Múltiples Generadores de Complemento*

15 Según la invención se contempla un circuito 101 a de linealización con una estructura diferente para implementar múltiples generadores 110a, 110b de señal ficticia, tal y como se muestra en la Figura 1B. Puesto que los componentes del circuito 101a difieren en cierta medida de los componentes del circuito 101 (Figura 1A), se les proporcionan diferentes números de referencia y se describen de la siguiente manera. El detector 106 de envolvente lleva a cabo la  
20 la misma función en las Figuras 1A y 1B. Concretamente, el detector 106 de envolvente mide, cuantifica, estima, calcula o determina de otro modo la envolvente fuente.

Aunque el calculador 108a de complemento de envolvente funciona de manera generalmente similar al calculador 108 de la Figura 1A, el calculador 108 incluye alguna funcionalidad adicional. Concretamente, el calculador 108a de  
25 complemento de envolvente calcula dos envolventes ficticias (en lugar de una), donde estas envolventes ficticias son complementarias de manera combinada a la envolvente fuente. Un enfoque a modo de ejemplo para generar múltiples envolventes ficticias se describe en mayor detalle posteriormente.

En la Figura 1B hay múltiples generadores 110a, 110b de señal ficticia. Cada generador 110a, 110b de señal  
30 ficticia modula una señal portadora diferente para proporcionar una señal ficticia que presenta una envolvente ficticia diferente de las envolventes ficticias calculadas (mostradas posteriormente como  $A_{de1}$  y  $A_{de2}$ ). Al igual que el generador 110 de señal ficticia única, cada generador 110a, 110b de señal ficticia de la realización de la Figura 1B puede utilizar modulación polar o de cuadratura, por ejemplo.

35 La salida de los generadores 110a, 110b de señal ficticia, la cual comprende señales ficticias en las líneas 105a, 105b, se dirigen al sumador 112. El sumador 112 combina las señales 105a, 105b ficticias con la señal 102 fuente. Por consiguiente, el sumador 112 proporciona una salida 113 acondicionada, la cual presenta una envolvente constante o casi constante. Esta señal 113 se introduce en el circuito 114 no lineal en 114a. El circuito 114 procesa la entrada 114a  
40 y proporciona una salida en 114b.

Al igual que el filtro 116 de la Figura 1A, el filtro 116a elimina las señales ficticias (así como las señales creadas por la interacción de unión de la señal de entrada y las señales ficticias) de la salida 114b del circuito no lineal. Sin embargo, puesto que el circuito 101a de linealización utiliza múltiples señales 105a, 105b ficticias, el filtro 116a está  
45 configurado para eliminar las señales de cada ancho de banda de frecuencias ficticias así como cualquier producto de intermodulación de tales señales.

### *Aparato de Procesamiento de Datos Digitales a Modo de Ejemplo*

Tal y como se ha mencionado anteriormente, las entidades de procesamiento de datos tales como detectores de  
50 envolvente, calculadores de complemento de envolvente, generadores de señal ficticia, sumadores, filtros, o uno cualquiera o más de sus subcomponentes pueden implementarse de varias formas. Un ejemplo es un aparato de procesamiento de datos digitales tal como el ejemplificado mediante los componentes e interconexiones de hardware del aparato 200 de procesamiento de datos digitales de la Figura 2.

55 El aparato 200 incluye un procesador 202, tal como un microprocesador, un ordenador personal, una estación de trabajo, un controlador, un microcontrolador, una máquina de estados u otra máquina de procesamiento, acoplado a un medio 204 de almacenamiento. En el presente ejemplo, el medio 204 de almacenamiento incluye un medio 206 de almacenamiento de acceso rápido, así como un medio 208 de almacenamiento no volátil. El medio 206 de almacenamiento de acceso rápido puede comprender una memoria de acceso aleatorio (“RAM”), y puede utilizarse  
60 para almacenar las instrucciones de programación ejecutadas por el procesador 202. El medio 208 de almacenamiento no volátil puede comprender, por ejemplo, RAM con reserva de batería, EEPROM, PROM flash, uno o más discos de almacenamiento de datos magnéticos tales como una “unidad de disco duro”, una unidad de cinta, o cualquier otro dispositivo de almacenamiento adecuado. El aparato 200 también incluye una entrada/salida 210, tal como una línea, un bus, un cable, un enlace electromagnético u otros medios para que el procesador 202 intercambie datos con otro  
65 hardware externo al aparato 200.

A pesar de la descripción específica anterior, los expertos en la técnica (que se benefician de esta invención) reconocerán que el aparato descrito anteriormente puede implementarse en una máquina de diferente construcción sin

apartarse del alcance de la invención. Como un ejemplo específico, uno de los componentes 206, 208 puede eliminarse; además, los medios 204, 206 y/o 208 de almacenamiento pueden estar incorporados en el procesador 202 o pueden incluso proporcionarse de manera externa al aparato 200.

#### 5 *Sistema de Circuitos Lógico*

A diferencia del aparato de procesamiento de datos digitales descrito anteriormente, una realización diferente de la invención utiliza un sistema de circuitos lógico en lugar de instrucciones ejecutadas por ordenador para implementar varias entidades de procesamiento tales como las mencionadas anteriormente. Dependiendo de los requisitos particulares de la aplicación en lo que respecta a la velocidad, gastos, costes de mecanizado, etc., esta lógica puede implementarse construyendo un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) que presente miles de transistores diminutos integrados. Un ASIC de este tipo puede implementarse con CMOS, TTL, VLSI o con otra construcción adecuada. Otras alternativas incluyen un chip de procesamiento de señales digitales (DSP), un sistema de circuitos discreto (tal como resistencias, condensadores, diodos, inductores y transistores), una matriz de puertas programables de campo (FPGA), una matriz de lógica programable (PLA), un dispositivo de lógica programable (PLD), etc.

#### *Funcionamiento*

Habiendo descrito las características estructurales de la presente invención, a continuación se describirá el aspecto operativo de la presente invención. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el aspecto operativo de la invención requiere generalmente un procedimiento que haga que un circuito no lineal aplique su función de una manera lineal a una señal fuente modulada en amplitud. Sin modificar las características del propio circuito, esto se realiza combinando la señal fuente modulada en amplitud con una señal ficticia para proporcionar una señal combinada que se tratará de manera lineal. La señal ficticia y cualquier producto de intermodulación se filtran posteriormente a partir de la salida del circuito. Estas operaciones se describirán posteriormente en mayor detalle.

#### *Medios Portadores de Señales*

Independientemente de que cualquier funcionalidad de la invención se implemente utilizando una o más secuencias de programa ejecutadas por máquina, tales secuencias pueden realizarse en varias formas de medios portadores de señales. En el contexto de la Figura 2, tales medios portadores de señales pueden comprender, por ejemplo, el medio 204 de almacenamiento u otros medios portadores de señales, tales como un disquete 300 de almacenamiento de datos magnéticos (Figura 3), accesibles directa o indirectamente por un procesador 202. Tanto si están contenidas en el medio 206 de almacenamiento, en el disquete 300 o en otra parte, las instrucciones pueden almacenarse en una variedad de medios de almacenamiento de datos legibles por máquina. Algunos ejemplos incluyen un medio de almacenamiento de acceso directo (por ejemplo, una "unidad de disco duro" convencional, una matriz redundante de discos de bajo coste ("RAID") u otro dispositivo de almacenamiento de acceso directo ("DASD")), un medio de almacenamiento de acceso en serie tal como una cinta magnética u óptica, una memoria electrónica no volátil (por ejemplo, ROM, EPROM, PROM flash, o EEPROM), una RAM con reserva de batería, un medio de almacenamiento óptico (por ejemplo, CD-ROM, WORM, DVD, cinta óptica digital), tarjetas de papel "perforadas" u otros medios portadores de señales adecuados que incluyen medios de transmisión analógicos o digitales, enlaces analógicos y de comunicación, y comunicaciones inalámbricas. En una realización ilustrativa de la invención, las instrucciones legibles por máquina pueden comprender código de objetos software compilado a partir de un lenguaje tal como un lenguaje ensamblado, C, etc.

#### *Sistema de Circuitos Lógico*

A diferencia del medio portador de señales descrito anteriormente, parte de o toda la funcionalidad de la invención puede implementarse utilizando un sistema de circuitos lógico en lugar de utilizar un procesador que ejecute instrucciones. Por lo tanto, tal sistema de circuitos lógico puede configurarse para que realice operaciones que lleven a cabo el aspecto de procedimiento de la invención. El sistema de circuitos lógico puede implementarse utilizando muchos tipos diferentes de sistemas de circuitos, tal y como se ha mencionado anteriormente.

#### *Secuencia de Funcionamiento Global*

La Figura 4 muestra una secuencia 400 para ilustrar un aspecto operativo de la presente invención. Para facilitar la explicación, pero de manera no limitativa, el ejemplo de la Figura 4 se describe en el contexto del entorno 100 de la Figura 1A descrita anteriormente.

En la etapa 402, el circuito 101 de linealización recibe la señal fuente en la entrada 102. La señal fuente también se dirige al sumador 112. La señal fuente no se dirige al circuito 114 no lineal ya que el circuito 101 de linealización está diseñado para realizar determinadas tareas de preprocesamiento para ayudar al circuito 114 no lineal a procesar la señal fuente de manera lineal.

La Figura 5A describe una señal 502 fuente representativa. La señal 502 fuente comprende una señal modulada en amplitud de una única frecuencia, aunque las técnicas de esta invención pueden aplicarse a señales fuente de una variedad de modulaciones de frecuencia/fase. Se dice que la señal fuente presenta un ancho de banda de frecuencias fuente que engloba una única frecuencia o múltiples frecuencias.

## ES 2 342 884 T3

En la etapa 403, el detector 106 de envolvente calcula una envolvente fuente representativa de la señal 102 fuente. La Figura 5A muestra la envolvente de la señal 502 fuente en 504. El detector 106 de envolvente funciona midiendo, cuantificando, estimando, calculando o determinado de otro modo la envolvente de la señal que llega a la entrada 102. La salida del detector 106 se denomina como la “envolvente fuente” y sirve para describir la envolvente 504 con forma(s) de onda analógica(s), información digital o con cualquier otro dato dependiendo de cómo estén implementados el detector 106 y/o el calculador 108 de complemento.

Sin embargo, la etapa 403 es opcional ya que el detector 106 de envolvente puede omitirse en caso de que ya se conozca la información de envolvente. Por ejemplo, dependiendo de la aplicación, los datos y/o las señales que describen la envolvente ya pueden estar disponibles a partir de un ordenador, circuito analógico u otro origen separado del circuito 101 de linealización. En este caso, la entrada 102 no necesita estar acoplada al generador 104 de complemento ya que la descripción de envolvente fuente llega al calculador 108 de complemento directamente desde el otro punto de origen.

En la etapa 404, el detector 106 de envolvente calcula una envolvente ficticia en función de la envolvente 504 fuente calculada por el detector 106 de envolvente (etapa 403) o recibida desde otro punto de origen. En términos generales, la envolvente ficticia se calcula para proporcionar una constante predeterminada si la envolvente 504 fuente y las envolventes ficticias, en cualquier instante de tiempo, fueran a combinarse de una manera específica. La Figura 5B muestra una envolvente 508 ficticia a modo de ejemplo que se calcula en función de la envolvente 504 fuente.

Como un ejemplo más particular, la envolvente de señal ficticia se calcula de manera que siempre se genere una constante predeterminada cuando la envolvente fuente y la envolvente ficticia se procesen mediante fórmulas predeterminadas (descritas a continuación) y se sumen las señales procesadas. Una realización de tal fórmula predeterminada se expresa a continuación mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Ec. 1} \quad K = A_{se}^2 + 2 \cdot A_{de}^2$$

donde:

K = una constante.

$A_{se}$  = la amplitud de la envolvente fuente.

$A_{de}$  = la amplitud de la envolvente ficticia.

Dicho de otro modo, el calculador 108 de complemento de envolvente en esta realización calcula la amplitud de la envolvente ficticia para satisfacer la siguiente ecuación 2.

$$\text{Ec. 2} \quad A_{de} = \text{sqrt} [ 0.5 * ( K - A_{se}^2 ) ]$$

En la etapa 406, el generador 110 de señal ficticia modula una señal portadora para proporcionar una señal ficticia que presente la envolvente ficticia calculada. En el ejemplo ilustrado actualmente, la Figura 5B muestra la señal ficticia como 506. El generador 110 puede generar la señal portadora, por ejemplo utilizando un oscilador, o puede recibir la señal portadora desde otra parte. El ancho de banda de frecuencias de la señal portadora (es decir, su única frecuencia o su intervalo de frecuencias si se utiliza alguna modulación de frecuencia/fase), es diferente del ancho de banda de frecuencias de la señal 102 fuente. El ancho de banda de frecuencias de la señal portadora se denomina como la “frecuencia ficticia”. Además, el funcionamiento de los filtros aguas abajo (descritos posteriormente) puede simplificarse seleccionado de manera juiciosa el ancho de banda de frecuencias de la señal portadora de manera que los productos de circuito no lineal posteriores puedan distinguirse (y eliminarse) fácilmente de la señal 102 fuente. Para simplificar adicionalmente el proceso de eliminar posteriormente los artefactos de la señal ficticia a partir de la salida 114b del circuito 114 no lineal, un enfoque es evitar cualquier modulación de frecuencia/fase de la señal portadora.

La modulación de portadora de la etapa 406 puede realizarse mediante modulación de cuadratura, modulación polar o mediante otra de las muchas técnicas conocidas por los expertos en la técnica.

En la etapa 408, el sumador 112 suma la señal 502 fuente (presente en la entrada 102) y la señal 506 ficticia (presente en la salida 105 del generador 110 de señal ficticia). La salida del sumador 112 también puede denominarse como una señal 113 “acondicionada” o como una señal “combinada”. Puesto que ahora su amplitud está regulada, la señal 113 está lista para procesarse por el circuito 114 no lineal. Por consiguiente, en la etapa 410, el sumador 112 envía la salida acondicionada al circuito 114 no lineal.

## ES 2 342 884 T3

En la etapa 411, el circuito 114 no lineal aplica su función a su entrada 114a, es decir, a la señal 113 acondicionada. Por ejemplo, si el circuito 114 es un amplificador, amplifica la entrada 114a. Si el circuito 114 es un filtro, filtra la entrada 114a. Sin embargo, puesto que la señal 502 fuente se ha acondicionado mediante la adición de la señal 506 ficticia, se impide que el circuito 114 genere algún cambio dependiente de la amplitud (“no linealidades”). Por lo tanto, la salida 114b del circuito 114 está linealizada.

Sin embargo, la salida 114b todavía contiene artefactos de la señal 506 ficticia. Por lo tanto, en la etapa 412, el filtro 116 actúa para eliminar cualquier señal en la salida 114b correspondiente a la señal portadora del generador 110, concretamente la señal 506 ficticia. El filtro también elimina cualquier “producto de intermodulación”, es decir, señales creadas por la interacción de unión de la señal de entrada y la señal ficticia con la no linealidad. Por lo tanto, después del filtrado, las únicas señales que quedan en la salida 118 son señales atribuibles a la señal 102 fuente. Sin embargo, puesto que la señal 102 fuente (combinada con la señal ficticia) se procesó de manera lineal por el circuito 114, la salida 118 está linealizada. La salida 118 del filtro 116 representa la salida linealizada final del circuito 101 de linealización.

### 15 *Realización de Múltiples Señales Ficticias*

La técnica anterior, en la que se añadía una única señal ficticia, está dirigida a no linealidades de tercer orden fundamentalmente. Las no linealidades de orden par (por ejemplo de segundo orden, cuarto orden, sexto orden, etc.) no son problemáticas. Sin embargo, para no linealidades de quinto orden se utiliza el circuito 101a de linealización ya que incluye dos generadores de señal ficticia. Puede utilizarse un mayor número de generadores de señal ficticia para órdenes de no linealidad superiores, por ejemplo, de séptimo orden, noveno orden, etc.

Con el fin de hacer funcionar el circuito 101a de linealización, se llevan a cabo gran parte de las operaciones 400 descritas anteriormente. A continuación se explican y se describen diferencias, en el grado en que se producen. En primer lugar, aunque el calculador 108a de complemento de envolvente realiza la etapa 404 de una manera generalmente similar al calculador 108 de la Figura 1A, el calculador 108 realiza tareas adicionales. Concretamente, el calculador 108a de complemento de envolvente calcula dos envolventes ficticias en la etapa 404 (en lugar de una), donde estas envolventes ficticias en combinación son complementarias a la envolvente 504 ficticia. Este concepto puede extenderse adicionalmente a tres, cuatro o a cualquier número de envolventes ficticias que sean (en combinación) complementarias a la señal 102 fuente. El cálculo de múltiples envolventes ficticias se explica en mayor detalle en el apéndice incluido en este documento utilizándose el ejemplo de dos envolventes ficticias.

Otra diferencia en la realización de múltiples señales ficticias está en la etapa 406. Concretamente, cada uno de los generadores 110a, 110b (Figura 1B) modula una señal portadora diferente para proporcionar una señal ficticia que presente una de las envolventes ( $A_{de1}$  y  $A_{de2}$ ) ficticias calculadas. Las señales portadoras de los generadores 110a, 110b presentan diferentes anchos de banda de frecuencias entre sí ya que sus envolventes se suman en frecuencias comunes, mientras que la aplicación requiere dos señales distintas (con envolventes prescritas) que se suman. La frecuencia (o frecuencias, si se utiliza alguna modulación de fase) de cada señal portadora es diferente del ancho de banda de frecuencias de la señal 102 fuente para simplificar la eliminación posterior de la señal ficticia correspondiente. Para simplificar adicionalmente el proceso de eliminar artefactos de las señales ficticias a partir de la salida 114b del circuito 114 no lineal, cada señal portadora puede producirse a una única frecuencia, es decir, sin ninguna modulación de fase. Al igual que en la realización de una única señal ficticia, cada generador 110a, 110b de señal ficticia puede utilizar modulación tal como modulación polar o de cuadratura.

Otra diferencia en la realización de múltiples señales ficticias se produce en la etapa 408. En este caso, el sumador 112 combina las salidas 105a, 105b de múltiples generadores 110a, 110b diferentes de señal ficticia con la señal 102 fuente. Como otra diferencia, el filtro 116a, en la etapa 412, debe filtrar todas las señales ficticias, concretamente, cada frecuencia de señal ficticia de cada uno de los generadores 110a, 110b. Al igual que en la realización de una única señal ficticia, también se filtra cualquier producto de intermodulación aplicable.

### *Otras realizaciones*

Los expertos en la técnica entenderán que la información y las señales pueden representarse utilizando cualquiera de una variedad de técnicas y tecnologías diferentes. Por ejemplo, los datos, instrucciones, comandos, información, señales, bits, símbolos y fragmentos de información a los que pueden hacerse referencia a lo largo de la descripción anterior pueden representarse mediante voltajes, corrientes, ondas electromagnéticas, partículas o campos magnéticos, partículas o campos ópticos, o cualquier combinación de los mismos.

Los expertos en la técnica apreciarán además que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmo ilustrativos descritos con relación a las realizaciones descritas en este documento pueden implementarse como hardware electrónico, como software informático, o como combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, varios componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativos se han descrito anteriormente de manera genérica en lo que respecta a su funcionalidad. Si tal funcionalidad se implementa en hardware o en software depende de la aplicación particular y de las limitaciones de diseño impuestas en el sistema global. Los expertos en la técnica pueden implementar la funcionalidad descrita de diferentes maneras para cada aplicación particular, pero no debe interpretarse que tales decisiones de implementación suponen un apartamiento del alcance de la presente invención.

Los diversos circuitos, módulos y bloques lógicos ilustrativos descritos con relación a las realizaciones descritas en este documento pueden implementarse o realizarse con un procesador de propósito general, con un procesador de señales digitales (DSP), con un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), con una matriz de puertas programables de campo (FPGA) o con otro dispositivo de lógica programable, puerta discreta o lógica de transistor, componentes de hardware discretos, o con cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en este documento. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador pero, como alternativa, el procesador puede ser cualquier máquina de estados, microcontrolador, controlador, o procesador convencionales. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo, una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito con relación a las realizaciones descritas en este documento pueden realizarse directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria EPROM, memoria EEPROM, registros, un disco duro, un disco extraíble, un CD-ROM o en cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocido en la técnica. Un medio de almacenamiento a modo de ejemplo está acoplado al procesador de manera que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. Como alternativa, el medio de almacenamiento puede ser una parte integrante del procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC.

Además, la anterior descripción de las realizaciones descritas se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica pueda realizar o usar la presente invención. Diversas modificaciones de estas realizaciones serán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en este documento pueden aplicarse a otras realizaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por tanto, la presente invención no pretende limitarse a las realizaciones mostradas en este documento sino que se le concede el alcance más amplio relacionado con los principios y las características novedosas descritos en este documento.

La palabra “a modo de ejemplo” se utiliza en este documento con el significado de “que sirve como ejemplo, instancia o ilustración”. Cualquier realización descrita en este documento como “a modo de ejemplo” no debe considerarse necesariamente como preferida o ventajosa sobre otras realizaciones.

## Apéndice

### 1 Resumen Ejecutivo

Un circuito aumenta el ancho de banda de una señal cuando su ganancia depende de la amplitud de la señal. La adición de una señal de linealización de amplitud relacionada, pero con fase no relacionada, en la entrada puede reducir esta dependencia. Puesto que la fase no está relacionada, la señal de linealización puede estar en cualquier frecuencia apropiada. La señal de linealización genera productos de intermodulación, pero estos pueden filtrarse si las frecuencias de señal se eligen adecuadamente. El procedimiento es “ciego” en el sentido que, aparte de la suposición AM-AM y AM-PM<sup>1</sup> habitual, no se asume ningún conocimiento de la no linealidad.

<sup>1</sup>AM-AM = modulación de amplitud a modulación de amplitud. AM-PM = modulación de amplitud a modulación de fase.

El análisis examina principios esenciales. Aunque se concede la debida consideración a los aspectos prácticos, no se contemplan cuestiones de implementación detalladas.

### 2 Introducción

Considérese una señal de entrada para un circuito no lineal (un amplificador de transmisor, por ejemplo), dada por

$$x = A(t)\cos(\phi(t) + \omega_0 t). \quad (1)$$

En este caso,  $A(t)$  es la modulación de amplitud,  $\phi(t)$  es la modulación de fase y  $\omega_0$  es la frecuencia central. Utilizando la forma de paso bajo compleja se obtiene que

$$\tilde{x} = A(t)\exp i\phi(t). \quad (2)$$

La señal de salida viene dada por

$$y = G(A)A(t)\cos(\phi(t) + \omega_0 t + \gamma(A)), \quad (3)$$

En este caso,  $G(A)$  controla la respuesta de amplitud (AM-AM) y  $\gamma(A)$  controla la respuesta de fase (AM-PM). En la forma de paso bajo compleja, la salida es

$$\tilde{y} = G(A)\exp(i\gamma(A))\tilde{x}, \quad (4)$$

donde la ganancia compleja es

$$CG = G(A)\exp i\gamma(A). \quad (5)$$

La ganancia compleja puede representarse como un polinomio simple<sup>2</sup>

$$CG = k_1 + k_3|\tilde{x}|^2 + k_5|\tilde{x}|^4 + \dots + k_N|\tilde{x}|^{N-1}. \quad (6)$$

<sup>2</sup>Las funciones base deben elegirse, quizá, con respecto a la señal de entrada [Blachman79].

En este caso  $k_1$ ,  $k_3$  y  $k_5$  están relacionadas con la ganancia  $G$ (dB) y proporcionan puntos de intercepción de tercer orden y de quinto orden (dBW, para  $x$  en voltios) mediante

$$|k_1| = 10^{G/20}, \quad (7)$$

$$|k_3| = \frac{2}{3R_0} 10^{3G/20 - 1P3/10}, \quad (8)$$

$$|k_5| = \frac{2}{5R_0} 10^{G/4 - 1P5/5}, \quad (9)$$

donde  $R_0$  es la resistencia de entrada/salida [Ha81]. Pueden obtenerse relaciones similares con puntos de intercepción de orden superior. Este modelo supone que la ganancia y la no linealidad no son funciones de frecuencia - una suposición razonable siempre que las frecuencias decrecientes implicadas no estén demasiado extendidas.

### 3 Linealización Mediante Modulación Cruzada

En esta sección se explicará cómo linealizar la ganancia de la señal deseada,  $T(t)$ , añadiendo una o más señales de linealización en la entrada de la no linealidad. Las señales de linealización están relacionadas en amplitud con  $T(t)$  pero no en fase. Además, se supone que la señal, o señales, añadida(s) está(n) colocada(s) en frecuencia de manera que los diversos productos de intermodulación puedan filtrarse (dejando  $T(t)$  inalterada).

Para el caso más general considerado aquí, una composición de tres señales forma la entrada a la no linealidad. En primer lugar,  $\tilde{T}(t) = A_T(t)\exp i\phi_T(t)$  es la señal que se desea amplificar de manera lineal. En segundo lugar,  $\tilde{L}(t) = A_L(t)\exp i\phi_L(t)$  es una señal que linealiza la amplificación (reduciendo principalmente la no linealidad de tercer orden). Finalmente,  $\tilde{M}(t) = A_M(t)\exp i\phi_M(t)$  puede añadirse para reducir tanto la no linealidad de tercer orden como de quinto orden. Por lo tanto,

$$\tilde{x} = A_T(t)\exp i\phi_T(t) + A_L(t)\exp i\phi_L(t) + A_M(t)\exp i\phi_M(t). \quad (10)$$

Utilizando la ecuación (6), el término de salida de tercer orden (despreciando el coeficiente  $k_3$ ) es

5	$ \tilde{x} ^2 \tilde{x} = 2A_T^2 A_L \exp i(2\phi_T - \phi_L) +$		Intermodulación					
	$2A_T^2 A_M \exp i(2\phi_T - \phi_M) +$							
10	$2A_L^2 A_M \exp i(2\phi_L - \phi_M) +$							
	$2A_L^2 A_T \exp i(2\phi_L - \phi_T) +$							
15	$2A_M^2 A_T \exp i(2\phi_M - \phi_T) +$							
	$2A_M^2 A_L \exp i(2\phi_M - \phi_L) +$							
20	$A_T A_L A_M \exp i(-\phi_T + \phi_L + \phi_M) +$				Triple pulsación			
	$A_T A_L A_M \exp i(\phi_T - \phi_L + \phi_M) +$							
	$A_T A_L A_M \exp i(\phi_T + \phi_L - \phi_M) +$							
25	$2A_L^2 A_T \exp i\phi_T +$				Modulación cruzada			
	$2A_M^2 A_T \exp i\phi_T +$							
30	$2A_M^2 A_L \exp i\phi_L +$							
	$2A_T^2 A_L \exp i\phi_L +$							
	$2A_T^2 A_M \exp i\phi_M +$							
35	$2A_L^2 A_M \exp i\phi_M +$							
	$A_T^3 \exp i\phi_T +$						Automodulación	
40	$A_L^3 \exp i\phi_L +$							
	$A_M^3 \exp i\phi_M$							

(11)

Los términos que afectan a la amplificación de  $T(t)$  son los coeficientes de  $\exp(i\phi_T)$  (sin  $\exp(i\phi_L)$  o  $\exp(i\phi_M)$ ). Por el momento, se establece que  $A_M = 0$ , de manera que la ganancia compleja de  $T(t)$  es

$$CG_T = k_1 + k_3(A_T^2 + 2A_L^2). \quad (12)$$

La contribución de  $A_L(t)$  se debe a la modulación cruzada. Para linealizar la ganancia de  $T(t)$  se establece que

$$A_T^2 + 2A_L^2 = K_1 = \text{constante} \quad (13)$$

Este procedimiento es “ciego” en el sentido que no es necesario conocer el coeficiente de no linealidad de tercer orden,  $k_3$ .

Aunque la ecuación (13) elimina el efecto de  $k_3$  en la salida de no linealidad de tercer orden, también extiende la influencia de los otros coeficientes, de manera que la nueva ganancia compleja de  $T(t)$  es (por ejemplo, para  $N = 7$ )

$$CG_T = k_1' + k_3' A_T^2 + k_5' A_T^4 + k_7' A_T^6, \quad (14)$$

donde

$$k'_1 = k_1 + K_1 k_3 + \frac{3}{4} K_1^2 k_5 + \frac{1}{2} K_1^3 k_7, \quad (15)$$

$$k'_3 = \frac{3}{2} K_1 k_5 + 3 K_1^2 k_7, \quad (16)$$

$$k'_5 = \frac{-5}{4} k_5 - \frac{3}{2} K_1 k_7, \quad (17)$$

$$k'_7 = -k_7. \quad (18)$$

La nueva ganancia lineal,  $k'_1$ , de la ecuación (15) está influenciada por todos los coeficientes originales  $k_1, k_3, k_5, k_7$ . El nuevo coeficiente de tercer orden,  $k'_3$ , no está influenciado por el coeficiente de tercer orden original,  $k_3$ , sino que está afectado por  $k_5$  y  $k_7$ . De manera similar,  $k'_5$  tiene ahora una contribución de  $k_7$ . El nuevo coeficiente de séptimo orden,  $k'_7$ , permanece inafectado aparte de su signo.

Para que el procedimiento mejore la linealidad, a pesar de la mayor influencia de los coeficientes de orden superior,  $K_1$  debe ser lo más pequeño posible y la no linealidad debe ser principalmente de tercer orden.

Como un ejemplo, considérese la siguiente no linealidad citada habitualmente [Saleh81],

$$CG = \frac{k_1}{1 + A_T^2} \exp\left(j \frac{\pi}{3} \frac{A_T^2}{1 + A_T^2}\right). \quad (19)$$

La ganancia y fase de  $CG$  aparece en las Figuras 1(a) y 2(a). Cuando se expanden en una serie de Taylor en torno a  $A_T = 0$ , con 15 dB de ganancia lineal, se obtiene que

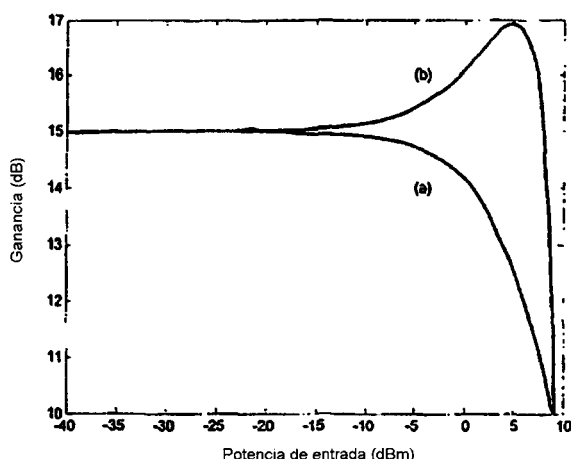
$$\begin{aligned} k_1 &= 5.623 \\ k_3 &= -5.623 + j5.888 \\ k_5 &= 2.540 - j11.777 \\ k_7 &= 3.627 + j16.589 \end{aligned} \quad (20)$$

En este caso se ha supuesto que  $K_1 = 0,2$ , lo que corresponde a una amplitud de pico máximo de  $A_T$  de 0,447 voltios.

5

10

15



20

Figura 1 Magnitud de ganancia compleja: (a) ecuación (19), (b) no linealidad de quinto orden

25

A partir de las ecuaciones (15) a (18), se obtiene que los coeficientes modificados de la no linealidad son

30

$$\begin{aligned}
 k_1' &= 4.589 + j0.891 \\
 k_3' &= 1.197 - j1.542 \\
 k_5' &= -4.263 + j9.744 \\
 k_7' &= -3.627 - j16.589
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

35

Para no linealidades con compresión de ganancia, la potencia de la señal de linealización añadida reduce la ganancia global. Por lo tanto  $|k_1'|$  es ligeramente inferior a  $|K_1|$ . Resulta sencillo calcular la mejora para que la intercepción de tercer orden sea de 6,2 dB. Para garantizar que al mejorar la no linealidad de tercer orden los otros términos no hayan empeorado demasiado, la no linealidad de la ecuación (19) se simula con una forma de onda CDMA IS-95.

40

45

50

55

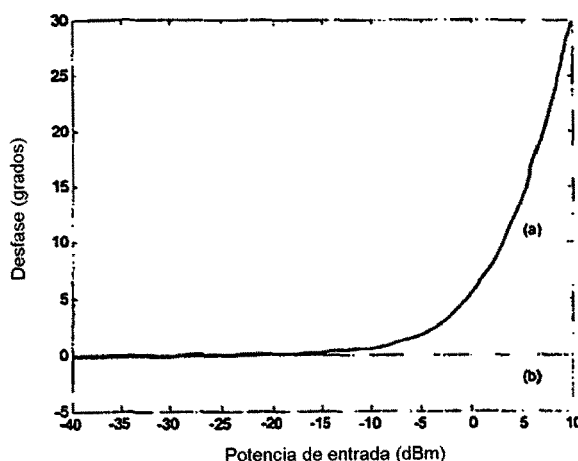


Figura 2 Desfase de ganancia compleja: (a) ecuación (19), (b) fase lineal

60

65

Considérese una arquitectura típica de transmisor inalámbrico digital. Datos binarios aleatorios se correlacionan con símbolos, se filtran y se convierten en una señal analógica. Aunque se utiliza OQPSK para la señal de transmisor, la técnica puede aplicarse a cualquier formato de señalización. “M” secuencias independientes de longitud  $2^{19}-1$  suministran los datos binarios de cuadratura y en fase no procesados. Los datos se correlacionan con la constelación OQPSK y después se interpolan a cuatro veces la velocidad de entrada mediante un filtro de “conformación de impulsos”<sup>3</sup>. Después, un retenedor de orden cero (ZOH) con 128 muestras por “retención” representa la forma de onda analógica. La salida del ZOH se pasa a un filtro de reconstrucción<sup>4</sup>. La salida del filtro de reconstrucción proporciona la ganancia compleja de la ecuación (19).

<sup>3</sup>Adoptado, por conveniencia, de la norma TIA/EIA IS-95, “*Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread-Spectrum Cellular Systems*”, Asociación de la Industria de Telecomunicaciones, julio de 1993.

5 <sup>4</sup>Chebyshev, tipo-II, quinto orden, banda de detención de 80 dB reducida a 3/256 de la frecuencia de muestreo.

La Figura 3 muestra la densidad espectral de potencia de salida (PSD). La PSD se estima utilizando el procedimiento de Welch con periodogramas divididos en ventanas [Oppenheim89] con una longitud de muestra de  $2^{15}$  (Hanning). Antes de su aplicación a sistemas CDMA, la frecuencia se proporciona en unidades de la frecuencia de ensanchamiento, o de “chip”,  $f_{CHIP}$ .

Se muestran tanto la salida linealizada como la no linealizada de la no linealidad. La potencia de salida es de 11 dBm en ambos casos. La potencia de entrada se ha aumentado 1dB para el caso linealizado ya que la señal de linealización reduce la ganancia de la no linealidad. La potencia de salida de la señal de linealización es de 15,2 dBm. La potencia en el primer canal adyacente se mejora entre 10 y 15 dB, mientras que la potencia en el segundo canal adyacente se degrada entre 4 y 5 dB. En la práctica, saber si esto resulta beneficioso dependerá de la no linealidad y de los requisitos en los canales vecinos.

La Figura 4 muestra una vista ampliada de la densidad espectral de potencia. La señal de linealización (“L”) se ha colocado relativamente cerca de la señal deseada (“T”) para minimizar los requisitos de muestreo de la simulación. En la práctica, la frecuencia de la señal de linealización debe escogerse para facilitar los requisitos de filtrado.

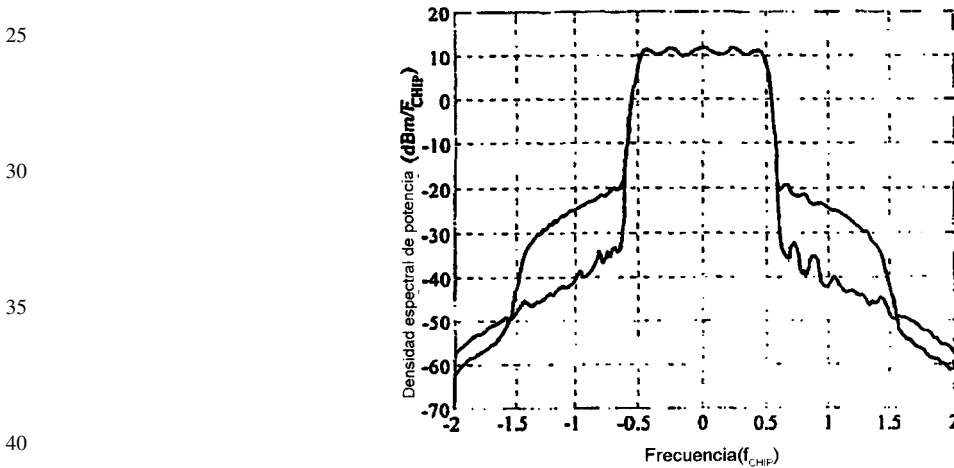


Figura 3 Densidad espectral de potencia de la salida de no linealidad con y sin la señal de linealización añadida

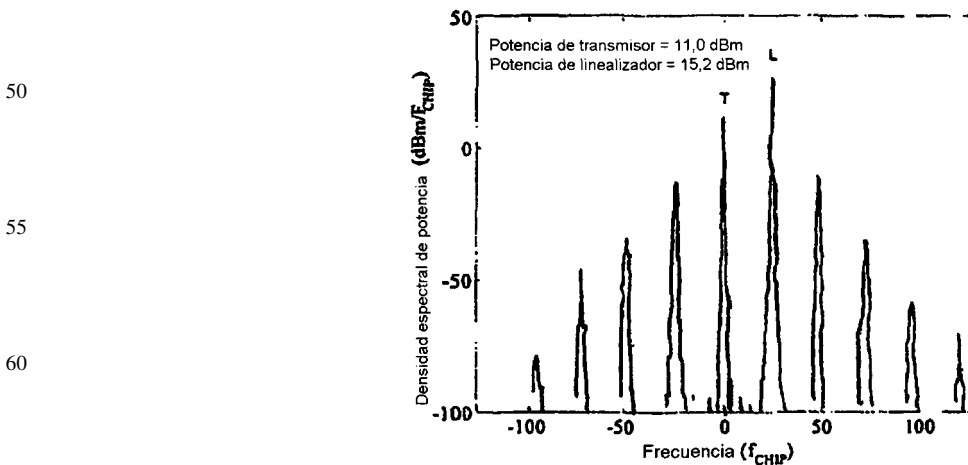


Figura 4 Densidad espectral de potencia de la salida de no linealidad: vista ampliada que muestra la señal (T) deseada y la señal (L) de linealización

## ES 2 342 884 T3

Con la ayuda de una segunda señal de linealización,  $M(t) = A_M(t)\exp i\phi_M(t)$ , es posible mejorar adicionalmente la linealidad. Al igual que la primera señal añadida elimina la contribución del coeficiente de tercer orden, una segunda señal añadida puede añadirse para eliminar el efecto del coeficiente de quinto orden.

5 La ecuación (13) se convierte en una restricción tanto para  $A_L$  como para  $A_M$

$$A_T^2 + 2(A_L^2 + A_M^2) = K_1. \quad (22)$$

10

Para eliminar la contribución del coeficiente de quinto orden,  $K_5$ , se requiere que

$$15 \quad A_T^4 + 6A_T^2(A_L^2 + A_M^2) + 3(A_L^2 + A_M^2)^2 + 6A_L^2A_M^2 = K_2. \quad (23)$$

Las ecuaciones (22) y (23) deben cumplirse simultáneamente. Para ello, es conveniente definir que

20

$$P_1 = A_L^2 + A_M^2 = \frac{1}{2}(K_1 - A_T^2), \quad (24)$$

25

$$P_2 = A_L^2A_M^2 = \frac{1}{6}(-A_T^4 - 6A_T^2P_1 - 3P_1^2 + K_2), \quad (25)$$

30

a partir de lo cual pueden obtenerse las dos señales de linealización como

35

$$A_L^2 = \frac{P_1}{2} \pm \sqrt{\frac{P_1^2}{4} - P_2}, \quad (26)$$

40

$$A_M^2 = P_1 - A_L^2. \quad (27)$$

45

Puesto que  $A_L$  y  $A_M$  deben ser mayores o iguales a cero en todo momento, se requiere además que

50

$$\frac{P_1^2}{4} > P_2 \quad (28)$$

y que

55

$$P_2 > 0 \quad (29)$$

a partir de lo cual se deduce que

60

$$A_T^4 - \frac{6}{7}K_1A_T^2 - \frac{9}{7}K_1^2 + \frac{8}{7}K_2 < 0 \quad (30)$$

y que

65

$$A_T^4 - \frac{6}{5}K_1A_T^2 - \frac{3}{5}K_1^2 + \frac{4}{5}K_2 > 0 \quad (31)$$

lo que debe cumplirse para todos los valores de  $A_T$ . Una solución para  $K_1$  y  $K_2$  que satisfaga las ecuaciones (30) y (31) es

$$K_1 = \frac{\max(A_j^2)}{\sigma_1^2} \quad (32)$$

$$K_2 = \frac{63}{56} K_1^2 \quad (33)$$

Este enfoque es adecuado para no linealidades con expansión de ganancia ya que, con la compresión de ganancia, la potencia en  $L(t)$  y  $M(t)$  (determinada por  $K_1$  y  $K_2$ ) reduce la ganancia global y reduce la potencia de salida. Si la potencia de entrada aumenta para compensar, entonces la ganancia puede reducirse todavía más.

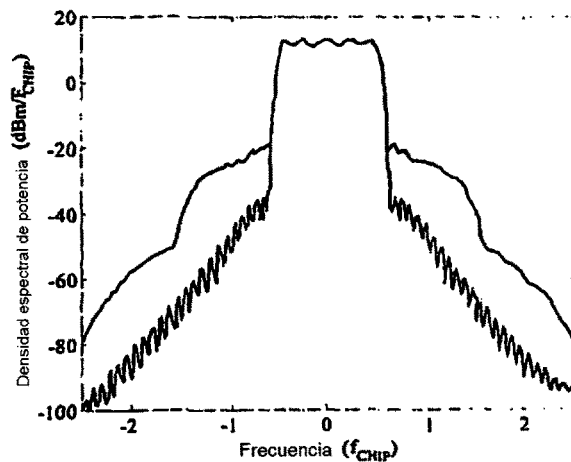


Figura 5 Densidad espectral de potencia de la salida de no linealidad con dos señales de linealización añadidas: ampliación de la señal deseada.

La Figura 5 muestra la densidad espectral de potencia en la salida de la no linealidad con  $L(t)$  y  $M(t)$  añadidas en la entrada. La potencia de la señal deseada es de 12 dBm. Las señales de linealización,  $L(t)$  y  $M(t)$ , no se muestran pero presentan potencias de salida de 16,6 dBm y de 20,6 dBm respectivamente. En este caso, la no linealidad (mostrada en la Figura 1(b) y en la Figura 2(b)) sólo tiene términos de primer, tercer y quinto orden, por lo que el espectro linealizado es prácticamente ideal. La ganancia compleja de la ecuación (19) no se ha utilizado, como en los casos de una no linealidad de orden superior y de señales de entrada a tres frecuencias, ya que los productos de intermodulación son extensos y difíciles de tratar dentro del ancho de banda de simulación restringido. Por lo tanto, la Figura 5 es optimista ya que no incluye la influencia de términos de séptimo orden ni de términos de orden superior.

En principio, pueden añadirse más señales para conseguir órdenes de compensación superiores. Sin embargo, el beneficio puede disminuir rápidamente ya que la potencia requerida para las señales de linealización aumenta.

#### 4 Conclusión

Se ha descrito una técnica para linealizar un circuito añadiendo una o más señales. El procedimiento no requiere conocer la intensidad de la no linealidad. Sin embargo, en la práctica se requerirán algunas ligeras restricciones en la no linealidad (por ejemplo, que sea principalmente de tercer orden).

#### 5 Referencias

[Blachman79] "The Output Signals and Noise from a Nonlinearity with Amplitude-Dependent Phase Shift", por Blachman, N.M., *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-25, N° 1, enero de 1979, 77-79.

[Ha81] "Solid State Microwave Amplifier Design", por Ha, T.T., John Wiley and Sons, 1981.

[Oppenheim89] "Discrete-Time Signal processing", por Oppenheim, A.V. y Schaffer, R.W., Prentice-Hall, 1989.

[Saleh81] Saleh, A.A.M., "Frequency Independent and frequency-dependent models of TWT amplifiers", *IEEE*.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (400) de linealización, que comprende las operaciones de:

- 5 recibir (402) una señal (102) fuente modulada en amplitud que presenta un ancho de banda de frecuencias fuente y una envolvente fuente;
- 10 calcular (404) múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada cuando la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a combinarse;
- 15 crear (406) múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud que presenten envolventes ficticias correspondientes de las múltiples envolventes ficticias y donde cada una de las múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud presenta un ancho de banda de frecuencias ficticias que difiere del ancho de banda de frecuencias fuente y del ancho de banda de frecuencias de las otras señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud;
- 20 sumar (408) la señal (102) fuente y las múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias para formar una señal (113) combinada;
- 25 dirigir (410) la señal (113) combinada a una entrada de un módulo (114) de procesamiento que presenta una no linealidad dependiente de la amplitud; y
- filtrar (412) la salida (114B) que incluye la señal (102) fuente y las señales (105, 105A, 105B) ficticias para proporcionar una salida (118) linealizada.

2. El procedimiento (400) según la reivindicación 1, en el que la operación (404) de cálculo comprende calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a sumarse.

3. El procedimiento (400) según la reivindicación 1, en el que la operación (404) de cálculo comprende calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a procesarse mediante fórmulas predeterminadas y si las envolventes procesadas se suman.

35 4. El procedimiento (400) según la reivindicación 3, en el que las fórmulas predeterminadas comprenden:

elevar al cuadrado la envolvente de señal (102) fuente;

40 elevar al cuadrado las envolventes de señal ficticia y después duplicar las envolventes de señal ficticia elevadas al cuadrado.

45 5. Un aparato (100) configurado para realizar operaciones para linealizar la salida de un módulo de procesamiento con una no linealidad dependiente de la amplitud, comprendiendo el aparato (100):

- medios para recibir una señal (102) fuente modulada en amplitud que presenta un ancho de banda de frecuencias fuente y una envolvente fuente;
- 50 medios para calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a combinarse;
- 55 medios para crear múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud que presenten envolventes ficticias correspondientes de las múltiples envolventes ficticias y donde cada una de las múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud presentan un ancho de banda de frecuencias ficticias que difiere del ancho de banda de frecuencias fuente y del ancho de banda de frecuencias de las otras señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud;
- 60 medios para sumar la señal (102) fuente y las múltiples señales (105) ficticias para formar una señal (113) combinada;
- medios para dirigir la señal (113) combinada a una entrada de un módulo (114) de procesamiento que presenta una no linealidad dependiente de la amplitud; y
- 65 medios para filtrar la salida (114B) del módulo (114) de procesamiento que incluye la señal (102) fuente y las señales (105, 105A, 105B) ficticias para proporcionar una salida (118) linealizada.

## ES 2 342 884 T3

6. El aparato (100) según la reivindicación 5, en el que los medios de cálculo comprenden calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a sumarse.

5 7. El aparato (100) según la reivindicación 5, en el que los medios de cálculo comprenden calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a procesarse mediante fórmulas predeterminadas y si las envolventes procesadas fueran a sumarse.

8. El aparato (100) según la reivindicación 7, en el que las fórmulas predeterminadas comprenden:

10

eleva al cuadrado la envolvente de señal (102) fuente;

eleva al cuadrado las envolventes de señal ficticia y después duplicar

15

las envolventes de señal ficticia elevadas al cuadrado.

9. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que los medios de cálculo se realizan mediante un calculador (108) de envolvente que utiliza la señal (102) fuente para calcular múltiples envolventes ficticias que proporcionen una constante predeterminada si la envolvente fuente y las envolventes ficticias fueran a combinarse;

25

los medios de creación se realizan mediante un generador (110) de señal ficticia que proporciona múltiples señales (105, 105A, 105B) ficticias moduladas en amplitud que presentan las envolventes ficticias calculadas, donde las señales (105, 105A, 105B) ficticias presentan una o más frecuencias ficticias predeterminadas y las frecuencias ficticias predeterminadas difieren del ancho de banda de frecuencias fuente y entre sí;

30

los medios de suma se realizan mediante un sumador (112) acoplado a la señal (102) fuente y al generador (110) de señal ficticia para sumar la señal (102) fuente y las señales (105, 105A, 105B) ficticias para formar una señal (113) combinada disponible para su procesamiento mediante el módulo (114) de procesamiento; y

35

los medios de filtrado se realizan mediante al menos un filtro (116) para filtrar la salida (114B) del módulo (114) de procesamiento que incluye la señal (102) fuente y las señales (105, 105A, 105B) ficticias para proporcionar una salida (118) linealizada.

10. El aparato (100) según la reivindicación 9, en el que el aparato (100) comprende además:

40

el módulo (114) de procesamiento, el cual presenta una no linealidad dependiente de la amplitud;

donde el módulo (114) de procesamiento está acoplado al sumador (112) para recibir la señal (113) combinada como entrada (114A) y proporcionar una salida (114B) al al menos un filtro (116).

45

50

55

60

65

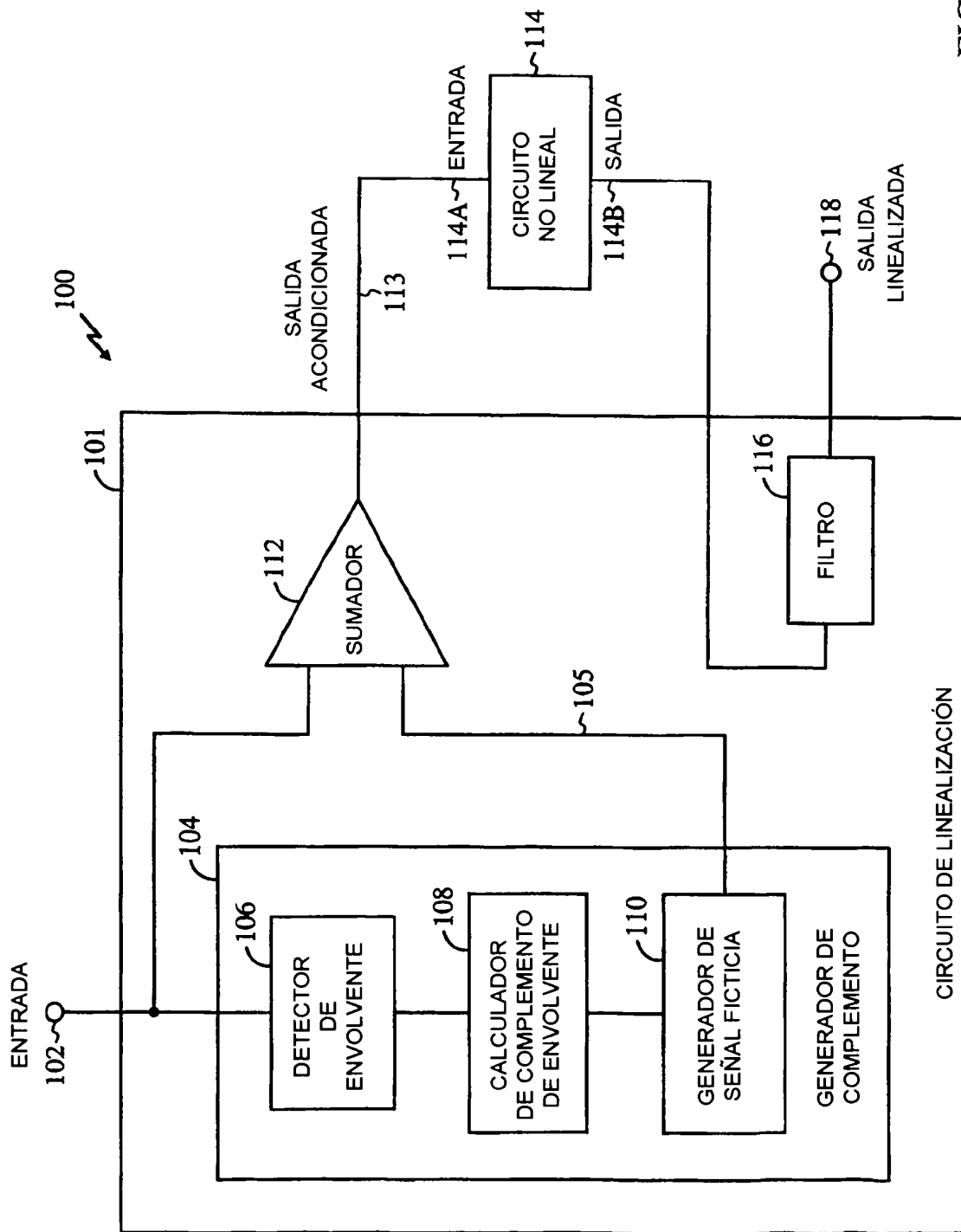


FIG. 1A

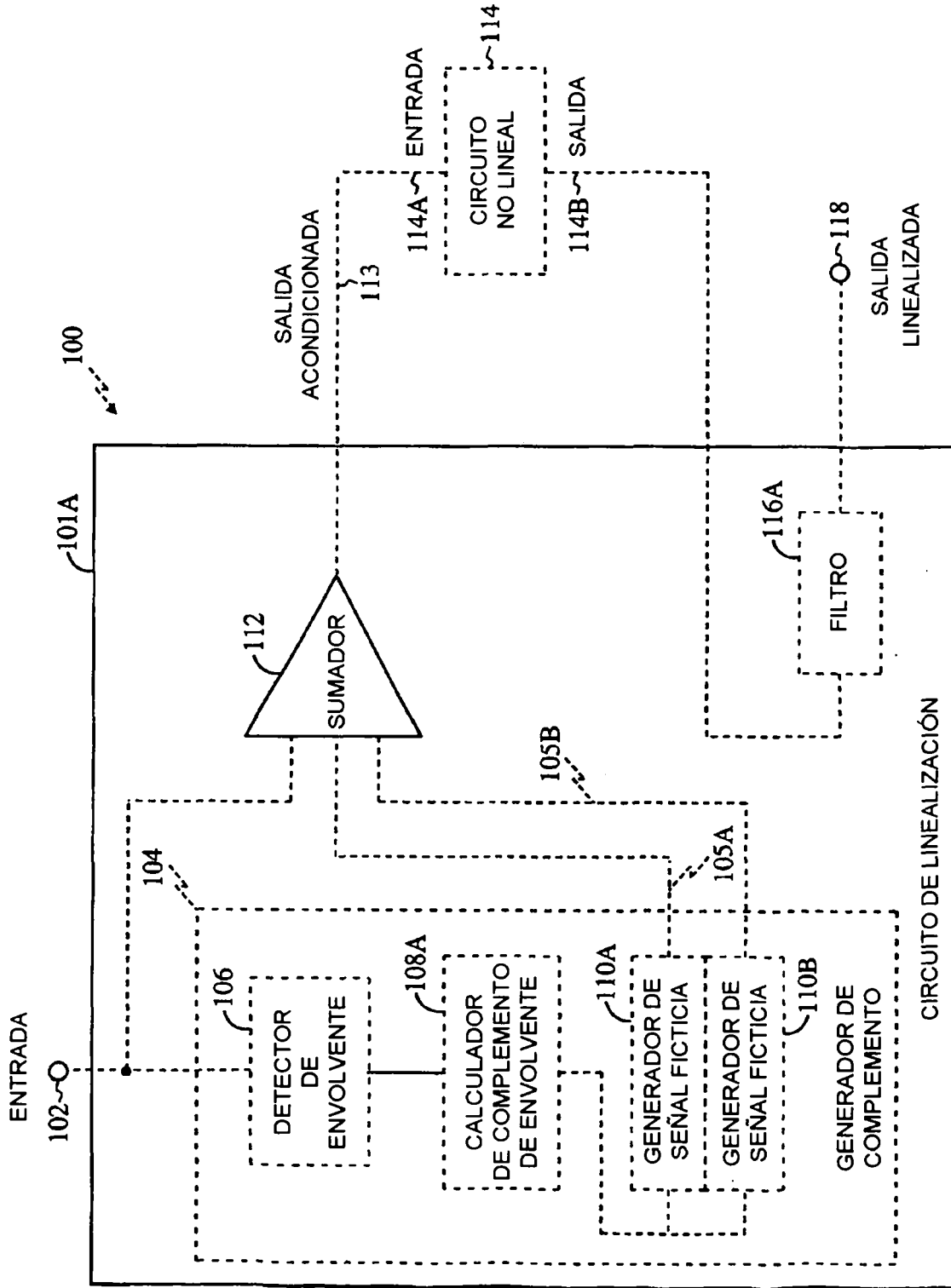


FIG. 1B

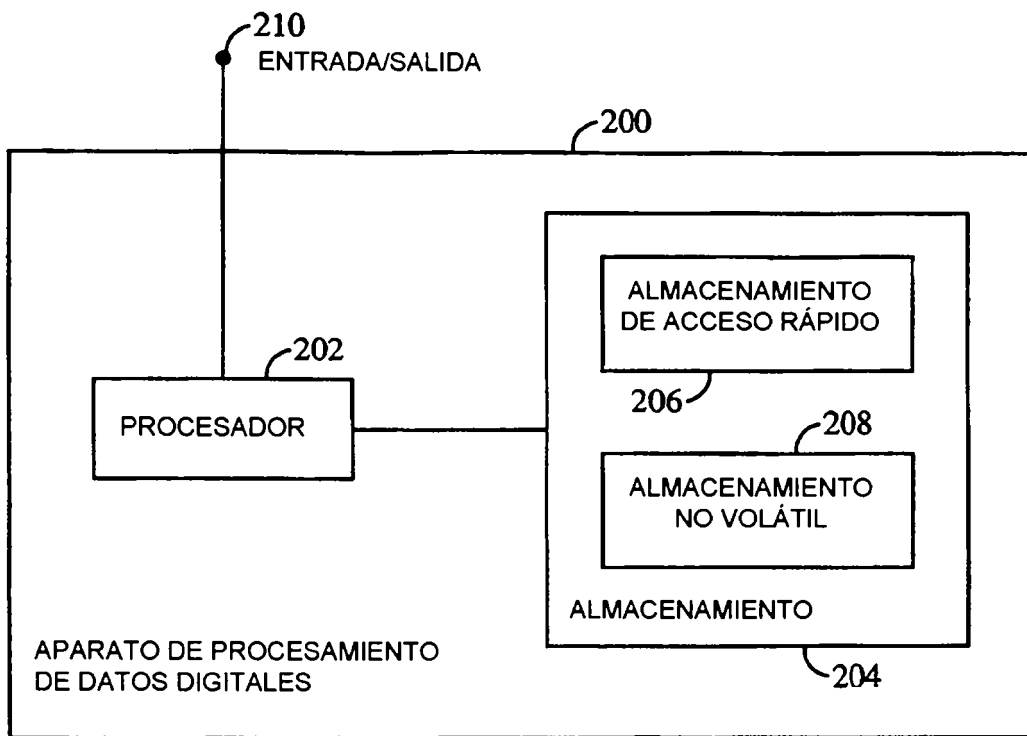


FIG. 2

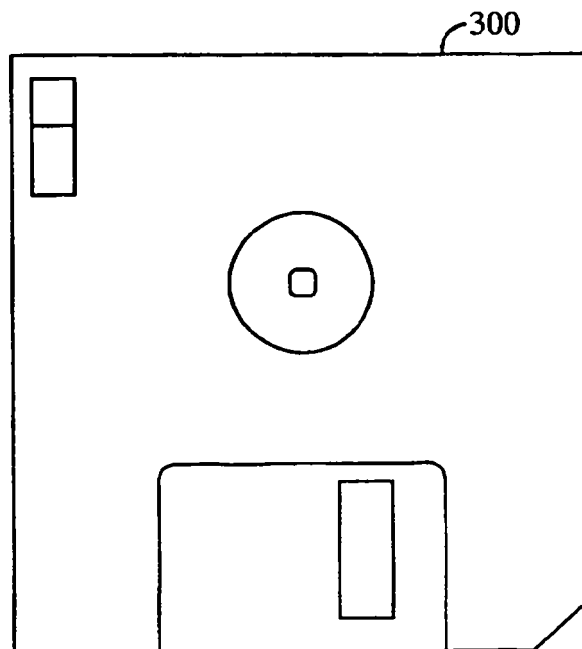


FIG. 3

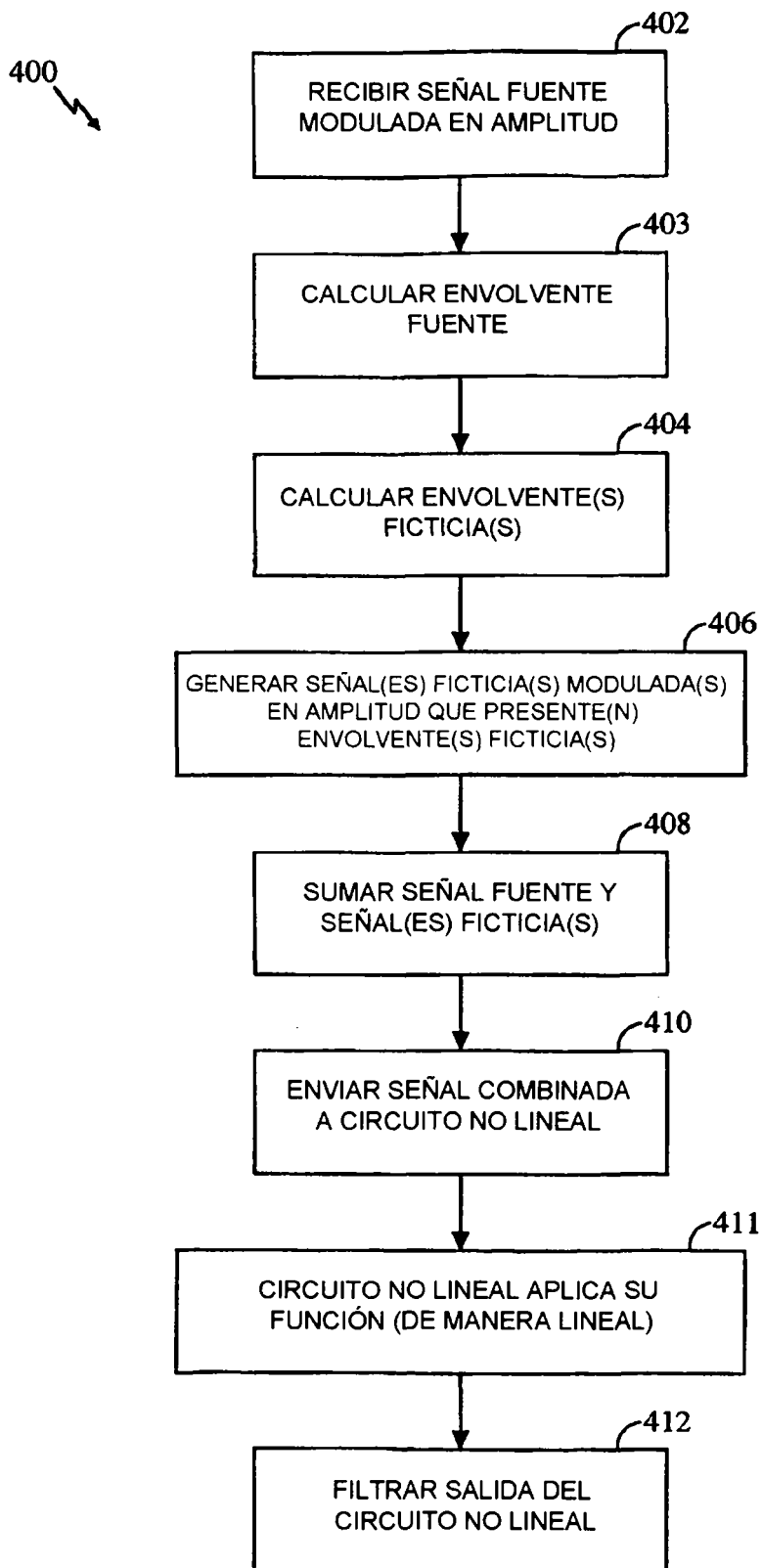


FIG. 4

