



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 306 221**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05794746 .7**

86 Fecha de presentación : **26.09.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1797639**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **20.06.2007**

54 Título: **Generación de tablas de predistorsión de formas de onda arbitrarias.**

30 Prioridad: **06.10.2004 US 616493 P**
29.06.2005 US 168404

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

73 Titular/es:
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (publ)
Patent Unit, KI/ECS/B/AP
164 83 Stockholm, SE

72 Inventor/es: **Brandt, Per-Olof y**
Persson, Jonas

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 306 221 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).

ES 2 306 221 T3

DESCRIPCIÓN

Generación de tablas de predistorsión de formas de onda arbitrarias.

5 Esta solicitud reivindica la ventaja de la solicitud provisional norteamericana n° 60/616.493, presentada el 6 de octubre de 2004.

Antecedentes

10 La presente invención se refiere a amplificadores de potencia, tales como el tipo usado en comunicaciones inalámbricas, y, más concretamente, se refiere a determinar y ejecutar un ajuste de predistorsión de una señal previamente a su amplificación mediante un amplificador de potencia con el fin de compensar la distorsión producida por el amplificador de potencia.

15 Los amplificadores de potencia se usan mucho en telecomunicaciones. Por ejemplo, en aplicaciones de comunicaciones inalámbricas, los amplificadores de potencia pueden encontrarse en la última etapa de circuitos de transmisión, en la que se usan para reforzar la potencia de una señal entregada hasta un nivel aceptable para su transmisión a partir de una antena. Por otro lado, los amplificadores de potencia, con frecuencia, están provistos de una función de modulación de amplitud (MA), que les permite funcionar de acuerdo con esquemas de modulación de envolvente no constante, tales como los usados por EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution/Velocidades de datos mejoradas para la evolución del GSM), Code Division Multiple Access/Acceso múltiple por diferenciación de código (CDMA), Wideband CDMA/Acceso múltiple por diferenciación de código de banda ancha (WCDMA), y similares. Aun cuando se usen esquemas de modulación de amplitud constante la capacidad funcional de MA de un amplificador de potencia puede aplicarse para el control de potencia si la transmisión se realiza mediante ventanas de tiempo, tal como ocurre en sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), de los que el sistema global de comunicaciones móviles (GSM) y EDGE son sólo dos ejemplos.

20 Un problema al usar amplificadores de potencia disponibles comercialmente en aplicaciones tales como comunicaciones móviles consiste en que, típicamente, presentan cierta distorsión. Por ejemplo, considérese una entrada de referencia (denominada MA_{ref}) constituida por una señal de frecuencia intermedia (FI) que represente la envolvente (MA) de una señal de radiofrecuencia (RF) que tenga que ser modulada de acuerdo con un esquema de modulación cualquiera. Idealmente, la entrega de una MA de referencia a la entrada de MA de un amplificador de potencia generará una señal de MA de RF a la salida del amplificador de potencia, sin distorsión. Pero, en la práctica, se genera cierta distorsión en el amplificador de potencia: distorsión entre MA_{ref} y modulación de fase (distorsión de MF) y distorsión entre MA_{ref} y MA. Estos tipos de distorsión pueden designarse, abreviadamente, MA/MF y MA/MA, respectivamente.

25 En aplicaciones de comunicaciones en las que se codifique información mediante la fase y/o la amplitud de la señal, la distorsión añadida puede hacer que se produzcan errores importantes cuando el receptor intente extraer la información prevista. Para evitar este resultado no deseable, puede ajustarse la señal antes de su amplificación de manera que se elimine la distorsión que se sabe que será añadida por el amplificador de potencia. Ello se denomina "predistorsionar" la señal, y la magnitud del ajuste de amplitud y fase que tenga que aplicarse con este fin se denomina "predistorsión".

30 Resulta posible construir un amplificador de potencia con predistorsión incorporada, pero como los componentes estándar "listos para usar" de los distintos vendedores de amplificadores de potencia no presentan esta particularidad, usualmente, la distorsión tiene que tenerse en cuenta/compensarse en otras partes del equipo de comunicaciones.

35 Puede generarse predistorsión de distintas maneras con el fin de compensar la distorsión de los amplificadores de potencia. Un aspecto importante al respecto consiste en que distintas muestras de un mismo componente nominal de amplificación de potencia presentarán características MA/MF y MA/MA diferentes. Además, el amplificador-modulador de potencia presentará distorsiones MA/MF y MA/MA variables en bandas de frecuencia amplias. Ello significa que se requieren compensaciones de predistorsión diferentes para amplificadores de potencia y frecuencias diferentes.

40 Durante la fabricación/construcción de un dispositivo de comunicaciones, tal como una estación móvil (EM) se realizan diferentes tipos de calibraciones. Es deseable disponer de un método de calibración para determinar la distorsión del amplificador de potencia y para aplicar la compensación (predistorsión) necesaria. Un modo para determinar los mejores valores de predistorsión consiste en optimizar los valores merced a la comparación del comportamiento de un espectro medido con el de un espectro ideal. Pero este tipo de análisis puede llevar mucho tiempo y sería preferible una solución rápida y precisa. El problema se complica por el hecho de que es previsible que los datos de medición sean ruidosos, lo que hace que el proceso de medición sea aún más lento.

45 Casi todos los algoritmos de predistorsión convencionales se basan en mediciones de distintos patrones de calidad, tales como Modulación de vector de error (MVE) y/o "espectro debido a modulación". En consecuencia, se requiere un proceso iterativo para encontrar cierto valor de predistorsión que ofrezca resultados buenos en medida suficiente. Pero tener que realizar tantos tipos diferentes de mediciones y luego realizar las iteraciones necesarias para llegar a resultados aceptables consume mucho tiempo.

50 El documento US 6 642 786 de Jin, *et al.*, describe un método y un aparato de predistorsión polinómica por segmentos que compensa la distorsión no lineal de un amplificador de alta potencia merced a la inclusión de un circuito

de predistorsión de amplitud destinado a predistorsionar una señal de amplitud de entrada basándose en primeros coeficientes polinómicos que correspondan a la amplitud de la señal de amplitud de entrada, con el fin de proporcionar una señal de amplitud predistorsionada, un circuito de predistorsión de fase, destinado a predistorsionar una señal de fase de entrada basándose en la señal de amplitud predistorsionada, y en segundos coeficientes polinómicos, que correspondan a la amplitud de la señal de amplitud predistorsionada, con el fin de proporcionar una señal de fase predistorsionada, un amplificador de potencia, destinado a amplificar la señal de amplitud y fase predistorsionada con el fin de emitir una señal de amplitud y fase amplificada, un primer circuito de adaptación, destinado a actualizar los primeros coeficientes polinómicos basándose en la señal de amplitud predistorsionada y la señal de amplitud amplificada, y un segundo circuito de adaptación, para actualizar los segundos coeficientes polinómicos basándose en la señal de amplitud predistorsionada, la señal de fase predistorsionada y la señal de fase amplificada.

El documento US 5 903 611 de Schnabl, *et al.*, divulga, con el fin de corregir no-linealidades de un amplificador que reciba una señal de radio y genere una señal de radio amplificada que represente una señal digital compleja de entrada, una tabla de predistorsión que asocia un valor de una señal digital compleja predistorsionada con cada valor de la señal digital compleja de entrada. La señal compleja predistorsionada se modula con el fin de obtener la señal de radio dirigida al amplificador. Durante un periodo de adaptación se desmodula parte de la señal de radio amplificada con el fin de obtener una señal compleja desmodulada que se compara con la señal compleja de entrada, con la que se asocia la señal compleja predistorsionada modulada durante dicho periodo de adaptación, con el fin de actualizar la tabla de predistorsión. La tabla de predistorsión se actualiza sobre la base de valores medios calculados a partir de bloques de muestras de la señal compleja de entrada y de la señal compleja desmodulada, que se almacenan durante el periodo de adaptación.

Por tanto, es deseable disponer de un sistema de calibración para uso en la fabricación de equipos de comunicaciones que ayude a 1) conseguir un comportamiento excelente/robusto del equipo de comunicaciones y 2) ahorrar tiempo y dinero.

Compendio

Se hace notar que los términos “comprende” y “que comprende”, cuando se usan en esta memoria descriptiva, se hace para especificar la presencia de particularidades, unidades, etapas o componentes descritos; pero el uso de estos términos no excluye la presencia o incorporación de particularidades, unidades, etapas o componentes adicionales.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, los objetos anteriores y otros se consiguen merced a métodos, aparatos e instrucciones programables almacenadas en medios que puedan leerse mediante máquinas que permiten determinar la predistorsión que compense la distorsión producida por un circuito de amplificación de potencia de acuerdo con las reivindicaciones 1, 16 y 31, respectivamente. Determinar la predistorsión comprende aplicar una señal de referencia variable en el tiempo en el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de referencia variable en el tiempo, a cada momento, una amplitud de referencia y una fase de referencia. Se mide una señal de salida correspondiente entregada por el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de salida, a cada momento, una amplitud medida y una fase medida. La predistorsión de amplitud se determina merced a la comparación de la amplitud de referencia con la amplitud medida. La predistorsión de fase se determina merced a la comparación de la fase de referencia con la fase medida. Se determina una relación entre la predistorsión de fase y la amplitud de referencia de modo que para cualquier valor de la amplitud de referencia se identifique un valor correspondiente de la predistorsión de fase. La predistorsión de amplitud se asocia con una gama de valores de amplitud medidos, y determinar la predistorsión comprende, además, extraer puntos representativos de la predistorsión de amplitud merced a la puesta en práctica de dividir la gama de valores de amplitud medidos en cierto número de intervalos; y, por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de amplitud medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido en el centro del intervalo.

La señal de referencia puede presentar cualquier forma, tal como una cuya amplitud de referencia sea una forma de onda en rampa, y la fase de referencia sea constante; una cuya amplitud de referencia sea una forma de onda en triángulo, y la fase de referencia sea constante; o una cuya señal de referencia presente amplitud y fase variables.

Tales realizaciones pueden comprender, también, interpolar entre dos valores de predistorsión de amplitud medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud de referencia que se encuentre entre los centros del primero y del segundo intervalos.

De acuerdo con todavía otro aspecto, la predistorsión de fase se asocia con una gama de valores de amplitud de referencia; y determinar la predistorsión comprende, además, extraer puntos representativos de la predistorsión de fase merced a la puesta en práctica de dividir la gama de valores de amplitud de referencia en cierto número de intervalos; y, por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de fase medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia en el centro del intervalo.

Tales realizaciones pueden comprender, también, interpolar entre dos valores de predistorsión de fase medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia que se encuentre entre los centros del primero y del segundo intervalos.

De acuerdo con todavía otro aspecto, antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida, se identifican una o más depresiones en la amplitud de referencia y en la amplitud medida. La amplitud de referencia y la amplitud medida se alinean con respecto al tiempo merced al desplazamiento relativo entre la amplitud de referencia y la amplitud medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la amplitud de referencia con las depresiones correspondientes de la amplitud medida.

De acuerdo con todavía otro aspecto, antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, se identifican una o más depresiones en la fase de referencia y en la fase medida. Luego, la fase de referencia y la fase medida se alinean con respecto al tiempo merced al desplazamiento relativo entre la fase de referencia y la fase medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la fase de referencia con las depresiones correspondientes de la fase medida.

En realizaciones alternativas, antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida se alinean ambas con respecto al tiempo en proporción que permita minimizar la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de amplitud asociados con cualquier valor de referencia de amplitud.

En algunas realizaciones, la dispersión se determina merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo y el máximo de los valores de predistorsión de amplitud asociados con el valor de referencia de amplitud.

Alternativamente, determinar la dispersión lleva consigo determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud; determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; determinar el valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud; determinar el valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; y determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de amplitud.

De acuerdo con todavía otro aspecto, antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, ambas se alinean en relación con el tiempo en proporción que permita minimizar la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de fase asociados con cualquier valor de referencia de amplitud. De nuevo, ello puede realizarse de distintas maneras. Por ejemplo, la dispersión puede determinarse merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo de los valores de predistorsión de fase asociados con el valor de referencia de amplitud y el máximo de los valores de predistorsión de fase asociados con el valor de referencia de amplitud. Alternativamente, se determinan el grupo de valores de predistorsión de fase más altos y más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud. Se determina el valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más altos asociados con el valor de referencia de amplitud, y se determina el valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud. Determinar la dispersión se consigue, entonces, merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de fase.

Breve descripción de los dibujos

Los objetos y las ventajas de la invención se entenderán a partir de la lectura de la descripción detallada que sigue, conjuntamente con los dibujos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un enfoque basado en tablas de búsqueda (TB) para generar y aplicar predistorsión en un amplificador de potencia polar.

La figura 2 muestra la manera en que se configura la disposición de la figura 1 para que pueda caracterizarse la distorsión del amplificador de potencia.

La figura 3 es un gráfico que representa, para un módulo de amplificación de potencia típico, una comparación entre una forma de onda en triángulo o en rampa aplicada, usada como señal de referencia de MA, y la salida de MA medida, una vez alineadas las dos señales con respecto al tiempo.

La figura 4 es un gráfico de la información representada en la figura 3, pero previsto de modo que la MA_{ref} se encuentre en el eje vertical (es decir, de ordenadas) y la MA_{med} en el eje horizontal (es decir, de abcisas).

La figura 5 es un gráfico que representa la predistorsión de MA (es decir, la relación entre MA_{pre} y MA_{med}) del amplificador de potencia usado en estos ejemplos.

La figura 6 es un gráfico que representa, para un módulo de amplificador de potencia típico, una comparación entre una señal de referencia de fase constante aplicada y la fase medida de una señal de RF a la salida del módulo de amplificación de potencia.

ES 2 306 221 T3

La figura 7 es un gráfico que muestra la predistorsión de MF, es decir, la relación entre la señal MF_{pre} y la señal MA_{ref} , para un amplificador de potencia ilustrativo.

La figura 8 es un diagrama En-fase/Cuadratura (EF/C) de una señal con modulación EDGE.

La figura 9 es un gráfico que muestra las características espectrales de una señal con modulación EDGE.

La figura 10 es un gráfico que muestra una curva de predistorsión de MA ruidosa ilustrativa, generada por medio del método del triángulo.

La figura 11a es un gráfico de resultados ilustrativos obtenidos por aplicación del algoritmo de extracción a los datos ruidosos representados en la figura 10.

La figura 11b es un gráfico que muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-32$) del gráfico representado en la figura 10.

La figura 12 es un gráfico que muestra resultados ilustrativos de la línea de interpolación lineal aplicada a los puntos generados mediante el algoritmo de extracción.

La figura 13 es una curva de predistorsión de MA ilustrativa generada mediante el método de modulación, usándose una señal con modulación EDGE a modo de señal de referencia.

La figura 14 es una curva de predistorsión de MF ilustrativa generada mediante el método de modulación, usándose una señal con modulación EDGE a modo de señal de referencia.

La figura 15a es un gráfico ilustrativo que muestra los resultados de aplicar el algoritmo de extracción a los datos de predistorsión de MA representados en la figura 13.

La figura 15b es un gráfico que muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-33$) del gráfico representado en la figura 13.

La figura 16a es un gráfico ilustrativo que muestra los resultados de aplicar el algoritmo de extracción a los datos de predistorsión de MF representados en la figura 14.

La figura 16b es un gráfico que muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-33$) del gráfico representado en la figura 14.

La figura 17a muestra un gráfico que representa la parte de MA de una señal de referencia EDGE y otro gráfico que representa la parte de MA medida de la salida cuando se usa una configuración tal como la mostrada en la figura 2.

La figura 17b es un diagrama de flujo de un proceso ilustrativo para poner en práctica la técnica de las depresiones para alinear señales de referencia y medida.

Las figuras 18a, 18b y 18c incluyen, cada una, un gráfico de dispersión de fase ($MF_{med}-MF_{ref}$) de una señal (por ejemplo, una señal con modulación EDGE), representado en función de MA_{ref} , para valores de alineación en el tiempo diferentes, respectivamente.

La figura 19 es un diagrama de flujo que representa un proceso global ilustrativo para generar valores de tabla de búsqueda de predistorsión para un amplificador de potencia a prueba.

Las figuras 20a y 20b son gráficos que muestran el tipo de desplazamiento de curva puesto en práctica en una realización ilustrativa de la invención.

Descripción detallada

Las distintas particularidades de la invención se describirán ahora con referencia a las figuras, en las que partes similares se identifican con los mismos caracteres de referencia.

Los distintos aspectos de la invención se describirán ahora con mayor detalle en relación con algunas realizaciones ilustrativas. Con el fin de facilitar la comprensión de la invención, muchos aspectos de la misma se describen en términos de secuencias de acciones a realizar mediante elementos de un sistema de ordenador. Resultará evidente que en cada una de las realizaciones las distintas acciones podrían realizarse mediante circuitos especializados (por ejemplo, puertas lógicas discretas interconectadas con el fin de realizar una función especializada), mediante instrucciones de programa ejecutadas por uno o más procesadores, o mediante una combinación de ambos. Por otro lado, además, la invención puede considerarse incorporada completamente en cualquier forma de soporte informático, tal como una memoria de semiconductores, un disco magnético, un disco óptico o una onda portadora (tal como ondas portadoras de frecuencia de radio, frecuencia de audio o frecuencia óptica) que contenga un grupo apropiado de instrucciones de ordenador que hagan que un procesador ejecute las técnicas descritas en esta memoria. Así, los distintos aspectos de la

ES 2 306 221 T3

invención pueden incorporarse de muchas formas diferentes, y se contempla que todas ellas queden dentro del alcance de la invención. Por cada uno de los distintos aspectos de la invención, cualquiera de tales formas de realización puede denominarse en este documento “lógica configurada para” realizar una acción descrita, o, alternativamente, “lógica que” realice una acción descrita.

Las distintas realizaciones ilustrativas descritas en este documento tratan cierto número de problemas relacionados con la predistorsión asociada con los amplificadores de potencia, y evitan, al mismo tiempo, la necesidad de un proceso iterativo de medición/análisis durante la fabricación. Un aspecto de estas realizaciones asociado con esta mejora consiste en el enfoque en las razones de la degradación del comportamiento del sistema (es decir, MA/MA y MA/MF) y no en el comportamiento del sistema en sí.

Diversas realizaciones descritas en lo que sigue son “óptimas” desde cierto punto de vista porque tienen como objetivo reducir las distorsiones MA/MA y MA/MF. Además, estas realizaciones funcionan rápidamente porque no dependen de técnicas iterativas de medición/análisis. Por otro lado, se describen técnicas de “extracción” que hacen factible la realización práctica de la predistorsión incluso en el caso de resultados de medición ruidosos y/o modulados. Estos y otros aspectos de la invención se describirán ahora con mayor detalle.

Existen distintos modos en que puede aplicarse predistorsión, en función de la arquitectura de banda de base y del tipo de solución de transmisor (o tranceptor) de la radio. Para ilustrar diversos aspectos de la invención los ejemplos descritos en este documento usan tablas de búsqueda (TB) para generar y aplicar la predistorsión. Pero la invención no se limita a tales realizaciones. Además, en este documento, las descripciones y los ejemplos enfocan una situación en la que el transmisor es de tipo de modulación polar. La figura 1 es un diagrama de bloques de una disposición 100 a base de TB para generar y aplicar predistorsión en una señal que tenga que amplificarse mediante un amplificador de potencia polar.

Las señales de entrada de MA y MF de referencia se denominan en este documento MA_{ref} y MF_{ref} , respectivamente, y son generadas mediante un generador de forma de onda (GFO) (no mostrado). La señal MA_{ref} es entregada en una trayectoria de MA de la disposición 100. De manera similar, la señal MF_{ref} es entregada en una trayectoria de MF de la disposición 100. La trayectoria de MA genera una señal de predistorsión de amplitud MA_{pre} , que es entregada en una entrada de control de envolvente de un amplificador de potencia polar 101. La trayectoria de MF genera una señal de predistorsión de fase MF_{pre} , que variará la fase de una señal de RF entregada en una entrada de RF del amplificador de potencia 101. El amplificador de potencia 101 incluye un modulador 103 que usa la señal MA_{sal} para controlar la amplitud de la señal de salida generada por el amplificador de potencia 101. El amplificador de potencia 101 incluye, también, una parte de “núcleo” 105, destinada a amplificar la potencia de una señal de RF de entrada entregada.

La trayectoria de RF incluye una TB 107 de predistorsión MA/MA, que recibe la señal MA_{ref} y, genera, a partir de ella, una señal de predistorsión MA_{pre} , entregada a su salida. El circuito de combinación 109 combina la señal de predistorsión de MA, MA_{pre} , con la señal de referencia de MA original, MA_{ref} , de manera que la señal de salida, MA_{sal} , entregada a la salida del circuito de combinación 109 (y que representa la salida de la trayectoria de MA) sea la suma de la señal MA_{ref} y la señal MA_{pre} , de acuerdo con la expresión:

$$MA_{sal} = MA_{ref} + MA_{pre}(MA_{ref}) \quad (1)$$

en la que $MA_{pre}(MA_{ref})$ indica el valor MA_{pre} como función de la señal MA_{ref} .

MA_{sal} es la señal de MA predistorsionada que cumple la función de señal entregada a la entrada de control de envolvente del amplificador polar 101.

La señal MA_{sal} es entregada, también, a una TB 111 de predistorsión MA/MF, que, a partir de ella, genera una señal de predistorsión de MF, MF_{pre} , entregada a su salida. El circuito de combinación 113 combina la señal de predistorsión de MF, MF_{pre} , con la señal de referencia de MF original, MF_{ref} , de modo que la señal de salida, MF_{sal} , entregada a la salida del circuito de combinación 113 (y que representa la salida de la trayectoria de MF) sea la suma de la señal MF_{ref} y la señal MF_{pre} , de acuerdo con:

$$MF_{sal} = MF_{ref} + MF_{pre}(MA_{sal}) \quad (2)$$

MF_{sal} es la información de fase predistorsionada entregada en la entrada de RF del amplificador de potencia 101 por medio del modulador de fase 115 del transmisor de RF. Podrá notarse que la señal MF_{pre} es función de la señal MA_{sal} , cuya función se indica mediante la notación $MF_{pre}(MA_{sal})$.

A continuación se describirán técnicas para determinar los contenidos de las dos tablas de búsqueda 107, 111 que generan las señales MA_{pre} y MF_{pre} , respectivamente. Se describirán dos realizaciones diferentes, que, en este documento, se denominarán “método de onda triangular” y “método de modulación”.

La figura 2 muestra el modo de configurar la disposición de la figura 1 con el fin de permitir que pueda caracterizarse la distorsión del amplificador de potencia. Esencialmente, tanto la TB 107 de predistorsión MA/MA como la TB 111 de predistorsión MA/MF están inhabilitadas. En consecuencia, $MA_{sal} = MA_{ref}$ y $MF_{sal} = MF_{ref}$.

ES 2 306 221 T3

Considérense primero las realizaciones que emplean el método de la onda triangular, en el que, como el propio nombre indica, se usa una onda triangular o rampa lineal a modo de señal de referencia, MA_{ref} , para la modulación de amplitud. La señal de referencia de fase, MF_{ref} , se ajusta de modo que sea constante.

5 De acuerdo con la figura 1, de nuevo, la trayectoria de MA puede describirse como:

$$MA_{med} = MA_{sal} + H_{MAMA}\{MA_{sal}\} \quad (3)$$

10 siendo H_{MAMA} la función que genera la distorsión MA/MA en el amplificador de potencia 101. Para estudiar el efecto de la predistorsión, puede evaluarse la ecuación (3) usando la ecuación (1), que ofrece

$$MA_{med} = MA_{ref} + MA_{pre} + H_{MAMA}\{MA_{sal}\} \quad (4)$$

15 Resulta claro a partir de la ecuación (4) que seleccionando

$$MA_{pre} = -H_{MAMA}\{MA_{sal}\} \quad (5)$$

20 se obtiene como resultado $MA_{med} = MA_{ref}$ en el circuito de la figura 1, lo que permite compensar la distorsión de MA producida por el amplificador de potencia 101.

25 Para determinar la predistorsión de MA que debe usarse, comparamos la MA_{med} (es decir, la envolvente de RF medida a la salida del módulo de amplificación de potencia), con la MA_{ref} (es decir, la señal de referencia de MA). El resultado, en el caso de un amplificador de potencia típico, una vez alineadas las dos señales en relación con el tiempo, puede tener el aspecto mostrado en el gráfico de la figura 3.

30 Estas curvas muestran la relación entre MA_{med} y MA_{ref} . Se desea conocer la MA_{ref} que tiene que usarse con el fin de obtener cierta MA_{med} , de modo que resulta útil disponer la información como se muestra en el gráfico de la figura 4, en el que MA_{ref} se encuentra en el eje vertical (es decir, de ordenadas) y MA_{med} en el eje horizontal (es decir, de abscisas).

35 Ahora puede calcularse la predistorsión de amplitud. Usando las ecuaciones (3) y (5), y recordando que $MA_{sal} = MA_{ref}$ durante la fase de caracterización de la predistorsión, se obtiene:

$$MA_{pre} = MA_{ref} - MA_{med} \quad (6)$$

40 La figura 5 es un gráfico que representa la predistorsión de MA (es decir, la relación entre MA_{pre} y MA_{med}) del amplificador de potencia usado en estos ejemplos.

45 Una segunda parte de la técnica de caracterización de la predistorsión determina la predistorsión de MF que tiene que usarse en la TB 111 de predistorsión MA/MF. Como se ha mencionado anteriormente, el método de la onda triangular usa una onda triangular, o una rampa lineal, a modo de señal de referencia para la modulación de amplitud. Pero la señal de referencia de fase se ajusta de manera que sea constante.

50 Con respecto a la figura 1, la relación entrada-salida de la trayectoria de MF puede expresarse como

$$MF_{med} = MF_{sal} + H_{MAMF}\{MA_{sal}\} \quad (7)$$

55 en la que H_{MAMF} es la función que produce la distorsión MA/MF. Al evaluar la ecuación (7) usando la ecuación (2) se obtiene

$$MF_{med} = MF_{ref} + MF_{pre} + H_{MAMF}\{MA_{sal}\} \quad (8)$$

en la que resulta claro que seleccionando

$$55 \quad MF_{pre} = -H_{MAMF}\{MA_{sal}\} \quad (9)$$

se obtiene como resultado $MF_{med} = MF_{ref}$, consiguiéndose así el propósito deseado de compensar la distorsión de fase.

60 Para encontrar el valor de predistorsión de MF que tiene que usarse, la señal MF_{med} (es decir, la fase de la señal de RF medida a la salida del módulo de amplificación de potencia) se compara con la señal MF_{ref} (es decir, la señal de referencia de fase). Para un amplificador de potencia típico, el resultado puede tener el aspecto mostrado en el gráfico de la figura 6.

65 Ahora puede calcularse la predistorsión de fase. Usando las ecuaciones (7) y (9) y recordando que $MF_{sal} = MF_{ref}$ durante la caracterización, se obtiene

$$MF_{pre} = MF_{ref} - MF_{med} \quad (10)$$

ES 2 306 221 T3

La figura 7 es un gráfico que muestra la predistorsión de MF, es decir, la relación entre la señal MF_{pre} y la señal MA_{ref} del amplificador de potencia usado en este ejemplo.

La invención se centrará ahora en una realización alternativa para determinar predistorsiones MA/MA y MA/MF adecuadas, la denominada en este documento “método de modulación”. Como el propio nombre indica, una señal modulada (por ejemplo, EDGE) se usa como señal de referencia en este caso en vez de la onda triangular. Una señal EDGE usa modulación $3\pi/8$ -8PSK. Ello significa que parte de la información se encuentra en la amplitud (envolvente) de la señal transmitida y parte se encuentra en la fase de la señal transmitida. En otros términos, se trata de una combinación de MA y MF. La figura 8 es un diagrama de una señal EDGE típica. Se observará que hay definidos puntos de constelación con distintas amplitudes y fases en el plano En-fase/Fase-en-cuadratura (EF/C).

La figura 9 muestra las características del espectro de potencia de una señal con modulación EDGE. El eje vertical muestra la densidad espectral de potencia (DEP), expresada en dB; y el eje horizontal es la diferencia de frecuencia con la portadora expresada en Hz. La curva de trazos muestra los requisitos de “espectro debido a modulación”.

En consecuencia, cuando una señal con modulación EDGE se aplique como señal de referencia en la configuración representada en la figura 2, existen dos señales a la entrada: una con la parte de información de amplitud EDGE y otra con la parte de información de fase EDGE. Los datos de medición a partir de los cuales se obtienen/generan las tablas de predistorsión, tienen un aspecto un tanto diferente en relación con los del caso de la “onda triangular”, pero, desde el punto de vista de la automatización, no hay diferencia entre el “método del triángulo” y el “método de modulación”. Además, el algoritmo usado durante la generación de entradas de TB puede ser el mismo, también, como podrá verse en la descripción que sigue.

Los resultados de predistorsión obtenidos por medio de cualquiera de las técnicas descritas en lo que antecede pueden usarse de diferentes maneras:

1. A modo de tabla de búsqueda, con puntos suficientes para una distorsión de cuantificación adecuada.
2. Con menos puntos e interpolación.
3. A modo de tabla a partir de la cual se genere un polinomio.

La descripción se centrará ahora en aspectos referidos al apartado 2.

Se desea que el proceso de caracterización del amplificador de potencia sea rápido, preciso y con poco ruido. Además, una vez determinadas las curvas de predistorsión necesarias, tienen que ser puestas en práctica en un sistema real con tamaños de tabla limitados. En consecuencia, la descripción se centrará ahora en medios y métodos que combinen caracterizaciones rápidas con tablas pequeñas.

Supongamos que una caracterización MA/MA generada mediante el método del triángulo ha dado como resultado la curva de predistorsión de MA de la figura 10, en la que la MA_{pre} determinada ha sido representada en función de MA_{med} . Es evidente que hay una cantidad significativa de ruido en la MA_{pre} determinada.

El ruido podría haberse reducido si se hubiera añadido al sistema de medición algún tipo de filtrado o determinación de promedios. Pero, la determinación de promedios lleva tiempo, y el tiempo es dinero, especialmente en la línea de fabricación, en la que cada segundo cuenta. Además, añadir (más) filtrado al equipo de medición requiere conocer lo que tenga que filtrarse, que no siempre es el caso. Lo mismo ocurre si se decide prever un filtrado digital posterior en el ordenador que realice las mediciones.

Así, de acuerdo con otro aspecto, se describirá ahora una técnica denominada en esta memoria de “extracción de datos” que determina, a partir de resultados ruidosos tales como los representados en la figura 10, un grupo de datos útiles para uso en las tablas de búsqueda que generen predistorsión (por ejemplo, las tablas de búsqueda representadas en la figura 1). Una realización ilustrativa de un proceso de “extracción de datos” se describe mediante las etapas siguientes:

1. Primero, encontrar el valor más alto en el eje de abscisas, $\max(x)$. Con los resultados mostrados en la figura 10, a modo de ejemplo, ello significa encontrar $\max(MA_{med})$, que es, aproximadamente, 0,45.
2. A continuación, dividir el eje de abscisas en cierto número de intervalos. Si se usa una tabla con E entradas, se usan E intervalos. La distancia entre centros de intervalos será $Paso = \max(x)/E$, o, de modo más general, $Paso = [\max(x) - \min(x)]/E$ (siempre que el valor mínimo de x no sea igual a cero).
3. Seleccionar un valor, *Inicio*, en el eje de abscisas, a partir del cual se empiece el tratamiento de señales. Decidir, también, el *TamañoDeIntervalo* que debe usarse. Los valores de estos dos parámetros tienen que seleccionarse de manera que el límite inferior del primer intervalo ($LímiteInferior = Inicio - TamañoDeIntervalo/2$) así como el límite superior del primer intervalo ($LímiteSuperior = Inicio + TamañoDeIntervalo/2$) puedan definirse sin llegar a valores no válidos. En otros términos, en este ejemplo, *Inicio* tiene que seleccionarse de manera que $LímiteInferior > \min(MA_{med})$ y $LímiteSuperior < \max(MA_{med})$. Si se define

ES 2 306 221 T3

una variable Mit como el valor en la mitad de un intervalo, ello significa que $Mit = Inicio$ en el intervalo en el que el proceso se inicie.

4. El tratamiento de señales se inicia determinando (y contando) las muestras de la señal medida que cumplan el criterio siguiente: $Inicio - TamañoIntervalo/2 < MA_{med} < Inicio + TamañoIntervalo/2$. Los resultados se guardan en un vector que, en este ejemplo, se denomina *Interesante*. Los elementos del vector *Interesante* incluyen el número de muestra (por ejemplo, la posición) de los pares $(x, y) = (MA_{med}, MA_{pre})$ de muestras que tengan que investigarse adicionalmente. La longitud del vector *Interesante* es el factor F de determinación de promedios que se usará durante la etapa 5.

5. Calcular el valor medio de MA_{pre} en cada intervalo i :

$$MA_{pre/med,i} = media\{MA_{pre|i}\} = suma\{MA_{pre|i}\}/F$$

6. Ya se ha calculado un valor medio ponderado de MA_{pre} en el intervalo i , y, por tanto, se ha separado un punto $(x_i, y_i) = (Mit_i, MA_{pre/med,i})$ por filtración.

7. Repetir las etapas 4-6 por cada uno de los intervalos.

A continuación se muestra un ejemplo de puesta en práctica del algoritmo de extracción mediante Matlab®:

```

%
NúmPasos=32
Xmáx=nivelMA; (establece amplitud máxima)
Paso=Xmáx/NúmPasos;
TamañoIntervalo=Xmáx/16;
LímiteInferior=Xmáx;
Interesante=[ ];
número_de_muestras_MApre=ceros(1,NúmPasos);
suma_MApre=ceros(1,NúmPasos);
Mit_antiguo=Xmáx+Paso;
para r=1:NúmPasos
    Mit_nuevo=Mit_antiguo-Paso;
    LímiteSuperior=Mit_nuevo+TamañoIntervalo/2;
    LímiteInferior=Mit_nuevo-TamañoIntervalo/2;
    Interesante=encontrar(MAmed>LímiteInferior & MAmed<LímiteSuperior);
    número_de_muestras_MApre(r)=longitud(Interesante);
    suma_MApre(r)=suma(MApre(mín(interresante):máx(interresante)));
    MApre32(r)=suma_MApre(r)/número_de_muestras_MApre(r);
    MAmed32(r)=Mit_nuevo;
    Mit_antiguo=Mit_nuevo;
fin
%
```

Las figuras 11a y 11b muestran un ejemplo en el que el algoritmo de extracción ha sido usado con los datos representados en la figura 10. En este caso se han usado 32 intervalos. La figura 11a muestra la curva MA_{pre} en función de MA_{med} (línea gris) original; y, también, los puntos $(x_i, y_i) = (Mit_i, MA_{pre/med,i})$ (puntos negros) generados mediante el algoritmo de determinación de promedios. La figura 11b muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-32$).

ES 2 306 221 T3

5 Cuando se usa una tabla de predistorsión en una aplicación, tiene que usarse algún tipo de interpolación para “llenar los espacios libres” entre un punto y el punto o los puntos contiguos más próximos a él. A modo de ejemplo, la figura 12 muestra el resultado de interpolación lineal (línea negra continua) aplicada a los puntos (puntos negros) generados mediante el algoritmo de extracción. Para facilitar la comparación, estos se incluyen, sobrepuestos, en la curva original MA_{pre} en función de MA_{med} (línea gris). Puede verse que el algoritmo de extracción puede generar una predistorsión significativa a partir de los resultados de medición ruidosos.

10 Cuando el método de modulación se usa para generar información de predistorsión, el algoritmo de extracción puede ser útil, de nuevo, para determinar el grupo de puntos que tengan que usarse para las tablas de búsqueda de predistorsión. Con el fin de apreciar mejor las ventajas, considérese un ejemplo en el que se use una señal con modulación EDGE con el método de modulación. En este caso, las dos señales de referencia, una para la parte de MA EDGE y otra para la parte de MF EDGE, respectivamente, presentan componentes de frecuencia en la zona de 1 MHz. La naturaleza de la señal EDGE hará que la relación entre el valor de referencia (por ejemplo, MA_{ref}) y el valor medido (por ejemplo, MA_{med}) sea variable. En consecuencia, las curvas de predistorsión de MA y MF tendrán el aspecto mostrado en las figuras 13 y 14, respectivamente. Resulta evidente que aun cuando se obtengan resultados no ruidosos con el método de modulación, existe una relación no funcional entre la predistorsión de MA a añadir y la predistorsión de MA. Por tanto, no existen grupos de puntos inmediatamente evidentes con los que construir tablas de búsqueda de predistorsión. Pero, el algoritmo de extracción puede clasificar todos estos datos para obtener puntos relevantes tanto de predistorsión de MA como de predistorsión de MF.

20 Ello se ilustra mediante la figura 15a, que consiste en un gráfico ilustrativo que muestra los resultados de aplicar el algoritmo de extracción a los datos de predistorsión de MA representados en la figura 13. Se representan, también, los resultados de interpolación lineal entre los puntos generados. La figura 15b es un gráfico que muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-33$) del gráfico representado en la figura 13.

25 De manera similar, la figura 16a es un gráfico ilustrativo que muestra los resultados de aplicar el algoritmo de extracción a los datos de predistorsión de MF representados en la figura 14. Se representan, también, los resultados de interpolación lineal entre los puntos generados. La figura 16b es un gráfico que muestra el factor F_i de determinación de promedios usado en cada intervalo respectivo ($i = 1-33$) del gráfico representado en la figura 14.

30 Como se ha explicado en lo que antecede, tanto el método del triángulo como el método de modulación llevan consigo comparar los resultados medidos con la señal de referencia aplicada. Para lograr los mejores resultados, esta comparación tiene que hacerse una vez alineadas las dos señales con respecto al tiempo. A continuación se presentarán distintas técnicas para alinear las señales de referencia y medida.

35 Una primera de estas técnicas se denomina en este documento “técnica de las depresiones”. Como el nombre sugiere, esta técnica usa las depresiones de MA o MF en la modulación (en función del tipo de modulación que se desee alinear) para encontrar la alineación óptima. A modo de ejemplo, la figura 17a muestra un gráfico 1701 que representa la parte de MF de una señal de referencia EDGE y otro gráfico 1703 que representa la parte de MF medida de la salida cuando se usa una configuración tal como la mostrada en la figura 2 (es decir, una configuración sin predistorsión). El objetivo de la técnica de las depresiones consiste en determinar el desplazamiento de tiempo que puede aplicarse a uno de los gráficos para alinear del mejor modo posible las depresiones evidentes en las señales respectivas.

40 La figura 17b es un diagrama de flujo de un proceso ilustrativo para llevar a cabo la técnica de las depresiones. El procedimiento puede iniciarse, por ejemplo, poniendo en práctica una alineación en el tiempo aproximada/poco precisa (por ejemplo, usando correlación matemática) (etapa 1751). El bloque 1751 de la figura 17b se representa con líneas de trazos para indicar que esta etapa es opcional.

45 La etapa siguiente consiste en encontrar todas las depresiones (los mínimos) en cada una de las dos curvas (es decir, la curva de referencia 1701 y la curva medida 1703, respectivamente) por debajo de cierto nivel (umbral) (etapa 1753). Es decir, se selecciona un valor umbral y todos los puntos de la curva que se encuentren por debajo del nivel de umbral se identifican como parte de una depresión. Por cada una de las depresiones en la curva de referencia (etapa de “selección” 1755 conjuntamente con el bloque de decisión 1761) se hace un intento de encontrar una depresión en la curva medida 1703 que pueda corresponder a la “depresión de referencia” de la curva de referencia 1701 (etapa 1757). Si se encuentra una depresión “medida” que parezca casar con la “depresión de referencia”, se tendrá un “par de depresiones”. La etapa siguiente será encontrar el desajuste de temporización entre cada par de depresiones (etapa 1759). Una vez analizadas todas las depresiones (trayectoria “NO” a partir del bloque de decisión 1761), se toma una decisión, finalmente, en relación con el ajuste de tiempo (Δt) necesario para alinear la curva medida y la curva de referencia (etapa 1763).

Una base posible para decidir un valor adecuado de Δt consiste en un valor medio:

$$65 \quad \Delta t_{med} = (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_{N-1} + \Delta t_N) / N,$$

suponiendo que se hayan encontrado N pares de depresiones. En un sistema de tiempo discreto, puede no ser posible conseguir exactamente el valor del desplazamiento indicado por Δt_{med} , al ser *éste* un número real. Así, si T_m es

ES 2 306 221 T3

el periodo de muestra, puede usarse $k_{med} \cdot T_m$ (siendo K_{med} un número entero) como aproximación de Δt_{med} . El valor de k_{med} puede determinarse como sigue:

$$k_{med} = \text{REDONDEO}(\Delta t_{med}/T_m),$$

siendo “REDONDEO(x)” una función que encuentra el valor entero más próximo al argumento x. El valor de k_{med} , entonces, indica el número de pasos de tiempo discretos al que corresponde el desplazamiento de tiempo ideal.

Una base alternativa para decidir un valor adecuado de Δt es una decisión de mayoría. Es decir, por cada par de depresiones, p, determina a cuántas muestras, k, corresponde el ajuste de tiempo. Si T_m es el periodo de muestra, puede escribirse $\Delta t_p = K_p \cdot T_m$ por cada par p de muestras. Una vez verificados todos los pares, el proceso determina el valor de k más común.

Una técnica alternativa para alinear las señales de referencia y medida se denomina en este documento “técnica de dispersión”. Esta técnica es muy precisa y lleva consigo analizar las distorsiones MA/MA y/o MA/MF. Cuando se usan señales tales como señales con modulación EDGE a modo de señales de referencia en el proceso de caracterización, siempre existirá cierta “dispersión” en estas curvas. Tal como se usa en este documento, el término “dispersión” se refiere a la diferencia entre un valor máximo de predistorsión requerida y un valor mínimo de predistorsión para cualquier valor de la señal de MA medida (en el caso de una curva de predistorsión de MA) o de la señal de referencia de MA (en el caso de una curva de predistorsión de MF). Véanse, por ejemplo, las figuras 13 y 14. A modo de ejemplo, considérese el punto de la curva de predistorsión de MA en el que la señal de MA medida (representada en unidades de “voltios”) tenga un valor igual a 0,5. En este caso, el valor mínimo de predistorsión de MA necesaria es de, aproximadamente, 0,03, y, el valor máximo, de, aproximadamente, 0,046. Por tanto, la dispersión en este punto es de $0,046 - 0,03 = 0,016$. Pueden realizarse cálculos similares con el fin de determinar la dispersión de otros valores de la señal MA medida, de modo que pueda generarse una curva que represente la dispersión de distintos valores de la señal de referencia de MA.

La magnitud de la dispersión que pueda encontrarse en una curva de predistorsión está relacionada con lo bien alineadas en el tiempo que estén las señales de referencia y medida cuando se genere la curva de predistorsión; cuanto mejor alineadas estén, menor será la dispersión. Esta propiedad puede ser usada para encontrar una alineación adecuada entre las señales de referencia y medida. El proceso lleva consigo desplazar metódicamente las curvas de referencia y medida entre sí y determinar el efecto resultante en la dispersión de la curva de predistorsión correspondiente. Si se muestrean las mediciones, puede considerarse óptimo un retardo de tiempo de Δt si satisface:

$$\text{Dispersión}(kT_m) < \text{Dispersión}((k - 1)T_m);$$

y

$$\text{Dispersión}(kT_m) < \text{Dispersión}((k + 1)T_m),$$

siendo k el número de muestras y T_m el periodo de muestra, y definiéndose la dispersión como:

$$\text{Dispersión}(MA_{ref}) = \text{máx}\{\text{Predist}(MA_{ref})\} - \text{mín}\{\text{Predist}(MA_{ref})\} \quad (11)$$

El efecto de la alineación en la dispersión del retardo se ilustra en las figuras 18a, 18b y 18c, cada una de las cuales incluye un gráfico de dispersión de fase ($MF_{med} - MF_{ref}$) de una señal (por ejemplo, una señal con modulación EDGE) en función de MA_{ref} para valores de alineación de tiempo diferentes, respectivamente. La figura 18a representa la situación ideal. En esta figura, la dispersión del retardo se muestra para tres valores de MA_{ref} , identificados como MA_{ref1} , MA_{ref2} y MA_{ref3} . En este caso, la dispersión mayor se encuentra en la proximidad de MA_{ref2} .

La figura 18b muestra lo que sucede con la dispersión del retardo cuando la señal medida y la señal de referencia no están alineadas con respecto al tiempo. En este caso puede verse que la dispersión (indicada mediante la longitud de la flecha doble) en MA_{ref1} es mayor que en el punto correspondiente del caso ideal (figura 18a).

La figura 18c muestra lo que sucede cuando el error de temporización empeora - la dispersión aumenta más, como se ilustra mediante la flecha doble todavía más larga en el punto MA_{ref1} , en comparación con las dispersiones correspondientes ilustradas en las figuras 18a y 18b.

En todavía otra alternativa, las funciones $\text{máx}\{\cdot\}$ y $\text{mín}\{\cdot\}$ se redefinen de modo que se reduzca el impacto del ruido de medición. Estas funciones se denominarán $\text{máx}_{RR}\{\cdot\}$ y $\text{mín}_{RR}\{\cdot\}$, respectivamente (indicando el subíndice “RR” Reducción de Ruido). Una realización ilustrativa de estas funciones y su uso se ilustra mediante las etapas siguientes:

1.

$$\text{Encontrar Predist}_{máx}(\Delta t) = \text{máx}\{\text{Predist}(\Delta t)\}$$

ES 2 306 221 T3

y

$$\text{Predist}_{\min}(\Delta t) = \min\{\text{Predist}(\Delta t)\},$$

5

usando las definiciones tradicionales de $\max\{\cdot\}$ y $\min\{\cdot\}$.

2. Calcular la dispersión como:

10

$$\text{Dispersión}(\Delta t) = \text{Predist}_{\max}(\Delta t) - \text{Predist}_{\min}(\Delta t)$$

3. Dividir la señal Predist en M intervalos en la dirección de la dispersión, siendo cada parte

15

$$L = \text{Dispersión}/M$$

4. Sean Predist_1 todos los valores en el intervalo 1: $\text{Predist}_{\min} - \text{Predist}_{\min} + L$

20

5. Sean Predist_M todos los valores en el intervalo M : $\text{Predist}_{\max} - L - \text{Predist}_{\max}$

6. Entonces, definir $\min_{RR}\{\cdot\}$, $\max_{RR}\{\cdot\}$ y Dispersión_{RR} como

25

$$\min_{RR} = \text{med}\{\text{Predist}_1\} \quad (12)$$

$$\max_{RR} = \text{med}\{\text{Predist}_M\} \quad (13)$$

$$\text{Dispersión}_{RR} = \max_{RR} - \min_{RR} \quad (14)$$

30

La ecuación (14) ofrecerá resultados más fiables que la ecuación (11) en entornos ruidosos porque utiliza promedios de un grupo de valores bajos y de un grupo de valores altos. Este efecto de filtrado puede ajustarse modificando el número M . Cuando se disminuye el valor de M se mejora el efecto de filtrado. Pero M debe establecerse lo bastante alto como para ofrecer la precisión requerida del parámetro Dispersión_{RR} .

35

Si se usan MA/MA y MA/MF para encontrar la mejor alineación y difieren, entonces, tienen que seleccionarse otros valores de alineación (es decir, retardos entre referencias de MA y MF).

40

Una vez descritos distintos aspectos de la invención, se describirá ahora un procedimiento global para generar valores de tabla de búsqueda de predistorsión para un amplificador de potencia a prueba, en relación con el diagrama de flujo de la figura 19. Ciertamente, se anticipa que este procedimiento tiene que llevarse a cabo mediante maquinaria/circuitería automatizada controlada mediante, por ejemplo, un procesador programable que ejecute un grupo adecuado de instrucciones.

45

El procedimiento empieza con la puesta en funcionamiento del amplificador de potencia/modulador de amplitud usando una señal de referencia, MA_{ref} , mediante una configuración tal como la mostrada en la figura 2 (etapa 1901). Se miden las respuestas de amplitud (MA_{med}) y fase (MF_{med}) a la salida del amplificador de potencia, representándose las respuestas medidas como valores En-fase/Cuadratura (EF/C), o, alternativamente, como Fase y Amplitud (etapa 1903).

50

Las señales MA_{ref} y MA_{med} tienen que ajustarse de acuerdo con una razón, en el valor de referencia máximo, tal como 1:1 (etapa 1905). Es decir, los resultados se normalizan de manera que puedan representarse a la misma escala.

55

Los resultados de amplitud y fase se analizarán separadamente. Así, en el caso de que la respuesta medida se obtuviera en el modo de valores EF/C, éstos tienen que convertirse en valores Amplitud/Fase. Considerando, en primer lugar, el análisis de amplitud, las señales MA_{ref} y MA_{med} se alinean con respecto al tiempo (etapa 1907), usando cualquiera de entre algunas técnicas, tales como, con carácter no limitativo, las técnicas descritas en lo que antecede.

60

Se modifica la escala de los datos medidos con el fin de adaptarlos a una gama dinámica y una resolución determinadas de una representación de banda de base determinada (etapa 1909). Por ejemplo, si se usan 8-bits para representar números, los datos se cambian de escala con el fin de usar 256 niveles posibles (que varíen entre 0 y 255). Los valores de MA_{ref} se asocian, entonces, con valores correspondientes de MA_{med} (etapa 1911).

65

Luego, se seleccionan $M+1$ puntos en la curva MA_{ref} , y se pone en práctica el algoritmo de extracción (del modo descrito en lo que antecede) con el fin de generar $M+1$ valores de predistorsión (etapa 1913).

A continuación, los $M+1$ valores de predistorsión se almacenan en una tabla para uso como tabla de predistorsión MA/MA (etapa 1915).

ES 2 306 221 T3

Los valores de fase se tratan de manera similar. Empezando por la etapa 1917, las curvas MF_{ref} y MF_{med} se alinean con respecto al tiempo usando cualquiera de entre varias técnicas, tales como, con carácter no limitativo, las técnicas descritas en lo que antecede.

5 Luego, las señales de MF_{med} se desplazan en valor absoluto pero se conservan los datos relativos (etapa 1919). Las figuras 20a y 20b ilustran el tipo de desplazamiento realizado durante esta etapa. La figura 20a es un gráfico de MF_{med} en función del tiempo antes de realizarse desplazamiento alguno. MF_{ref} es constante en el tiempo, y, en este ejemplo, se ha ajustado a cero grados. La mayor diferencia entre la fase medida y la fase de referencia es $y = MF_{med,máx1}$, y la menor diferencia es $MF_{med,mín}$. Sin desplazamiento, la señal de predistorsión se extendería entre 0 y $MF_{med,máx1}$.

10 La figura 20b representa los datos de la figura 20a desplazados hacia abajo en $MF_{med,mín}$, lo que permite que sea usada la resolución de la banda de base de modo más efectivo. Ello es debido a que la señal de predistorsión solamente tiene que extenderse entre 0 e $y_2 = MF_{med,máx2} = MF_{med,máx1} - MF_{med,mín}$.

15 Volviendo ahora a la figura 19, se han seleccionado, entonces, L+1 puntos de la curva MA_{ref} , y se pone en práctica el algoritmo de extracción (del modo descrito en lo que antecede) con el fin de generar L+1 valores de predistorsión (etapa 1921).

20 Los L+1 valores de predistorsión se guardan en una tabla para su uso como tabla de predistorsión MA/MF (etapa 1923).

Las técnicas descritas en este documento permiten una rápida calibración de la predistorsión de amplificadores de potencia, permitiendo la fabricación económica de, por ejemplo, transmisores que dispongan de amplificadores de potencia-moduladores con variación de muestra. Estas técnicas permiten también una predistorsión precisa de una etapa y la generación de una tabla de búsqueda que incluye extraer y suavizar. El uso de estas técnicas da lugar a un comportamiento excelente de la modulación (a saber, Magnitud de vector de error y Razón de potencia de canal adyacente), y relaja los requisitos del amplificador de potencia en relación con las distorsiones MA/MA y MA/MF.

30 La invención ha sido descrita con referencia a realizaciones particulares. Pero, resultará evidente a los expertos en la técnica que la invención puede incorporarse de formas específicas distintas a las de las realizaciones descritas en lo que antecede.

35 Por ejemplo, las realizaciones de diversos tipos ilustradas han supuesto una estación móvil que use 1) una arquitectura de radio con modulación polar; y 2) predistorsión mediante tablas de búsqueda. Pero las técnicas son aplicables, también, a otros tipos de sistemas (por ejemplo, arquitecturas de radio lineales, predistorsión mediante polinomios y similares).

40 Así, las realizaciones descritas son simplemente ilustrativas y no deben considerarse limitativas en modo alguno. El alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas, en vez de mediante la descripción precedente, y se pretende incluir en él todas las variaciones y equivalentes que caigan dentro del alcance de las reivindicaciones.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un método para determinar la predistorsión que permita compensar la distorsión producida por un circuito de amplificación de potencia, comprendiendo el método:

aplicar (1901) una señal de referencia variable en el tiempo en el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de referencia variable en el tiempo, a cada momento, una amplitud de referencia y una fase de referencia;

10 medir (1903) una señal de salida correspondiente entregada por el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de salida, a cada momento, una amplitud medida y una fase medida;

15 determinar la predistorsión de amplitud merced a la comparación de la amplitud de referencia con la amplitud medida;

determinar la predistorsión de fase merced a la comparación de la fase de referencia con la fase medida; y

20 determinar una relación entre la predistorsión de fase y la amplitud de referencia de manera que, para cualquier valor de amplitud de referencia, se identifique un valor correspondiente de predistorsión de fase,

caracterizado porque

25 la predistorsión de amplitud se asocia con una gama de valores de amplitud medidos; y porque

el método comprende, además, extraer (1913) puntos representativos de la predistorsión de amplitud, merced a la puesta en práctica de:

30 dividir la gama de valores de amplitud medidos en cierto número de intervalos; y

por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de amplitud medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido en el centro del intervalo.

35 2. El método de la reivindicación 1, en el que la amplitud de referencia consiste en una forma de onda en rampa, y la fase de referencia es constante.

40 3. El método de la reivindicación 1, en el que la amplitud de referencia consiste en una forma de onda en triángulo, y la fase de referencia es constante.

4. El método de la reivindicación 1, en el que la señal de referencia presenta amplitud variable y fase variable.

5. El método de la reivindicación 1, que, además, comprende:

45 interpolar entre dos valores de predistorsión de amplitud medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido que se encuentre entre los centros del primero y del segundo intervalos.

50 6. El método de la reivindicación 1, en el que:

la predistorsión de fase se asocia con una gama de valores de amplitud de referencia; y

55 el método comprende, además, extraer (1921) puntos representativos de la predistorsión de fase, merced a la puesta en práctica de:

dividir la gama de valores de amplitud de referencia en cierto número de intervalos; y

60 por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de fase medio y usarlo como valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia en el centro del intervalo.

7. El método de la reivindicación 6, que, además, comprende:

65 interpolar entre dos valores de predistorsión de fase medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia que se encuentre entre los centros del primero y del segundo intervalos.

ES 2 306 221 T3

8. El método de la reivindicación 1, que comprende:

antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida, poner en práctica:

5 identificar (1753) una o más depresiones en la amplitud de referencia;

 identificar (1753) una o más depresiones en la amplitud medida; y

10 alinear (1763) la amplitud de referencia y la amplitud medida con respecto al tiempo merced al desplazamiento relativo entre la amplitud de referencia y la amplitud medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la amplitud de referencia con las depresiones correspondientes de la amplitud medida.

9. El método de la reivindicación 1, que comprende:

15

antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, poner en práctica:

 identificar (1753) una o más depresiones en la fase de referencia;

20

 identificar (1753) una o más depresiones en la fase medida; y

 alinear (1763) la fase de referencia y la fase medida con respecto al tiempo merced al desplazamiento relativo entre la fase de referencia y la fase medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la fase de referencia con las depresiones correspondientes de la fase medida.

25

10. El método de la reivindicación 1, que comprende:

30 antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida, alinear la amplitud de referencia y la amplitud medida con respecto al tiempo en una cantidad que minimice la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de amplitud asociados con cualquier valor de referencia de amplitud.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende:

35 determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo y el máximo de los valores de predistorsión de amplitud asociados con el valor de referencia de amplitud.

12. El método de la reivindicación 10, que comprende:

40 determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

 determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud;

45 determinar un valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

50 determinar un valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; y

 determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de amplitud.

55

13. El método de la reivindicación 1, que comprende:

60 antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, alinearlas con respecto al tiempo en proporción que permita minimizar la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de fase asociados con cualquier valor de referencia de amplitud.

14. El método de la reivindicación 13, que comprende:

65 determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo y el máximo de los valores de predistorsión de fase asociados con el valor de referencia de amplitud.

ES 2 306 221 T3

15. El método de la reivindicación 13, que comprende:

determinar el grupo de valores de predistorsión de fase más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

5 determinar el grupo de valores de predistorsión de fase más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud;

determinar el valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

10 determinar el valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; y

determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de fase.

15 16. Un aparato para determinar la predistorsión que permita compensar la distorsión producida por un circuito de amplificación de potencia, comprendiendo el aparato:

20 lógica que aplica una señal de referencia variable en el tiempo en el circuito amplificador de potencia (101), presentando la señal de referencia variable en el tiempo, a cada momento, una amplitud de referencia (MA_{ref}) y una fase de referencia (MF_{ref}),

25 lógica que mide una señal de salida correspondiente entregada por el circuito amplificador de potencia (101), presentando la señal de salida, a cada momento, una amplitud medida (MA_{med}) y una fase medida (MF_{med}),

lógica (107) que determina la predistorsión de amplitud (MA_{pre}) merced a la comparación de la amplitud de referencia con la amplitud medida;

30 lógica (111) que determina la predistorsión de fase (MF_{pre}) merced a la comparación de la fase de referencia con la fase medida; y

lógica que permite determinar una relación entre la predistorsión de fase y la amplitud de referencia de manera que, para cualquier valor de la amplitud de referencia, se identifique un valor correspondiente de la predistorsión de fase,

35 **caracterizado** porque

la predistorsión de amplitud se asocia con una gama de valores de amplitud medidos; y porque

40 el aparato comprende, además, lógica que permite extraer puntos representativos de la predistorsión de amplitud, merced a la puesta en práctica de:

dividir la gama de valores de amplitud medidos en cierto número de intervalos; y

45 por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de amplitud medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido en el centro del intervalo.

17. El aparato de la reivindicación 16, en el que la amplitud de referencia consiste en una forma de onda en rampa y la fase de referencia es constante.

50 18. El aparato de la reivindicación 16, en el que la amplitud de referencia consiste en una forma de onda en triángulo y la fase de referencia es constante.

19. El aparato de la reivindicación 16, en el que la señal de referencia presenta amplitud variable y fase variable.

55 20. El aparato de la reivindicación 16, que, además, comprende:

60 lógica que permite interpolar entre dos valores de predistorsión de amplitud medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido entre los centros del primero y del segundo intervalos.

21. El aparato de la reivindicación 16, en el que:

la predistorsión de fase se asocia con una gama de valores de amplitud de referencia; y

65 el aparato comprende, además, lógica que permite extraer puntos representativos de la predistorsión de fase, merced a la puesta en práctica de:

dividir la gama de valores de amplitud de referencia en cierto número de intervalos; y

ES 2 306 221 T3

por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de fase medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia en el centro del intervalo.

22. El aparato de la reivindicación 21, que, además, comprende:

lógica que permite interpolar entre dos valores de predistorsión de fase medios asociados, respectivamente, con un primero y un segundo intervalos adyacentes con el fin de determinar un valor de predistorsión de fase asociado con un valor de amplitud de referencia que se encuentre entre los centros del primero y del segundo intervalos.

23. El aparato de la reivindicación 16, que, además, comprende:

lógica que, antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida, permite poner en práctica:

identificar una o más depresiones en la amplitud de referencia;

identificar una o más depresiones en la amplitud medida; y

alinear la amplitud de referencia y la amplitud medida con respecto al tiempo merced al desplazamiento relativo entre la amplitud de referencia y la amplitud medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la amplitud de referencia con las depresiones correspondientes de la amplitud medida.

24. El aparato de la reivindicación 16, que comprende:

lógica que, antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, permite poner en práctica:

identificar una o más depresiones en la fase de referencia;

identificar una o más depresiones en la fase medida; y

alinear la fase de referencia y la fase medida con respecto al tiempo, merced al desplazamiento relativo entre la fase de referencia y la fase medida en un valor que permita alinear de la mejor manera las depresiones de la fase de referencia con las depresiones correspondientes de la fase medida.

25. El aparato de la reivindicación 16, que comprende:

lógica, que, antes de comparar la amplitud de referencia con la amplitud medida, permite alinear la amplitud de referencia y la amplitud medida, con respecto al tiempo, en proporción que minimice la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de amplitud asociados con cualquier valor de referencia de amplitud.

26. El aparato de la reivindicación 25, que comprende:

lógica, que permite determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo y el máximo de los valores de predistorsión de amplitud asociados con el valor de referencia de amplitud.

27. El aparato de la reivindicación 25, que comprende:

lógica que permite determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

lógica que permite determinar el grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud;

lógica que permite determinar el valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

lógica que permite determinar el valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de amplitud merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de amplitud más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; y

lógica que permite determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de amplitud.

28. El aparato de la reivindicación 16, que comprende:

lógica, que, antes de comparar la fase de referencia con la fase medida, permite alinear la fase de referencia y la fase medida, con respecto al tiempo, en proporción que permita minimizar la dispersión entre una pluralidad de valores de predistorsión de fase asociados con cualquier valor de referencia de fase.

ES 2 306 221 T3

29. El aparato de la reivindicación 28, que comprende:

lógica que permite determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el mínimo y el máximo de los valores de predistorsión de fase asociados con el valor de referencia de amplitud.

5

30. El aparato de la reivindicación 28, que comprende:

lógica que permite determinar el grupo de valores de predistorsión de fase más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

10

lógica que permite determinar el grupo de valores de predistorsión de fase más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud;

lógica que permite determinar el valor máximo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más altos asociados con el valor de referencia de amplitud;

15

lógica que permite determinar el valor mínimo con ruido reducido de los valores de predistorsión de fase merced a la determinación del promedio del grupo de valores de predistorsión de fase más bajos asociados con el valor de referencia de amplitud; y

20

lógica que permite determinar la dispersión merced a la determinación de la diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo, con ruido reducido, de los valores de predistorsión de fase.

31. Un medio de almacenamiento automatizado que permite guardar un grupo de instrucciones de programa destinadas a determinar la predistorsión que compense la distorsión producida por un circuito de amplificación de potencia, haciendo el grupo de instrucciones de programa que un procesador y lógica asociada pongan en práctica:

25

aplicar una señal de referencia variable en el tiempo en el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de referencia variable en el tiempo, a cada momento, una amplitud de referencia y una fase de referencia;

30

medir una señal de salida correspondiente entregada por el circuito de amplificación de potencia, presentando la señal de salida, a cada momento, una amplitud medida y una fase medida;

determinar la predistorsión de amplitud merced a la comparación de la amplitud de referencia con la amplitud medida;

35

determinar la predistorsión de fase merced a la comparación de la fase de referencia con la fase medida; y

determinar una relación entre la predistorsión de fase y la amplitud de referencia de manera que, para cualquier valor de la amplitud de referencia, se identifique un valor correspondiente de la predistorsión de fase,

40

caracterizado porque

la predistorsión de amplitud se asocia con una gama de valores de amplitud medidos; y porque

45

el grupo de instrucciones de programa comprende, además, extraer puntos representativos de la predistorsión de amplitud, merced a la puesta en práctica de:

dividir la gama de valores de amplitud medidos en cierto número de intervalos; y

50

por cada uno de los intervalos, determinar un valor de predistorsión de amplitud medio y usarlo a modo de valor de predistorsión de amplitud asociado con un valor de amplitud medido en el centro del intervalo.

55

60

65

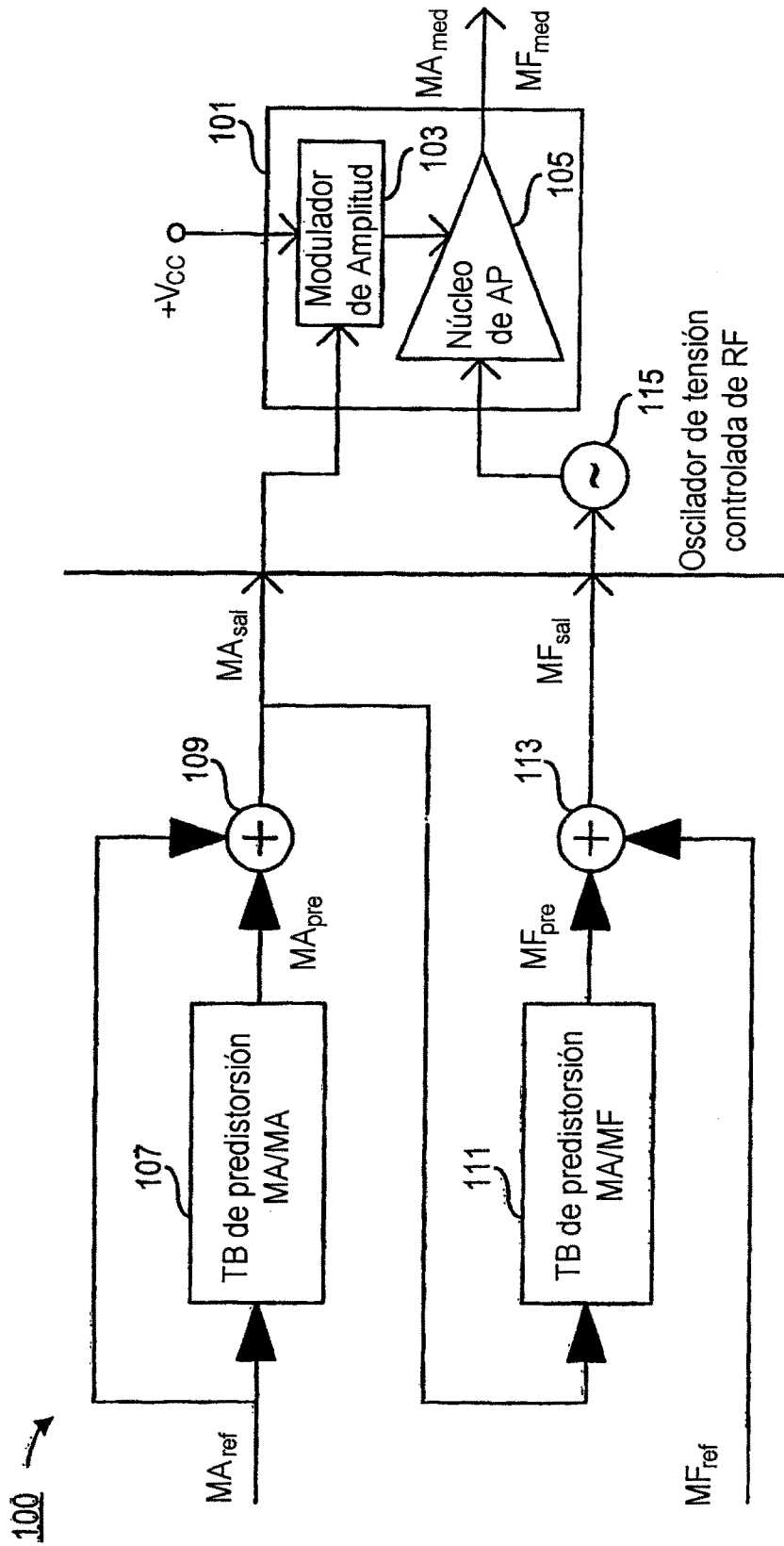


FIG. 1

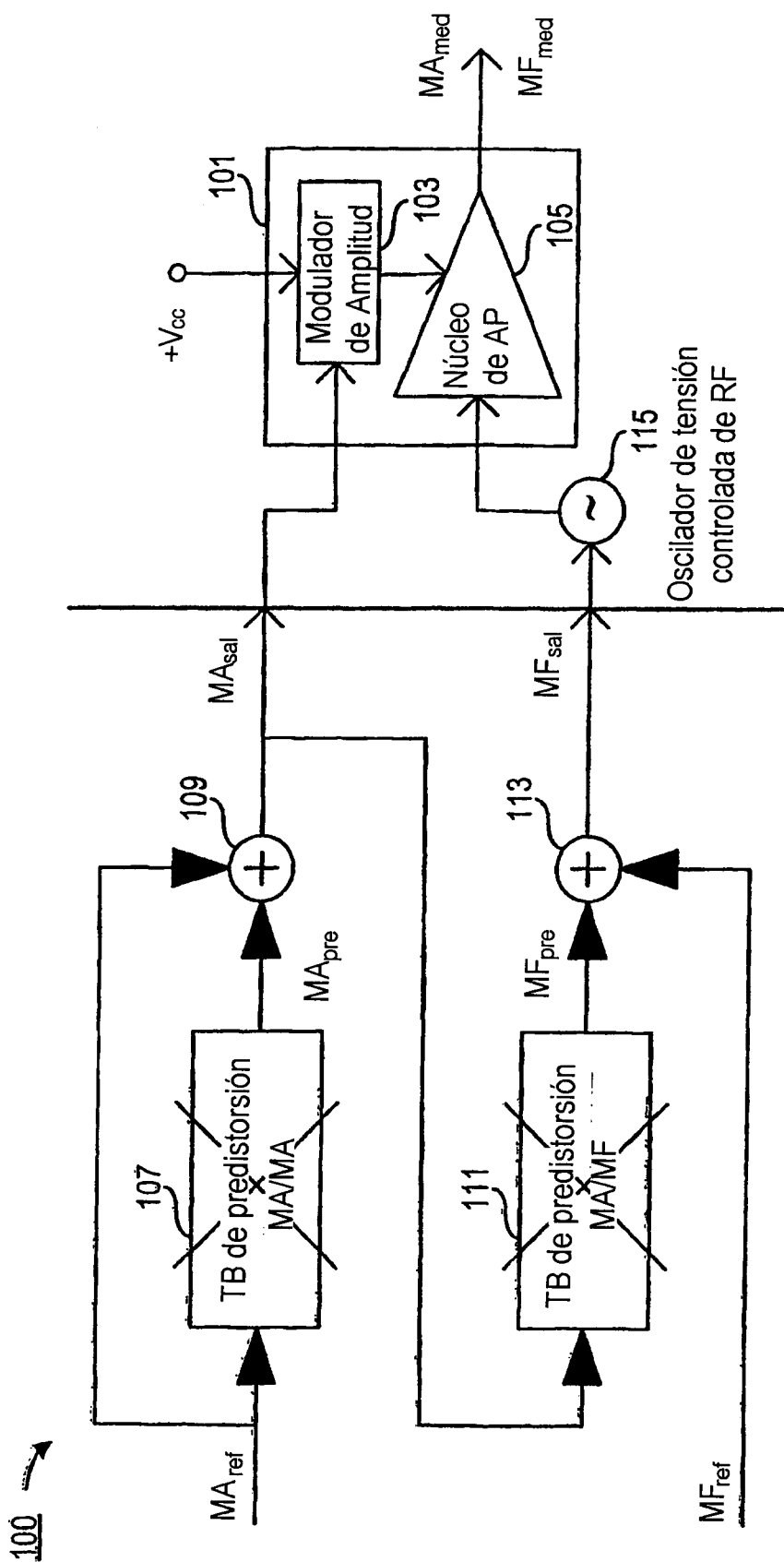


FIG. 2

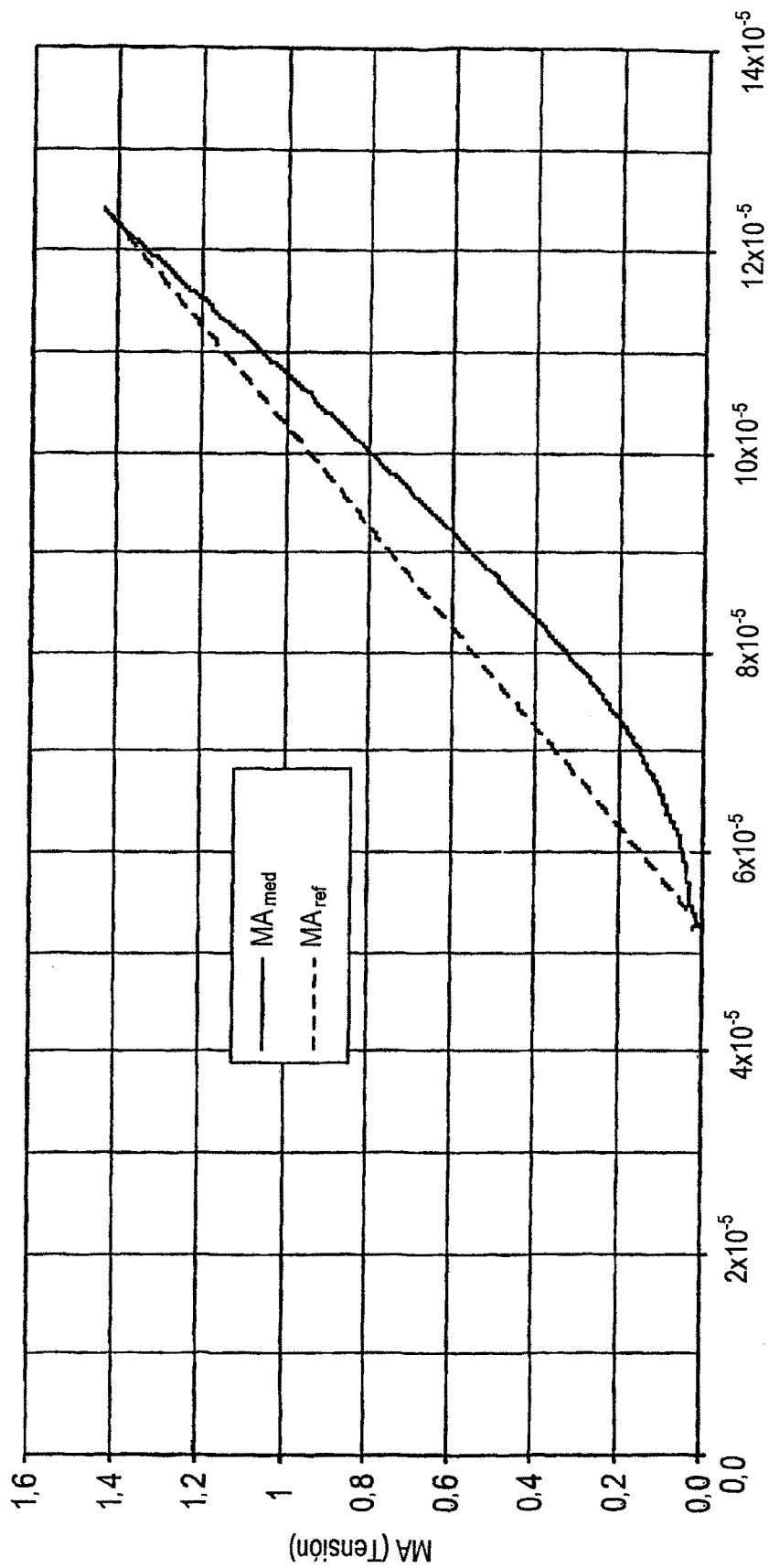


FIG. 3

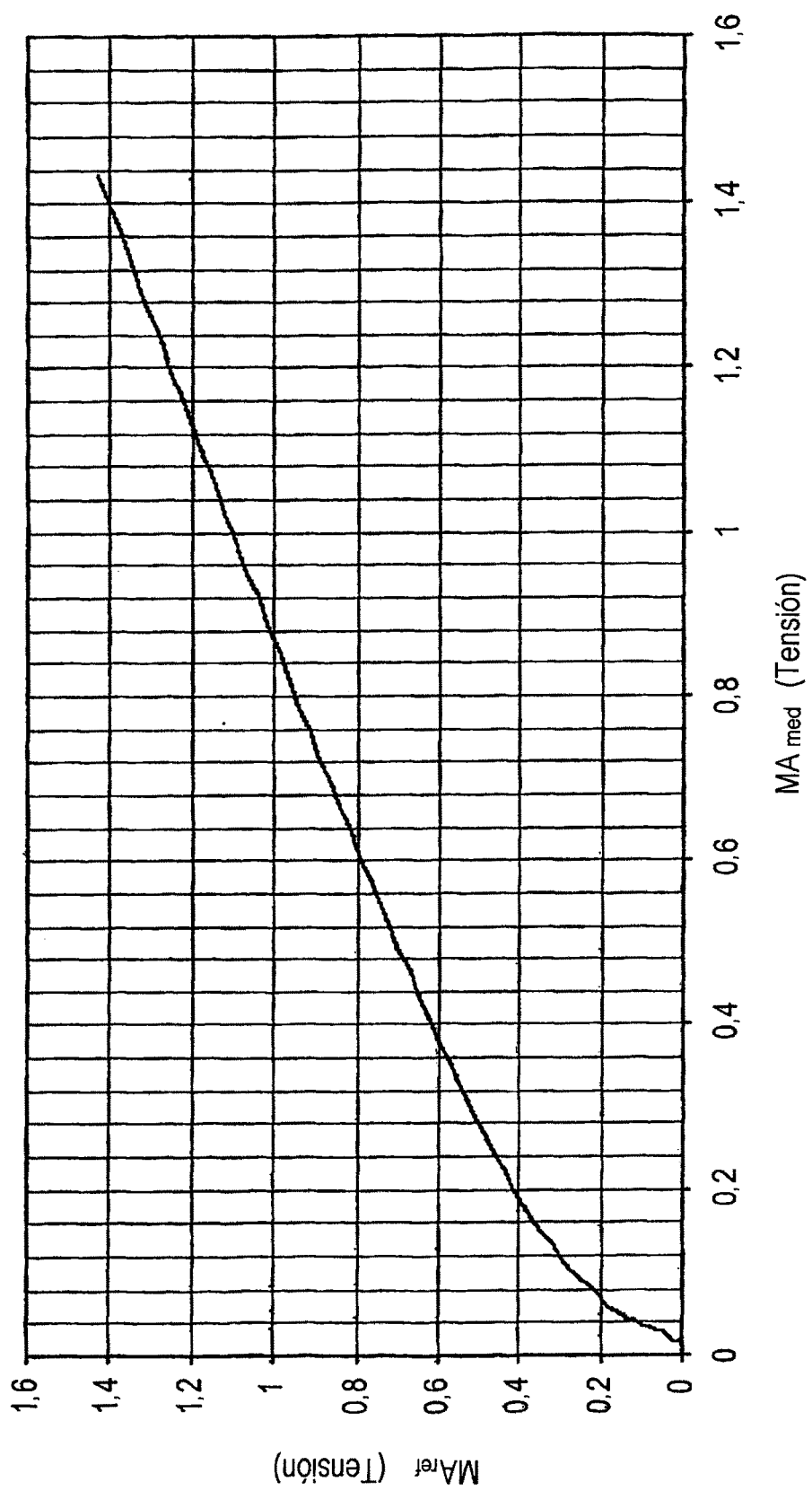


FIG. 4

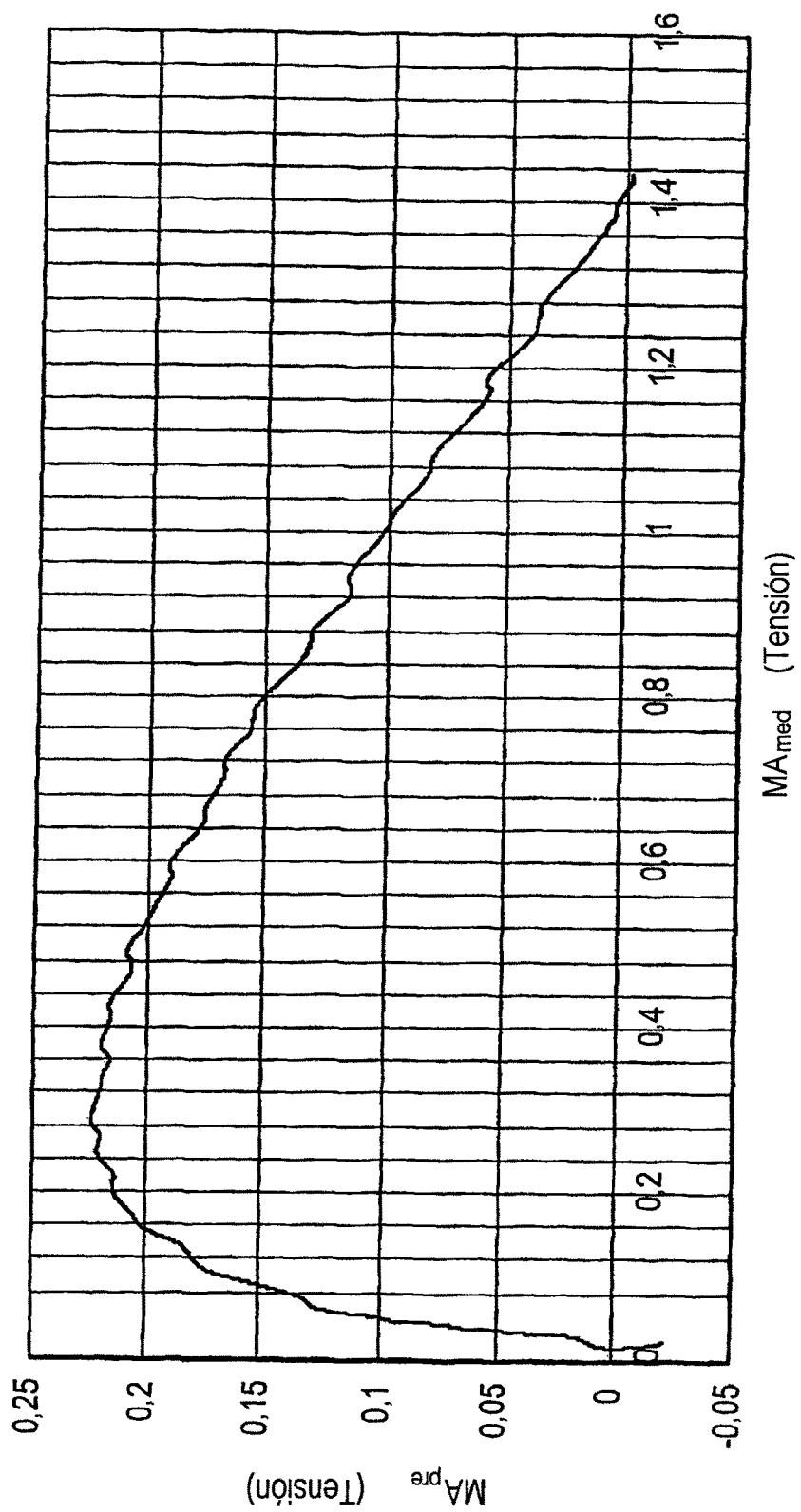
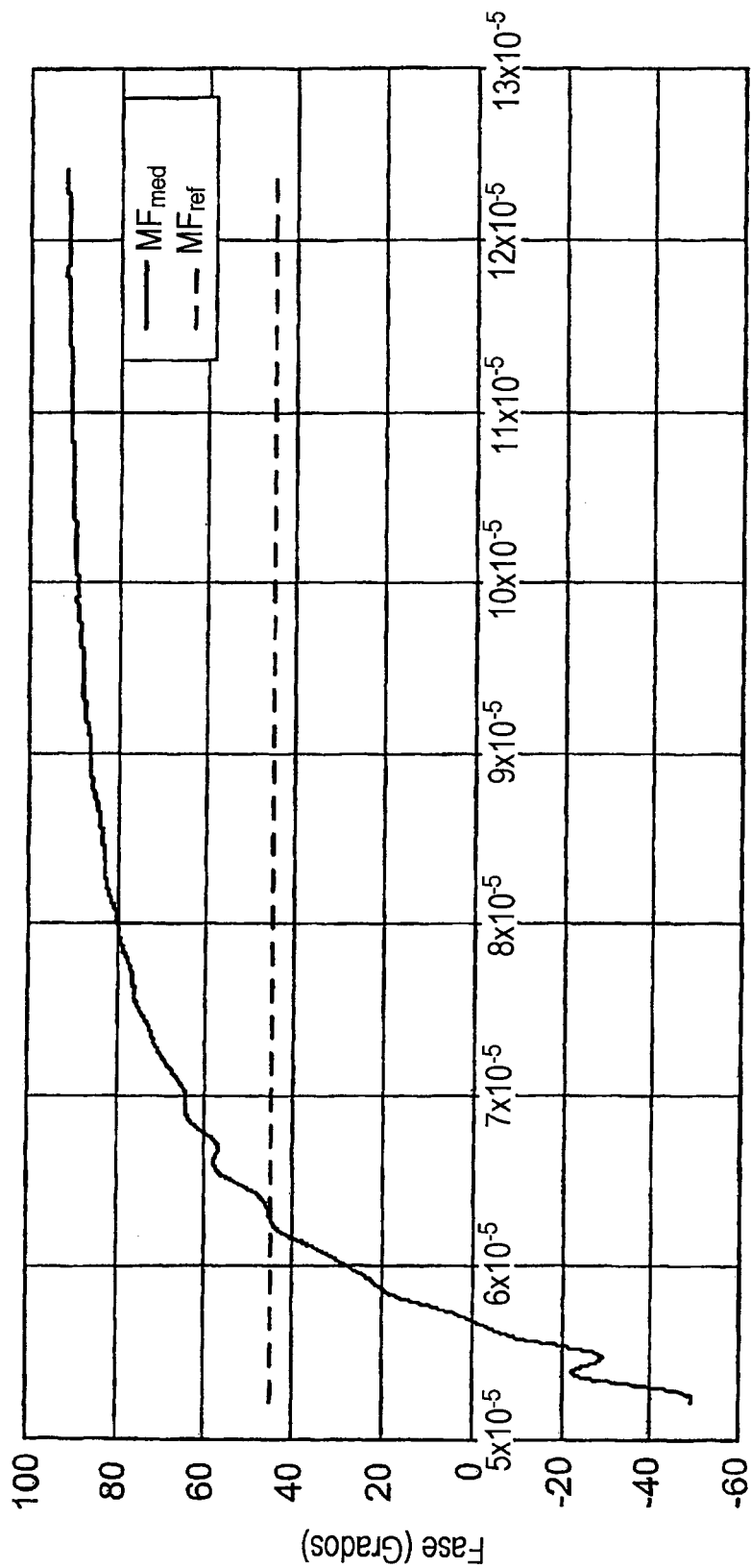
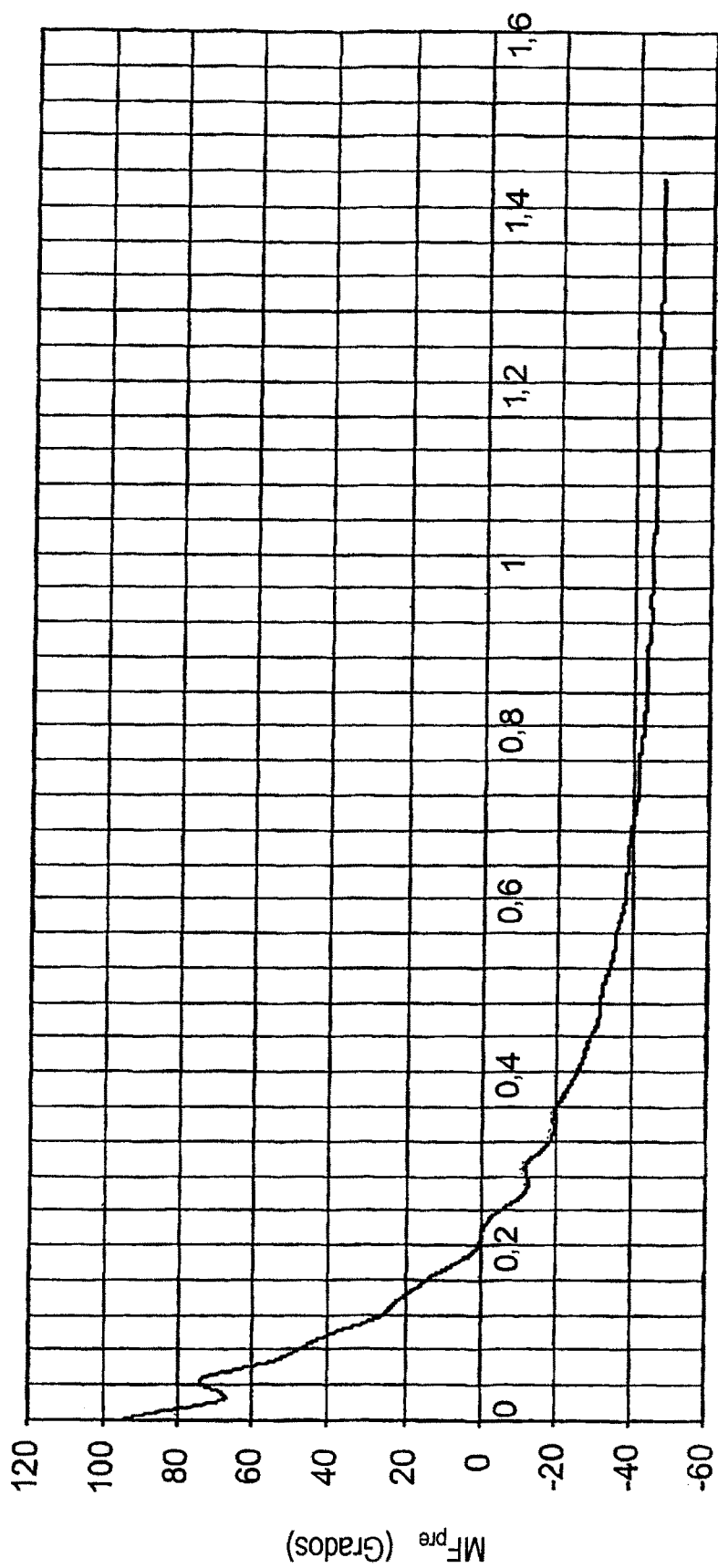


FIG. 5



Tiempo (s)
FIG. 6



MA_{ref} (Tensión)

FIG. 7

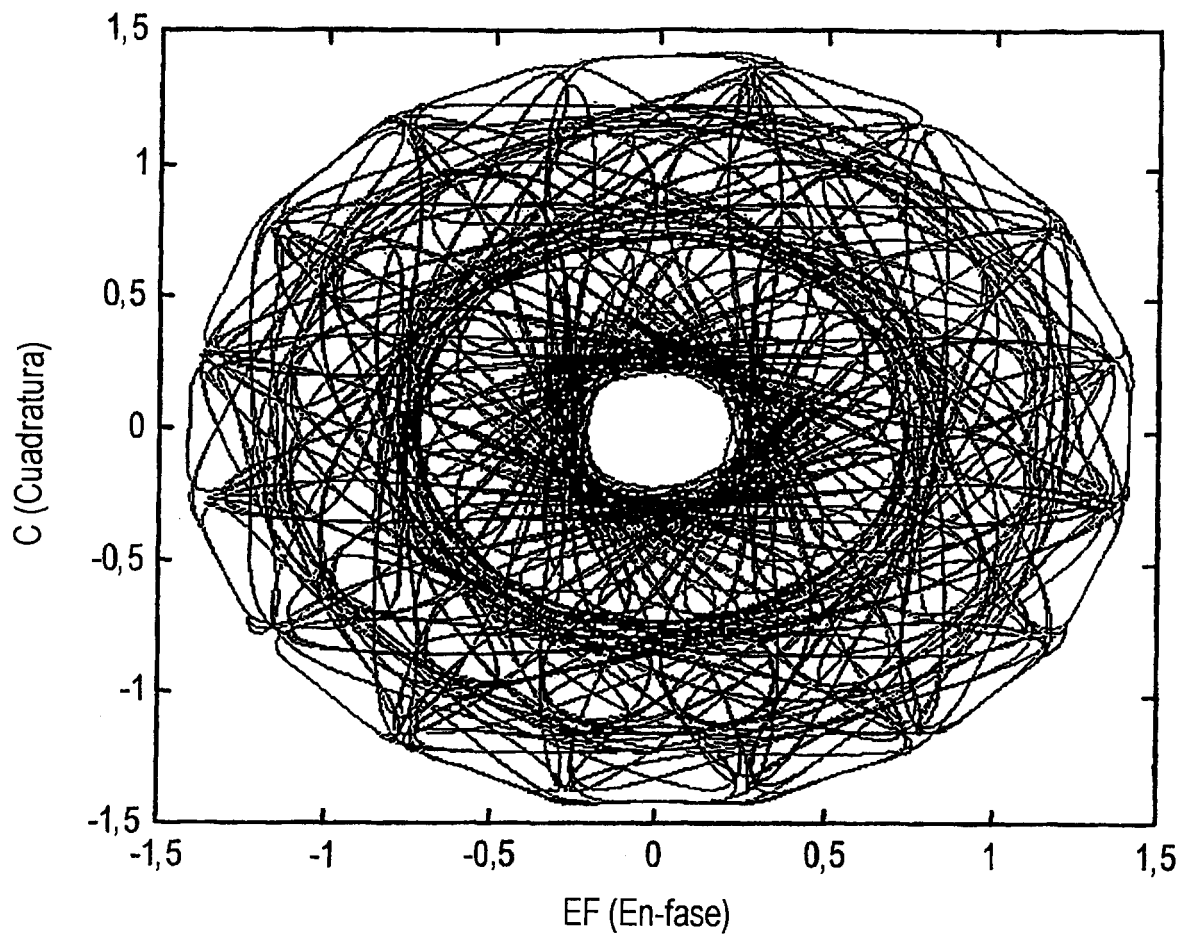


FIG. 8

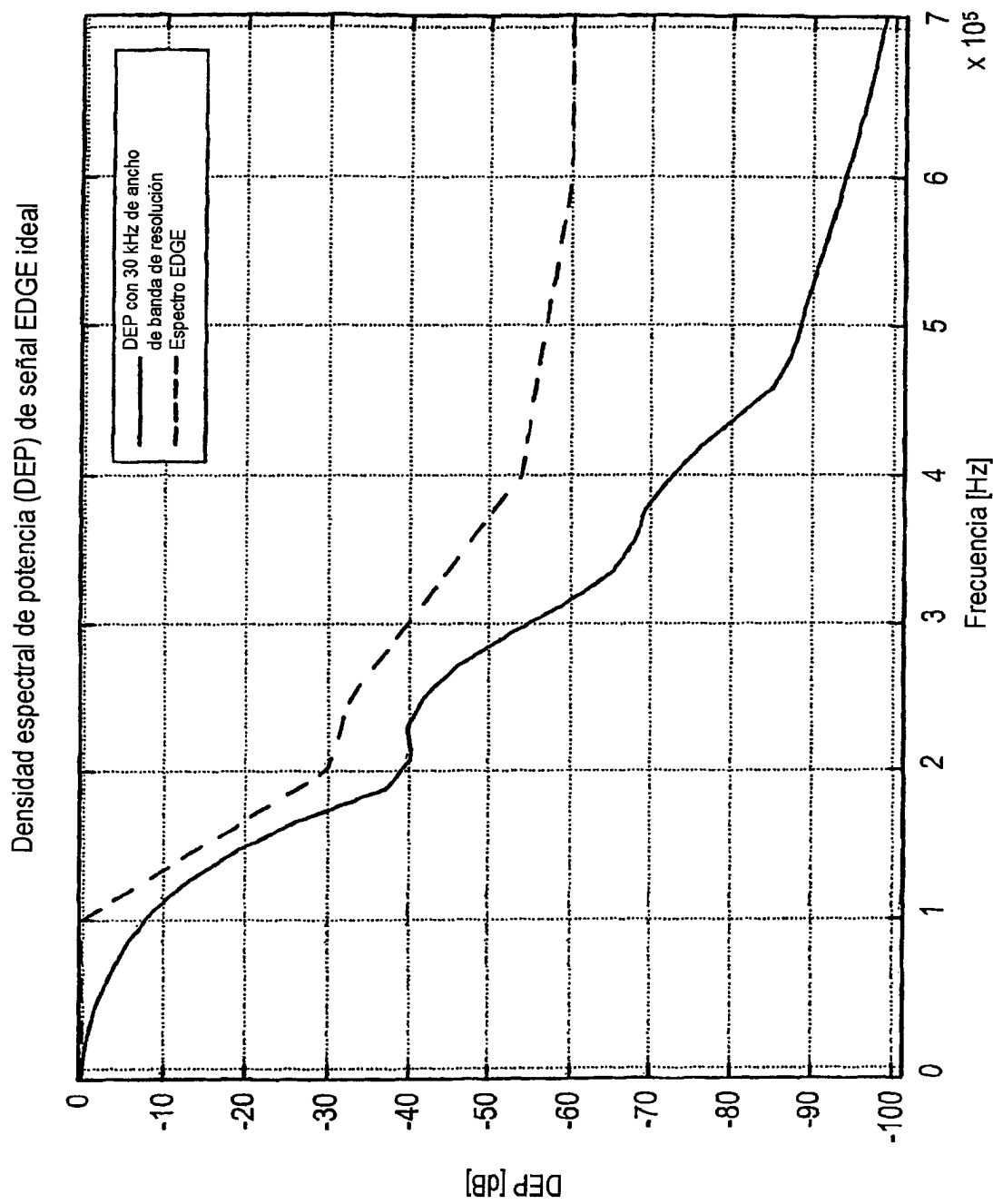


FIG. 9

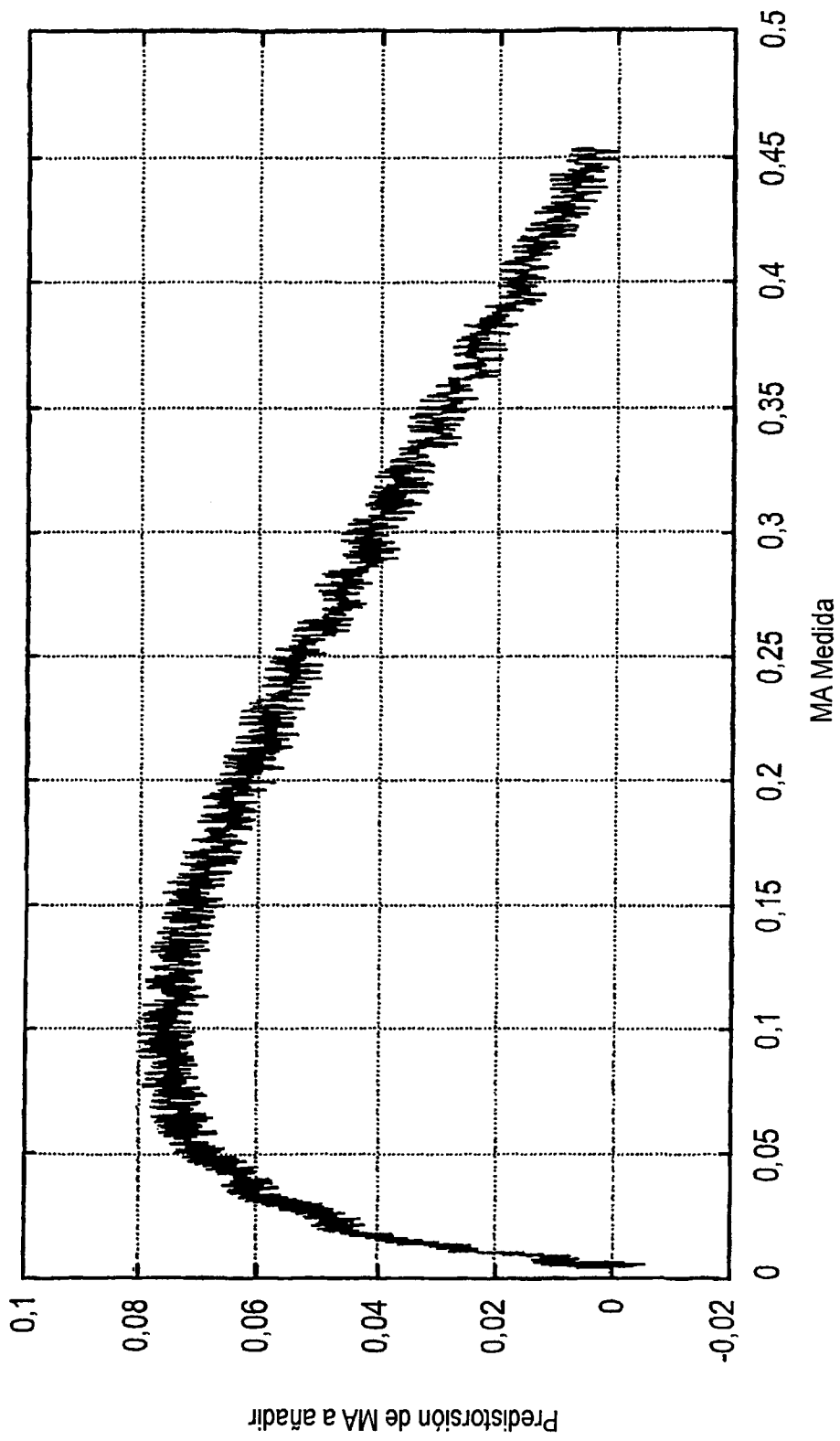


FIG. 10

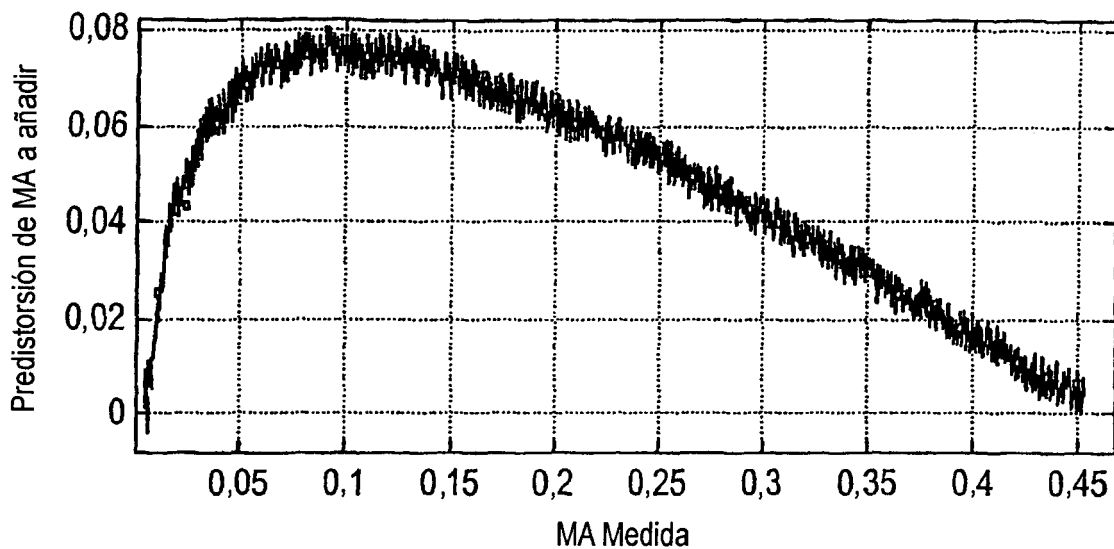


FIG. 11a

Distribución de muestras en el caso MA

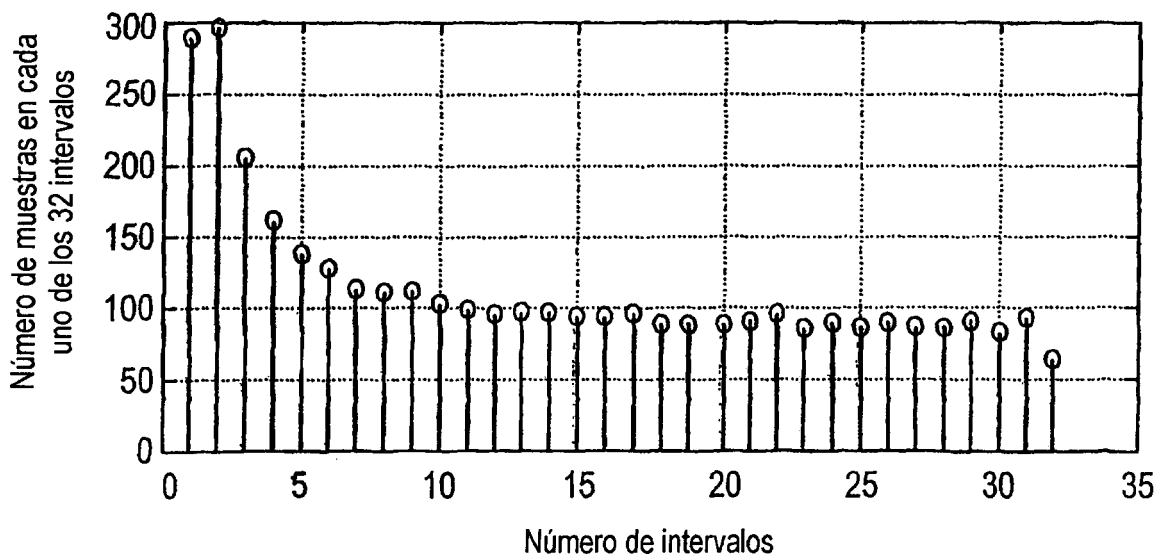


FIG. 11b

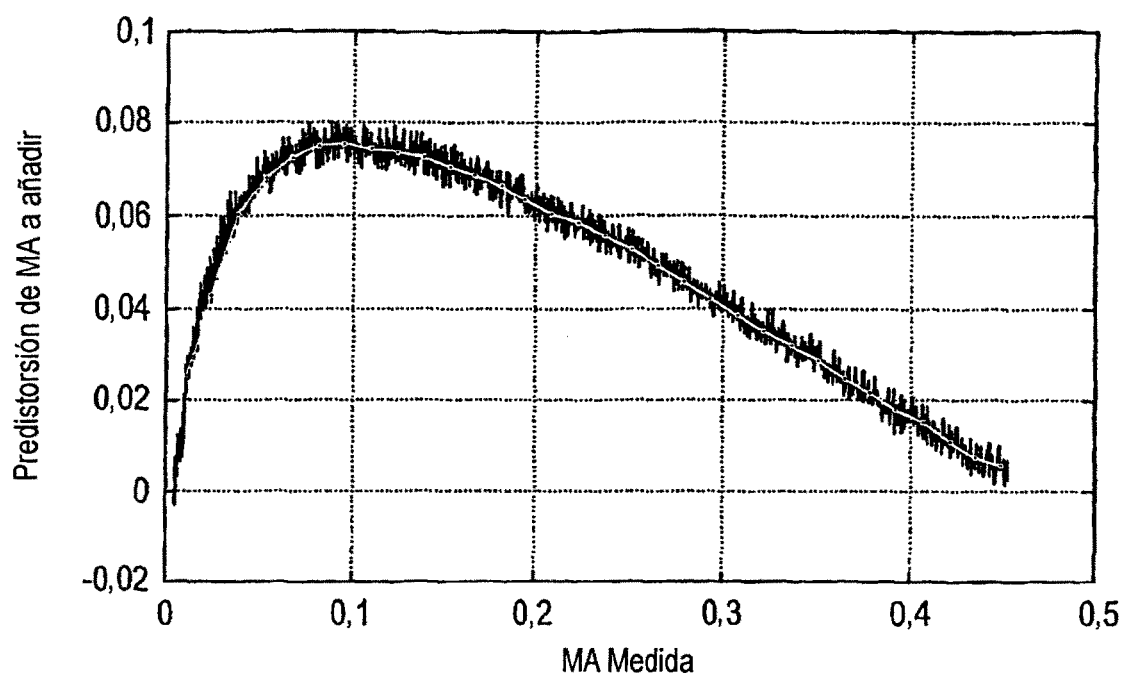


FIG. 12

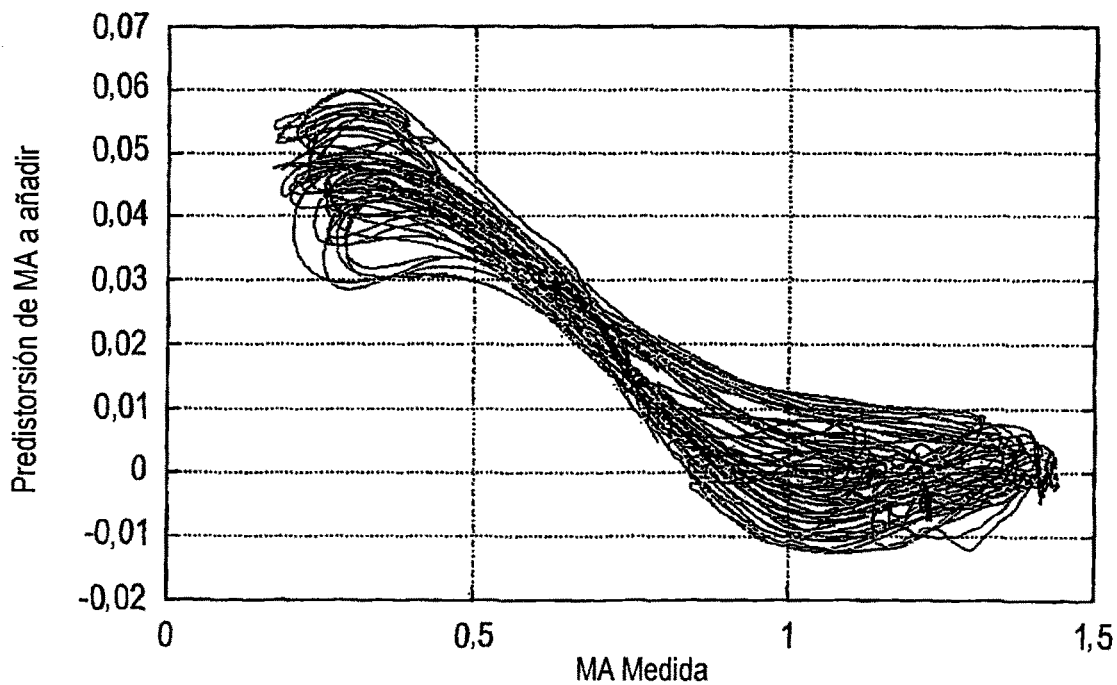


FIG. 13

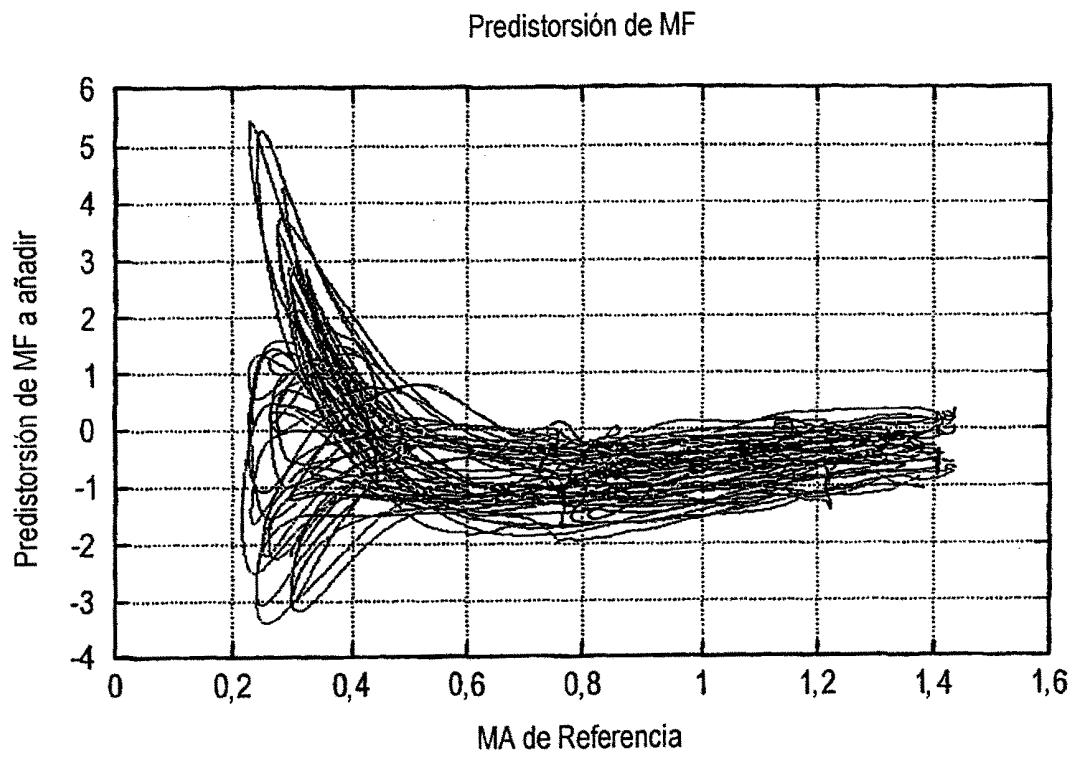


FIG. 14

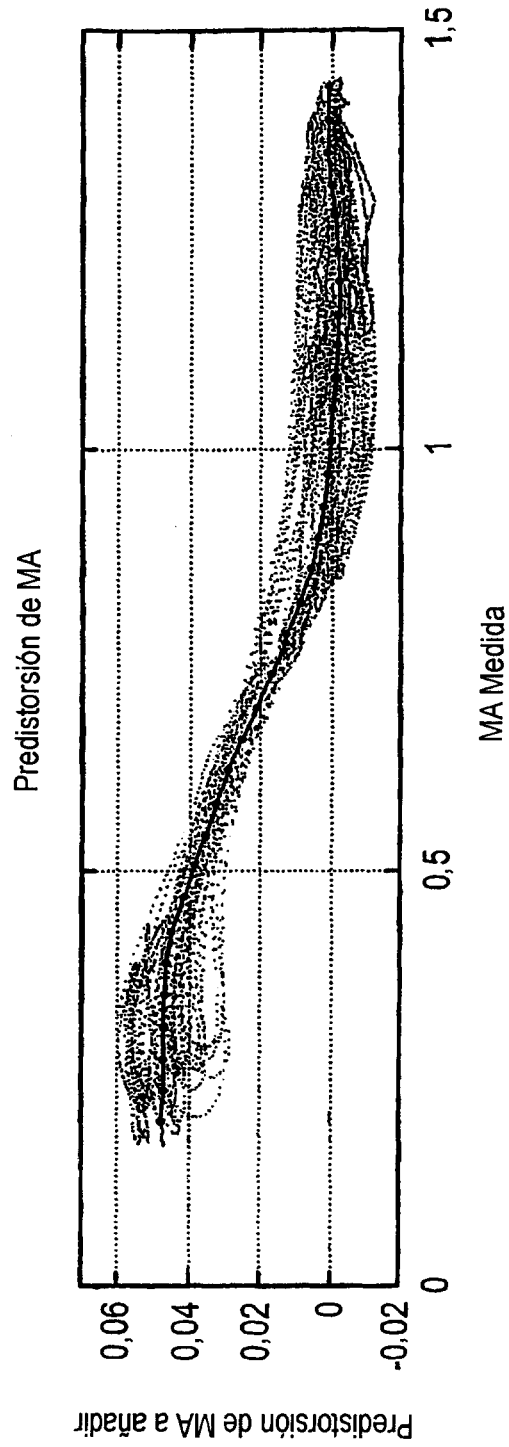


FIG. 15a

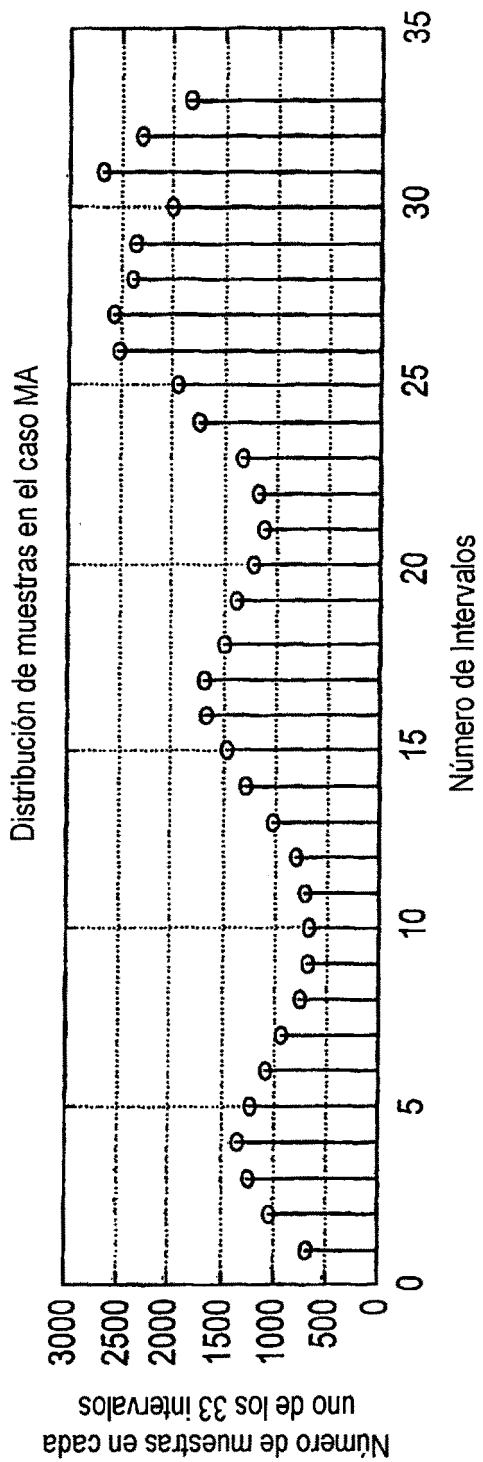


FIG. 15b

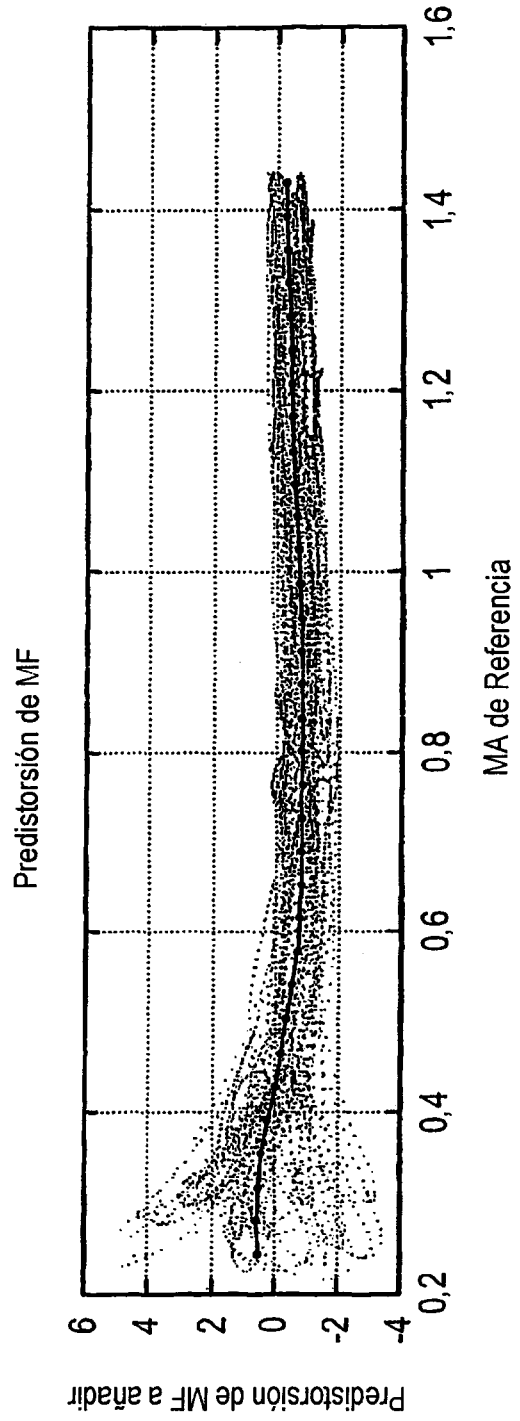


FIG. 16a

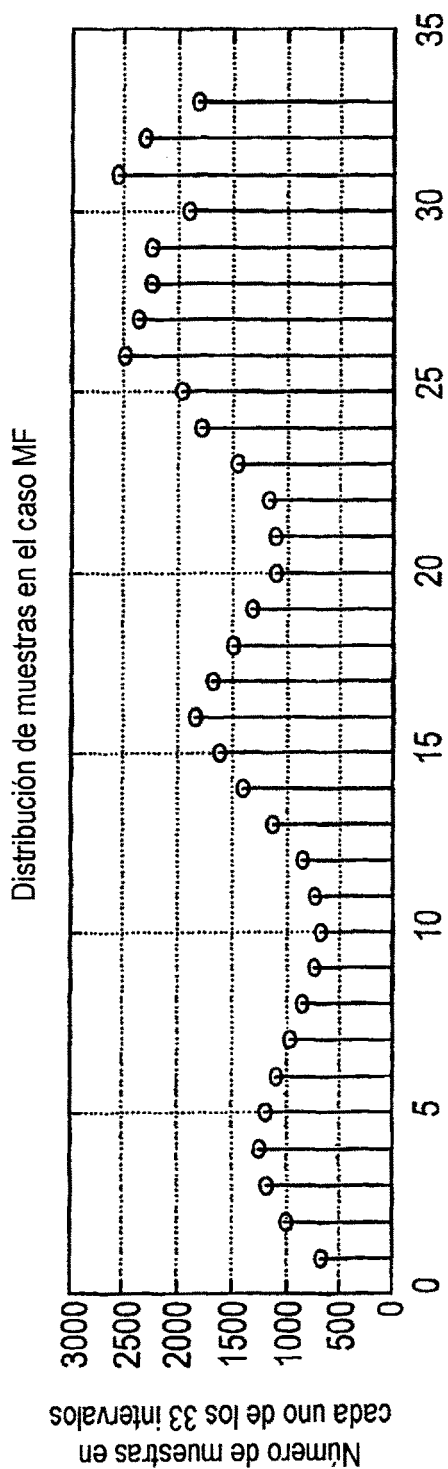


FIG. 16b

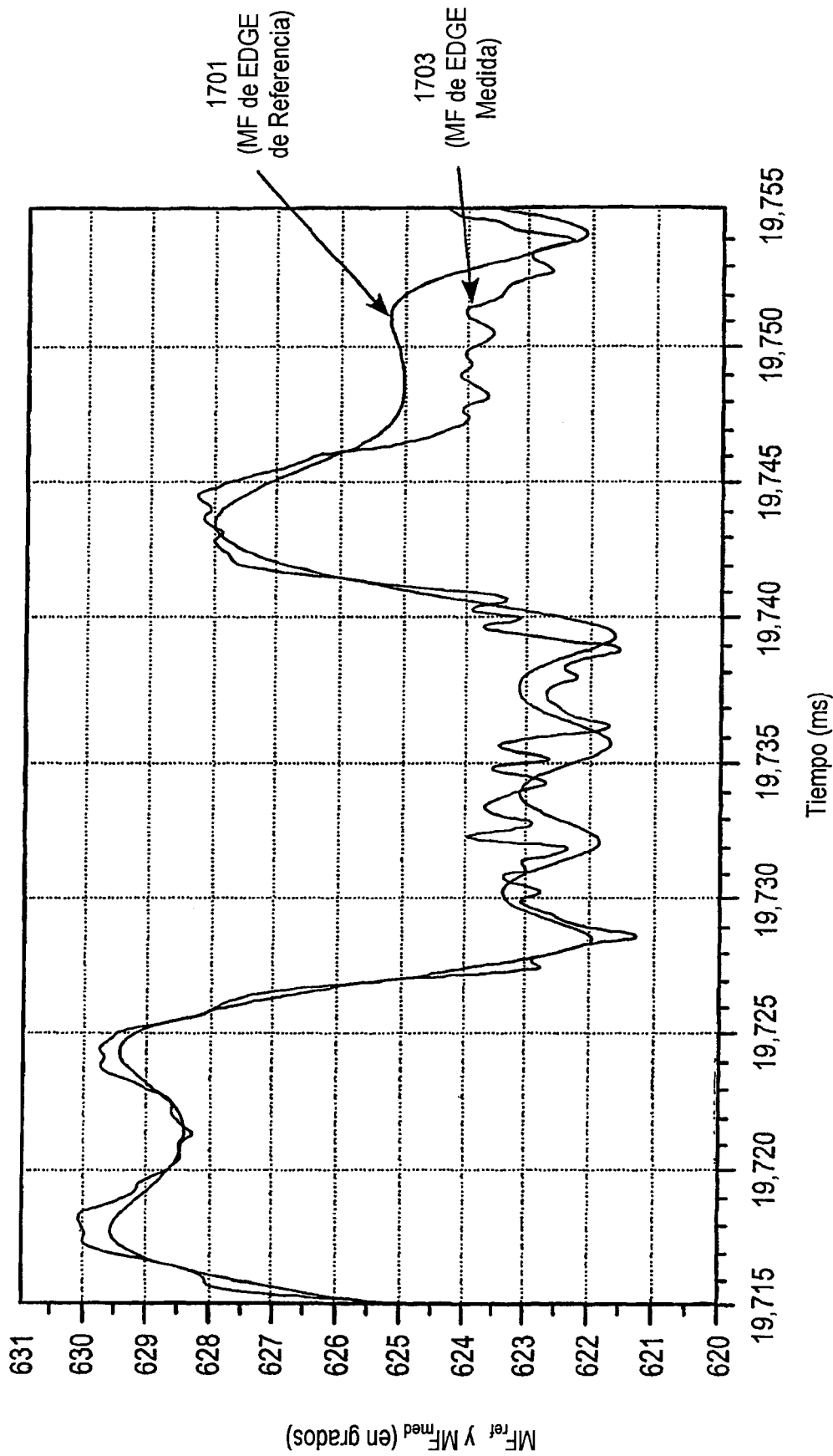


FIG. 17a

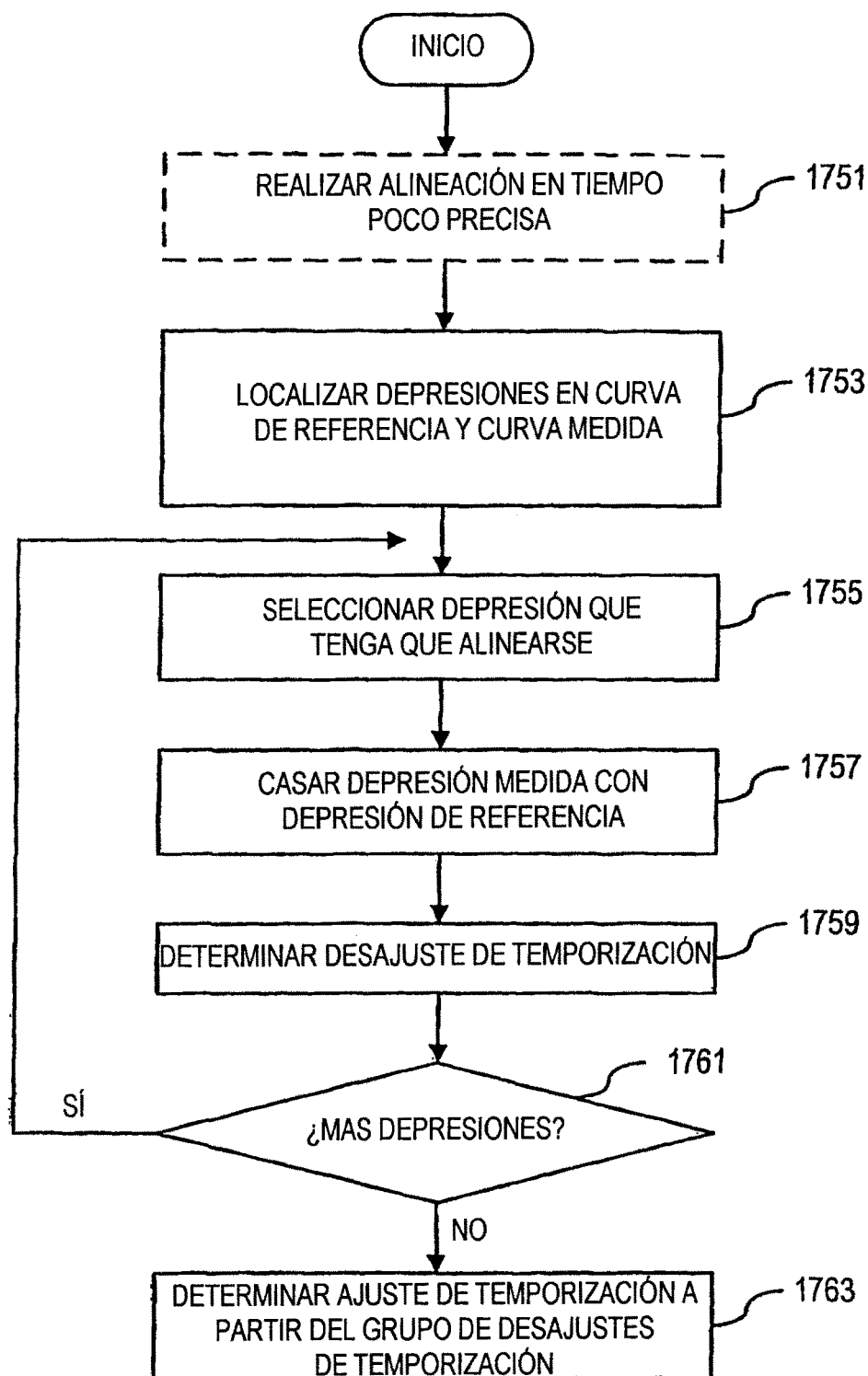
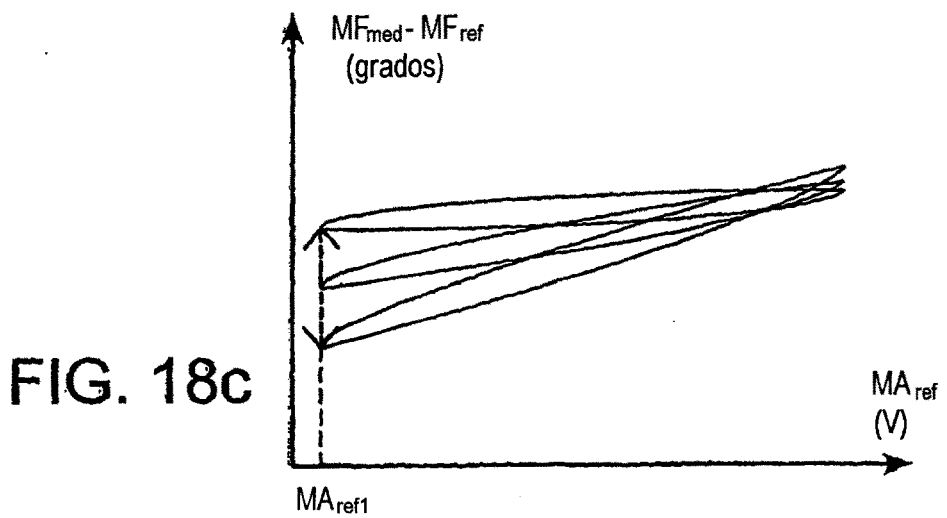
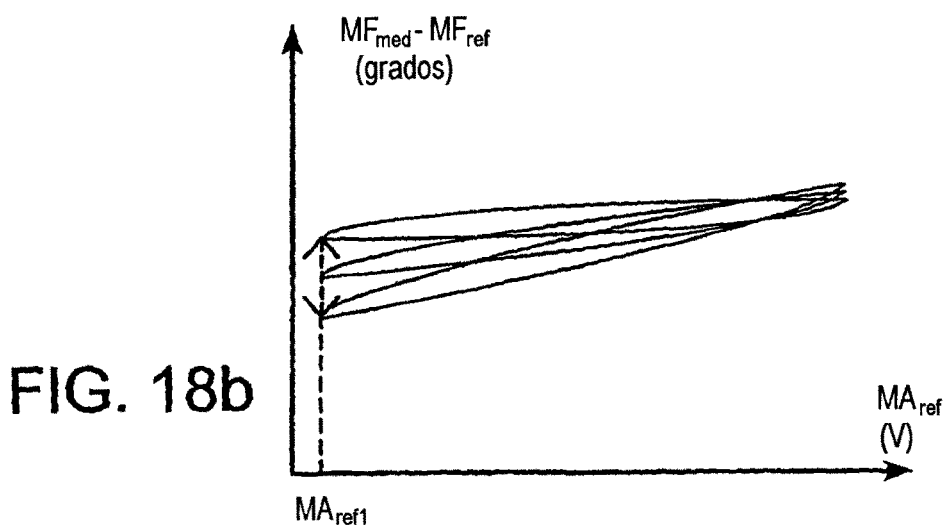
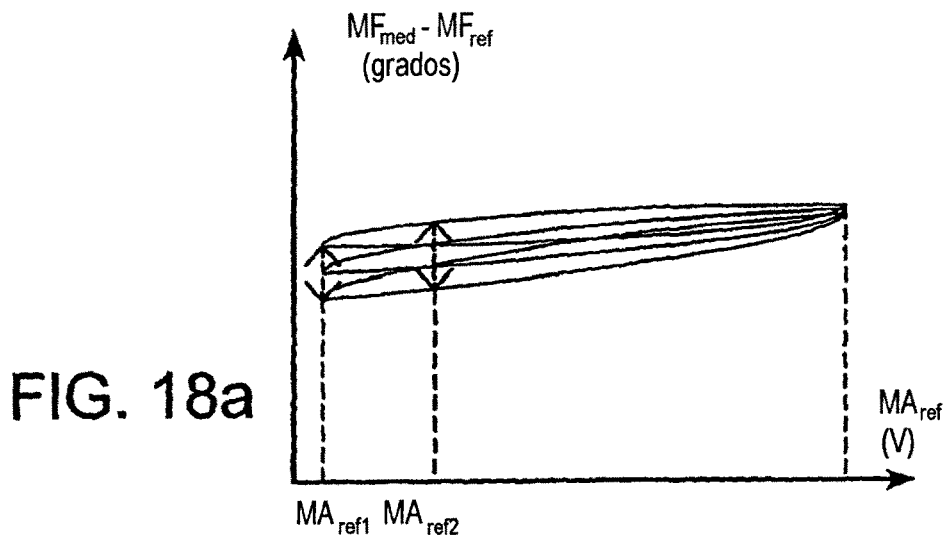


FIG. 17b



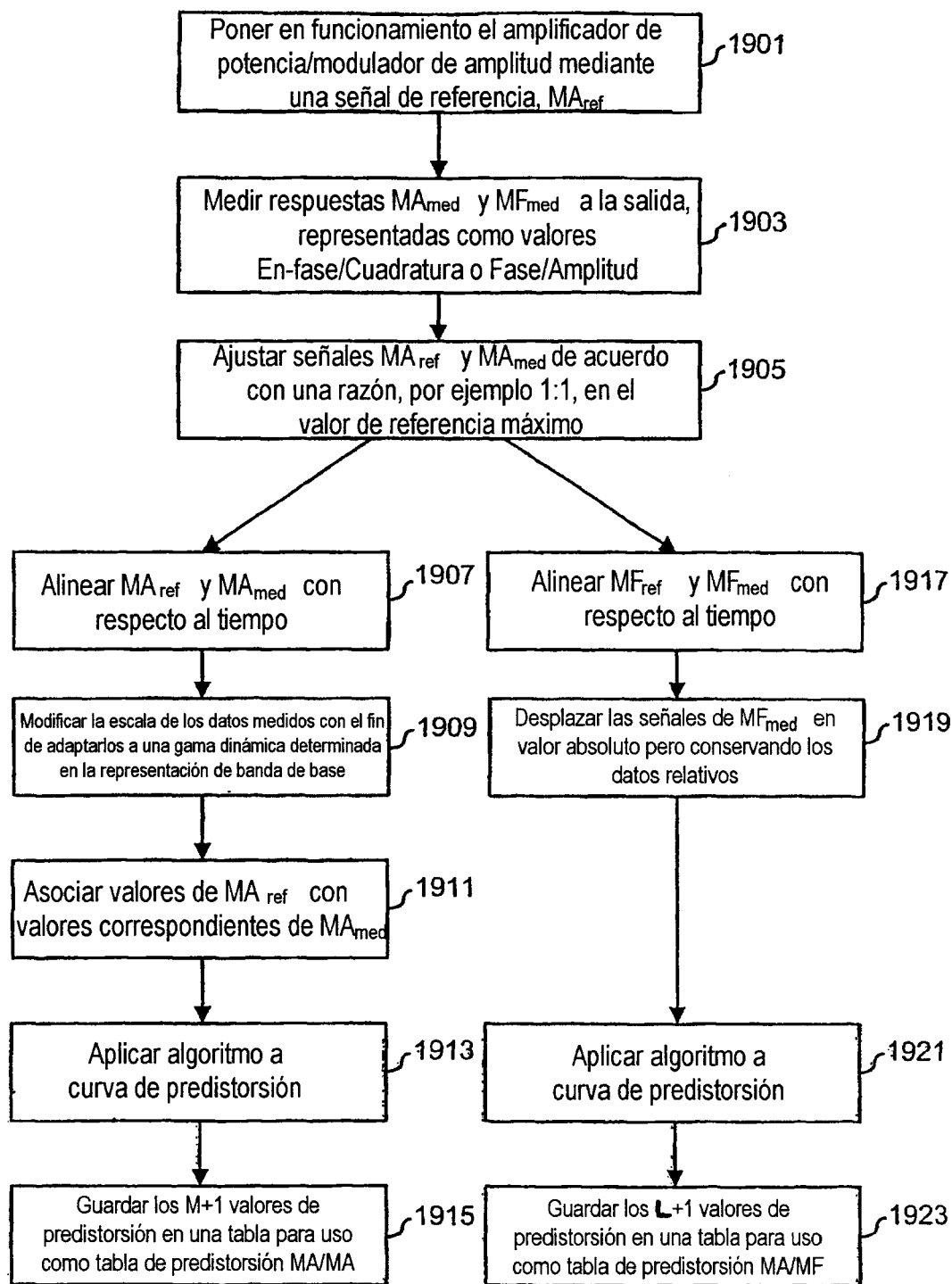


FIG. 19

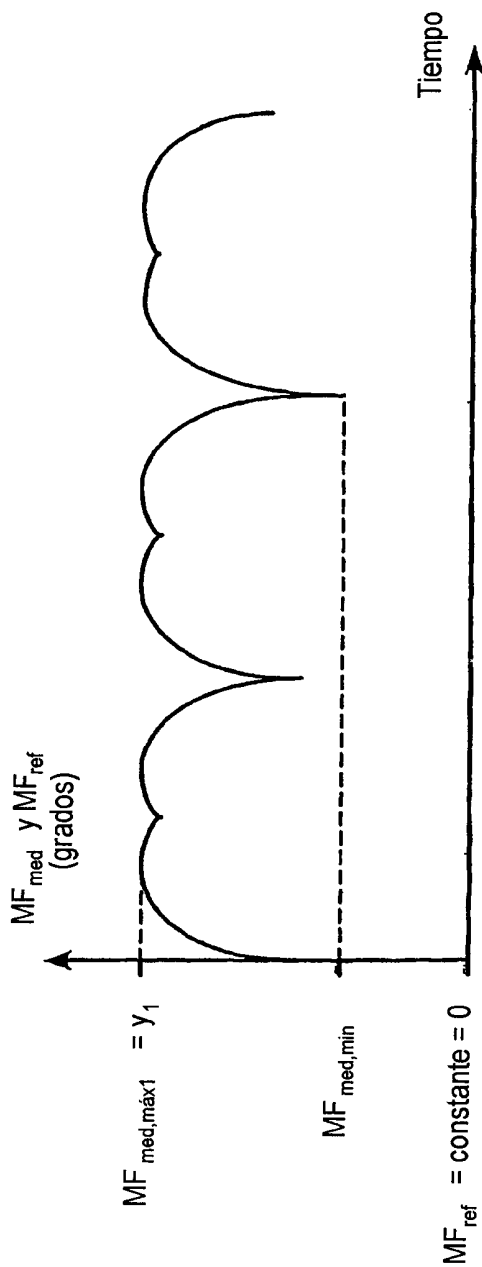


FIG. 20a

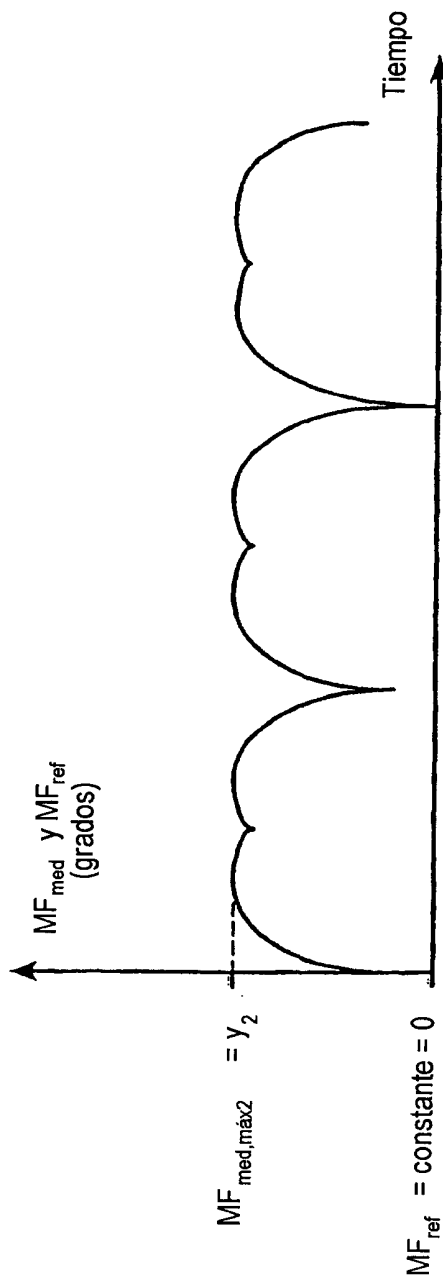


FIG. 20b