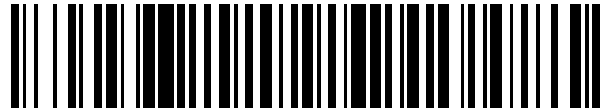


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 243**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2507 (2013.01)

H04B 1/69 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2009 E 09815681 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2013 EP 2359504**

54 Título: **Método de ensanchamiento espectral de una señal de banda estrecha**

30 Prioridad:

26.09.2008 FR 0856475

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2013

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**PENNINCKX, DENIS y
HOCQUET, STEVE**

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 426 243 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

Método de ensanchamiento espectral de una señal de banda estrecha

5 Campo técnico

La presente invención se refiere de manera general a un método de ensanchamiento espectral. Encuentra aplicación concretamente en la supresión de la difusión Brillouin estimulada en las fibras ópticas y los sistemas láser de gran potencia. También puede aplicarse a los sistemas de telecomunicación de múltiples frecuencias.

10

Estado de la técnica anterior

La difusión Brillouin es un fenómeno ampliamente conocido en óptica que puede interpretarse desde un punto de vista cuántico como una interacción inelástica entre un fotón y un fonón. Cuando una onda óptica experimenta una difusión Brillouin, la onda difusa comprende una primera componente desfasada hacia las bajas frecuencias, denominada onda Stokes y una segunda componente, desfasada hacia las altas frecuencias, denominada onda anti-Stokes. Se trata entonces de una difusión Brillouin espontánea.

15

Cuando la densidad de potencia óptica es elevada, por ejemplo para haces láser de gran potencia o para haces que se propagan en medios confinados tales como las fibras ópticas, el campo electromagnético puede inducir vibraciones acústicas en el medio de propagación. La difusión de los fotones por los fonones así generados se manifiesta por una amplificación de la onda Stokes, fenómeno conocido por el nombre de difusión Brillouin estimulada. La onda Stokes se retrodifunde, es decir, se propaga en una dirección opuesta a la de la onda incidente. Por consiguiente puede dañar la fuente óptica o reducir considerablemente la potencia óptica transmitida. También puede propagarse perpendicularmente a la onda incidente, lo que puede dañar las ópticas de gran dimensión.

20

25

El efecto de la difusión Brillouin estimulada también designado como SBS (*Stimulated Brillouin Scattering*) es tanto menos importante cuanto mayor es la anchura espectral del haz. Se conoce ensanchar el espectro de la fuente óptica por medio de una modulación de frecuencia o de una modulación de fase, denominada modulación anti-Brillouin con el fin de combatir el efecto SBS. La modulación de fase de una onda se expresa matemáticamente como una multiplicación por un término $e^{i\varphi(t)}$ y, en el caso en el que la modulación de fase es sinusoidal:

30

$$\varphi(t) = m \text{sen}(2\pi f_m t) \tag{1}$$

35 donde m y f_m son respectivamente la profundidad y la frecuencia de la modulación de fase.

En el espacio espectral, la modulación sinusoidal de fase se traduce por consiguiente en una convolución por un peine de Dirac:

$$P(f) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} J_k(m) \delta(f - kf_m) \tag{2}$$

40

donde $J_k(.)$ es la función de Bessel de primera especie de orden k y $\delta(.)$ es la distribución de Dirac. Así, para una fuente monocromática, el espectro de la señal modulada está compuesto por una infinidad de líneas separadas f_m y dispuestas simétricamente con respecto a la frecuencia de la fuente. No obstante, puede mostrarse (regla de Carson) que el 98% de la energía de la señal modulada se encuentra en una banda espectral de anchura $2(m+1)f_m$ alrededor de la frecuencia de la fuente. Se entiende por tanto que cuanto más aumenta la profundidad de modulación m , más importante será el ensanchamiento espectral.

45

No obstante, la densidad espectral de potencia de la señal modulada puede presentar fuertes variaciones en la banda en cuestión. En particular, determinadas líneas situadas cerca de la portadora son de muy baja intensidad, incluso de intensidad nula, ya que corresponden a ceros de la función de Bessel. Ahora bien, para obtener una reducción eficaz del efecto SBS, sin ensanchar indebidamente el espectro hay que obtener un ensanchamiento espectral lo más homogéneo posible. En otras palabras, para una potencia de onda incidente dada y una banda espectral dada, se obtendrá una mejor reducción del efecto SBS si la distribución de la densidad espectral de la señal modulada es uniforme en esta banda. Alternativamente, a una tasa de retrodifusión dada, la banda de la señal modulada será la más estrecha cuando la distribución de la densidad espectral sea la más uniforme.

55

El documento US-B-5566381 describe un método de modulación de fase que pretende obtener un espectro ensanchado relativamente uniforme. Esta modulación de fase hace intervenir una pluralidad de moduladores de fase en cascada con diferentes profundidades de modulación y diferentes frecuencias de modulación, tal como se representa en la figura 1. Más precisamente, el haz óptico generado por el láser 110 se modula sucesivamente por los moduladores de fase 120₁ a 120_N, estando controlado cada modulador 120_i por una señal de frecuencia f_i , generada por el oscilador 150_i y amplificada por el amplificador 135_i de ganancia m_i . La modulación global de fase puede expresarse en la forma $e^{j\varphi(t)}$ con:

$$\varphi(t) = \sum_{i=1}^N m_i \text{sen}(2\pi f_{m_i} t) \quad (3)$$

No obstante, la modulación propuesta no da buenos resultados por regla general. El ejemplo citado con $N = 2$, $f_2 = f_1/3$, $m_1 = m_2 = 0,45\pi$ no permite concretamente obtener el resultado anunciado de un espectro plano en 9 líneas a ambos lados de la portadora.

El documento US-B-6282003 retoma el ejemplo de modulación de fase anterior, es decir una fase modulada de la forma:

$$\varphi(t) = m_1 \text{sen}(2\pi f_1 t) + m_2 \text{sen}(2\pi f_2 t) \quad (4)$$

con $f_2=3f_1$, y propone buscar los valores de las profundidades de modulación m_1 y m_2 que corresponden a la vez a un espectro uniforme y a un punto de funcionamiento poco sensible a las variaciones de las profundidades de modulación. No obstante, como en el caso anterior, las variaciones de intensidad de las líneas espectrales alrededor de la portadora, a saber a frecuencias $f_0 + n f_1$ donde f_0 es la frecuencia de la portadora y n es un entero relativo comprendido entre -10 y +10, son importantes. Más precisamente, la intensidad de una línea espectral distante de $m f_1$ de la frecuencia portadora viene dada por:

$$I_n = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_{n-3k}^2(m_1) J_k^2(m_2) \quad (5)$$

Se constata que I_n varía en función de n , concretamente cuando m_1 no es despreciable con respecto a 1, y cuando el ensanchamiento espectral no siempre es por tanto uniforme.

Otro ejemplo de la técnica anterior; documento US 6535315.

En otro campo técnico, a saber el de las telecomunicaciones de tipo de múltiples frecuencias, por ejemplo para sistemas de telecomunicaciones ópticas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) o incluso para sistemas de telecomunicaciones de acceso por multiplexación de frecuencia o FDM (*Frequency Division Multiplex*), en ocasiones es útil poder disponer de un peine de frecuencias. Este peine puede generarse como se ha visto anteriormente efectuando una modulación sinusoidal de la fase de una portadora. Generalmente es importante que las amplitudes de las diferentes portadoras sean sensiblemente iguales, por ejemplo para garantizar condiciones de propagación similares, optimizar la amplificación, etc.

El objetivo de la presente invención es, por consiguiente, proponer un método de ensanchamiento espectral por modulación de fase que permita obtener una densidad espectral más uniforme que en el estado de la técnica.

Exposición de la invención

La presente se refiere a un método de ensanchamiento espectral de una señal de banda estrecha, en la que se modula dicha señal en fase con la ayuda de una señal de modulación de fase constituida por una pluralidad de componentes sinusoidales, comprendiendo dicha pluralidad una componente a una frecuencia fundamental y al menos una componente a una frecuencia armónica de esta frecuencia, siendo dichas componentes sinusoidales

síncronas y con fases respectivamente iguales a múltiplos sucesivos de $\pi/2$.

5 Según una primera variante, la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental y por una componente a la frecuencia doble de esta frecuencia, siendo la componente a la frecuencia fundamental de amplitud sensiblemente igual a 1,2 y siendo la componente a la frecuencia doble de amplitud sensiblemente igual a 5,9, estando la fase de la componente a la frecuencia doble desfasada $\pm\pi/2$ con respecto a la de la componente a la frecuencia fundamental.

10 Según una segunda variante, la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental y por una componente a la frecuencia triple de esta frecuencia, siendo las dos componentes de la misma amplitud sensiblemente igual a $0,45\pi$, estando la fase de la componente a la frecuencia triple desfasada $\pm\pi/2$ con respecto a la de la componente a la frecuencia fundamental.

15 Según una tercera variante, la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental, por una componente a la frecuencia doble y por una componente a la frecuencia triple de esta frecuencia, siendo la amplitud de la componente a la frecuencia fundamental sensiblemente igual a 1,4, estando la amplitud de la componente a la frecuencia doble comprendida entre 2 y 20 y siendo la amplitud de la componente a la frecuencia triple sensiblemente igual a 0,4, estando las fases de las componentes a la frecuencia doble y triple respectivamente desfasadas $\pm\pi/2$ y de π con respecto a las de la componente fundamental.

20 En todos los casos, la señal de banda estrecha puede ser una onda óptica o una portadora de radiofrecuencia.

25 La modulación de la señal de banda estrecha puede realizarse por medio de una modulación sucesiva de esta señal por las diferentes componentes sinusoidales de la señal de modulación.

Breve descripción de los dibujos

30 Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de un modo de realización preferido de la invención realizada en referencia a las figuras adjuntas entre las que:

la figura 1 ilustra un dispositivo de ensanchamiento espectral por modulación de fase conocido del estado de la técnica;

35 la figura 2A representa un espectro ensanchado obtenido por medio del dispositivo de la figura 1;

las figuras 2B y 2C representan espectros ensanchados obtenidos mediante el método de ensanchamiento espectral según la invención;

40 la figura 3 representa la desviación con respecto a la uniformidad espectral de un primer ejemplo de señal modulada en fase;

la figura 4 representa la desviación con respecto a la uniformidad espectral de un segundo ejemplo de señal modulada en fase;

45 la figura 5 representa curvas de nivel de iso-desviación con respecto a la uniformidad espectral de un tercer ejemplo de señal modulada en fase;

la figura 6 representa las curvas de nivel de iso-desviación con respecto a la uniformidad espectral de un cuarto ejemplo de señal modulada en fase;

50 la figura 7A representa un primer ejemplo de dispositivo de modulación de fase que pone en práctica el método de ensanchamiento espectral según la invención;

55 la figura 7B representa un segundo ejemplo de dispositivo de modulación de fase que pone en práctica el método de ensanchamiento espectral según la invención.

Exposición detallada de modos de realización particulares

60 Va a considerarse de manera general un método de ensanchamiento espectral de una señal de banda estrecha, óptica o de radiofrecuencia, por medio de una modulación de fase.

A título ilustrativo, va a tomarse el caso particular de una señal monocromática o una señal de portadora que puede

representarse en la forma $E_0 e^{j\omega_0 t}$ que experimenta una modulación de fase definida por:

$$\varphi(t) = \sum_{i=1}^N m_i \text{sen}(\omega_i t + \varphi_i) \quad (6)$$

5 donde los $\omega_i = 2\pi f_i$ son frecuencias angulares múltiplos de una frecuencia de modulación fundamental $\Omega = 2\pi f$, m_i y φ_i son las profundidades de modulación y las fases respectivas de las diferentes componentes armónicas de la modulación de fase. Teniendo en cuenta las notaciones anteriores, la señal modulada se expresa entonces evidentemente en forma

$$E_0 e^{j(\omega_0 t + \varphi(t))} .$$

10 Es importante destacar que la señal de modulación de fase definida por (6) comprende una pluralidad de componentes sinusoidales de frecuencias ω_i para las que puede elegirse cualquier fase en origen φ_i .

15 La invención se basa en una elección acertada de las fases φ_i que lleva a una mejora sensible de la uniformidad de la densidad espectral. A continuación va a medirse la desviación con respecto a la uniformidad espectral, es decir la desviación a la planitud del espectro, mediante la relación entre la desviación tipo de la densidad espectral en la banda de la señal modulada y su valor medio. Se entiende aquí por banda de la señal modulada la banda espectral que contiene el 95% de la potencia de esa señal. Si se designa por m_k la intensidad de las líneas espectrales en esta banda y μ su media, la desviación con respecto a la uniformidad espectral en esta banda no será otra que

$$\sigma / \bar{\mu} = \sqrt{\sum_k (\mu_k / \bar{\mu} - 1)^2} .$$

20 Se considerará en un primer momento una modulación de fase de dos componentes sinusoidales, tal como:

$$\varphi(t) = m_1 \text{sen} \Omega t + m_2 \text{sen}(2\Omega t + \varphi_2) \quad (7)$$

25 donde se ha tomado de manera convencional $\varphi_1 = 0$ en origen. Para un par cualquiera m_1, m_2 de profundidades de modulación dadas, la desviación mínima con respecto a la uniformidad espectral se obtiene para $\varphi_2 = \pm\pi/2$. Aunque este resultado sea difícil de demostrar matemáticamente, ha podido observarse mediante simulación en un gran número de casos.

30 A modo de ejemplo, la figura 3 representa la desviación con respecto a la uniformidad espectral de la señal modulada en fase por la señal de modulación (7), en función de la fase φ_2 . La desviación se indica en porcentaje y la fase se indica en grados. Los valores de las profundidades de modulación se han elegido de manera que $m_1 = 1,2$, $m_2 = 5,9$ y la banda espectral tomada fue $[-25f + f_0, f_0 + 25f]$. Se constata, como se ha anunciado, que la desviación mínima se alcanza para $\varphi_2 = \pi/2$.

35 De manera similar, si se parte del ejemplo de modulación de fase dado en la técnica anterior, a saber $\varphi(t) = m_1 \text{sen} \Omega t + m_3 \text{sen} 3\Omega t$, con $m_1 = m_3 = 0,45\pi$ y si se introduce a partir de ahora un desfase entre las componentes sinusoidales según (6), es decir:

$$\varphi(t) = m_1 \text{sen} \Omega t + m_2 \text{sen}(3\Omega t + \varphi_3) \quad (8)$$

40 se constata que la desviación con respecto a la uniformidad espectral alcanza un mínimo cuando $\varphi_3 = \pm\pi/2$. La figura 4 representa la desviación con respecto a la uniformidad espectral de la señal modulada, expresada en porcentaje, en función de la fase φ_3 , expresada en grados.

45 Una señal de modulación de fase de dos componentes sinusoidales basta para obtener un espectro casi plano (desviación con respecto a la uniformidad de menos del 10%) en una banda espectral $[-9f + f_0, f_0 + 9f]$ tal como se ilustra en la figura 2B. Para un ensanchamiento espectral más importante, conviene añadir una componente sinusoidal suplementaria a una nueva armónica, por ejemplo:

50

$$\varphi(t) = m_1 \text{sen } \Omega t + m_2 \text{sen}(2\Omega t + \varphi_2) + m_3 \text{sen}(3\Omega t + \varphi_3) \quad (9)$$

obteniéndose la desviación mínima con respecto a la uniformidad espectral para los valores de fase $\varphi_2 = \pm\pi/2$ y $\varphi_3 = \pi$. Ventajosamente, se elegirán las profundidades de modulación de manera que $m_1 = 1,4$, $2 \leq m_2 \leq 20$ y $m_3 = 0,4$.

La figura 2C muestra a modo de ejemplo el espectro de la señal modulada para $m_2=2,4$, la banda espectral es de 11 líneas a ambos lados de la frecuencia central y la desviación con respecto a la uniformidad es inferior al 10%. Si se aumenta la profundidad de modulación m_2 hasta 20, el espectro se ensancha progresivamente al tiempo que se respeta una desviación con respecto a la uniformidad inferior al 10%.

La figura 5 representa las curvas de iso-desviación con respecto a la uniformidad espectral de una señal modulada en fase por la señal de modulación (9) con $m_1 = 1,4$, $m_2 = 5,6$ y $m_3 = 0,4$, en función de los valores de las fases φ_2 y φ_3 expresadas en grados. Para cada curva de iso-desviación está indicado el valor de la desviación correspondiente al seno de la banda espectral $[-25f+f_0, f_0+25f]$. Se constata, como se ha anunciado, que la desviación mínima se obtiene para $\varphi_3 = \pi$ y $\varphi_2 = \pm\pi/2$, siendo entonces la desviación con respecto a la uniformidad inferior al 6%.

La modulación en fase anterior da buenos resultados en la banda $[-25f+f_0, f_0+25f]$. Para un ensanchamiento espectral más allá de esta banda, conviene introducir la cuarta armónica a saber:

$$\varphi(t) = m_1 \text{sen } \omega t + m_2 \text{sen}(2\Omega t + \varphi_2) + m_3 \text{sen}(3\Omega t + \varphi_3) + m_4 \text{sen}(4\Omega t + \varphi_4) \quad (10)$$

alcanzándose la desviación mínima con respecto a la uniformidad espectral para $\varphi_2 = \pi/2$, $\varphi_3 = \pi$, $\varphi_4 = 3\pi/2$ y para $\varphi_2 = -\pi/2$, $\varphi_3 = -\pi$, $\varphi_4 = -3\pi/2$.

La figura 6 representa las curvas de iso-desviación con respecto a la uniformidad espectral de una señal modulada en fase por la señal de modulación (10) con $m_1 = 1,2$, $m_2 = 6,8$, $m_3 = 0,4$, $m_4 = 0,6$ y $\varphi_2 = \pi/2$, en función de los valores de las fases φ_3 y φ_4 expresadas en grados. Para cada curva de iso-desviación se indica el valor de la desviación correspondiente al seno de la banda espectral $[-31f+f_0, f_0+31f]$. Se constata aquí también que la desviación mínima, inferior al 6%, se obtiene para $\varphi_3 = \pi$ y $\varphi_4 = \pi/2$. Igualmente, si se hubiese fijado $\varphi_2 = -\pi/2$, se habría mostrado que esta desviación mínima se alcanzaba para $\varphi_3 = \pi$ y $\varphi_4 = \pi/2$.

De manera general, se constata que si se utiliza una señal de modulación de fase tal como se define por (6), la desviación con respecto a la uniformidad espectral es mínima cuando las fases de las diferentes componentes sinusoidales de la señal de modulación de fase se distribuyen por los múltiplos enteros sucesivos de $\pi/2$. Si la componente fundamental se toma como referencia, las componentes armónicas no nulas experimentarán desfases

$$0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, \dots, (N-1) \frac{\pi}{2}$$

si el orden de distribución sigue el sentido trigonométrico o bien desfases

$$0, -\frac{\pi}{2}, -\pi, -\frac{3\pi}{2}, \dots, -(N-1) \frac{\pi}{2}$$

si este orden sigue el sentido inverso.

En todos los casos, se observará que cuanto mayor sea el número N de armónicas, más importante será el ensanchamiento espectral de la señal.

En ocasiones resulta ventajoso fijar, aparte de los valores de fase φ_i (en múltiplos enteros sucesivos de $\pi/2$), los valores de las profundidades de modulación m_i con excepción de una, indicada como m_0 . Se obtiene entonces una forma de espectro parametrizable con un grado de libertad. Por ejemplo, en el caso de una modulación de fase de tres componentes sinusoidales dadas por la expresión (9), la profundidad de modulación m_2 permite parametrizar la forma del espectro variando entre 2 y 20.

Cuando los valores de fase φ_i adoptan los valores citados anteriormente, el espectro no sólo es plano sino que también es simétrico alrededor de la frecuencia portadora. Esto es ventajoso en la medida en que la frecuencia portadora ω_0 siga siendo la frecuencia central.

Esta propiedad de simetría puede mostrarse para una modulación de fase de dos componentes sinusoidales. En efecto, una onda $E_0 e^{j\omega_0 t}$ modulada en fase por la señal (7) puede escribirse en forma del producto:

$$E_0 e^{j\omega_0 t} \cdot e^{jm_1 \sin \Omega t} \cdot e^{jm_2 \sin(2\Omega t + \varphi_2)} \quad (11)$$

Su espectro tiene por tanto la forma $P(\omega) = \rho(\omega + \omega_0)$ donde $\rho(\omega)$ es la convolución de los espectros de los dos últimos términos de (11):

$$\rho(\omega) = \sum_{\ell} J_{\ell}(m_1) \delta(\omega - \ell\Omega) \otimes \sum_k J_k(m_2) e^{jk\varphi_2} \delta(\omega - 2k\Omega) \quad (12)$$

es decir:

$$\rho(\omega) = \sum_{\ell} \left(\sum_k J_{\ell-2k}(m_1) J_k(m_2) e^{jk\varphi_2} \right) \delta(\omega - \ell\Omega) \quad (13)$$

El espectro de la señal modulada en fase es por consiguiente un espectro de líneas separadas Ω . La intensidad de la línea en $-n\Omega$ viene dada por $|p(-n\Omega)|^2$:

$$p(-n\Omega) = \sum_k J_{-n-2k}(m_1) J_k(m_2) e^{jk\varphi_2} \quad (14)$$

que puede escribirse también como:

$$p(-n\Omega) = \sum_k J_{-n+2k}(m_1) J_{-k}(m_2) e^{-jk\varphi_2} \quad (15)$$

y teniendo en cuenta que $J_{-\ell}(m) = (-1)^{\ell} J_{\ell}(m)$:

$$p(-n\Omega) = (-1)^n \sum_k J_{n-2k}(m_1) J_k(m_2) (-1)^k e^{-jk\varphi_2} \quad (16)$$

Ahora bien, dado que para $\varphi_2 = \pm\pi/2$,

$$p(-n\Omega) = (-1)^n p(n\Omega) \quad (17)$$

La densidad espectral $|p(\omega)|^2$ es por tanto simétrica.

Este resultado se generaliza sin gran dificultad al caso en el que la señal de modulación de fase está constituida por una pluralidad N de componentes sinusoidales que presentan fases φ_i iguales a valores de los múltiplos enteros

sucesivos de $\pi/2$.

La figura 7A muestra un primer ejemplo de realización de un modulador de fase que pone en práctica el método de ensanchamiento espectral según la invención.

5 El haz láser emitido por la fuente láser 710 se modula sucesivamente por una pluralidad de moduladores de fase 720₁ a 720_N dispuestos en cascada. El oscilador 750 genera una señal sinusoidal de frecuencia fundamental $f=\Omega/2\pi$. Esta señal se proporciona a los multiplicadores de frecuencia 740₂,...,740_N para generar señales sinusoidales que tienen frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental. Las señales generadas son sincronas con la señal
10 fundamental y tienen todas la misma fase en origen. Estas señales se desfasan a continuación en los desfasadores 730₂,...,730_N. Los desfases introducidos corresponden a múltiplos enteros sucesivos de $\pi/2$. Siendo rigurosos, estos desfases deben corregirse para tener en cuenta el tiempo de propagación entre los moduladores 720₁ a 720_N. La señal fundamental y las señales armónicas desfasadas se amplifican a continuación mediante los amplificadores 735₁,...,735_N de ganancias respectivas m_1 ,..., m_N antes de controlar los moduladores de fase 720₁ a 720_N.

15 La figura 7B muestra un segundo ejemplo de realización de un modulador de fase para poner en práctica el método de ensanchamiento espectral según la invención.

20 Los elementos idénticos a los de la figura 7A llevan los mismos símbolos de referencia. A diferencia del dispositivo anterior, se utiliza un solo modulador de fase, 720. Este modulador recibe como señal de modulación la señal eléctrica que resulta de la suma en 725 de la señal fundamental y de las señales armónicas convenientemente desfasadas y amplificadas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de ensanchamiento espectral de una señal de banda estrecha, caracterizado porque se modula dicha señal en fase con la ayuda de una señal de modulación de fase constituida por una pluralidad de componentes sinusoidales, comprendiendo dicha pluralidad una componente a una frecuencia fundamental, Ω , y al menos una componente a una frecuencia armónica de esta frecuencia, siendo dichas componentes sinusoidales sincronas y con fases respectivamente iguales a múltiplos sucesivos de $\pi/2$.
- 10 2. Método de ensanchamiento espectral según la reivindicación 1, caracterizado porque la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental y por una componente a la frecuencia doble de esta frecuencia, siendo la componente a la frecuencia fundamental de amplitud sensiblemente igual a 1,2 y siendo la componente a la frecuencia doble de amplitud sensiblemente igual a 5,9, estando la fase de la componente a la frecuencia doble desfasada $\pm\pi/2$ con respecto a la de la componente a la frecuencia fundamental.
- 15 3. Método de ensanchamiento espectral según la reivindicación 1, caracterizado porque la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental y por una componente a la frecuencia triple de esta frecuencia, siendo las dos componentes de la misma amplitud sensiblemente igual a $0,45\pi$, estando la fase de la componente a la frecuencia triple desfasada $\pm\pi/2$ con respecto a la de la componente a la frecuencia fundamental.
- 20 4. Método de ensanchamiento espectral según la reivindicación 1, caracterizado porque la señal de modulación está constituida por la componente a la frecuencia fundamental, por una componente a la frecuencia doble y por una componente a la frecuencia triple de esta frecuencia, siendo la amplitud de la componente a la frecuencia fundamental sensiblemente igual a 1,4, estando la amplitud de la componente a la frecuencia doble comprendida entre 2 y 20 y siendo la amplitud de la componente a la frecuencia triple sensiblemente igual a 0,4, estando las fases de las componentes a la frecuencia doble y triple respectivamente desfasadas $\pm\pi/2$ y π con respecto a la de la componente fundamental.
- 25 5. Método de ensanchamiento espectral según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la señal de banda estrecha es una onda óptica.
- 30 6. Método de ensanchamiento espectral según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la señal de banda estrecha es una portadora radiofrecuencia.
- 35 7. Método de ensanchamiento espectral según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se modula en fase la señal de banda estrecha sucesivamente por las diferentes componentes sinusoidales de la señal de modulación.

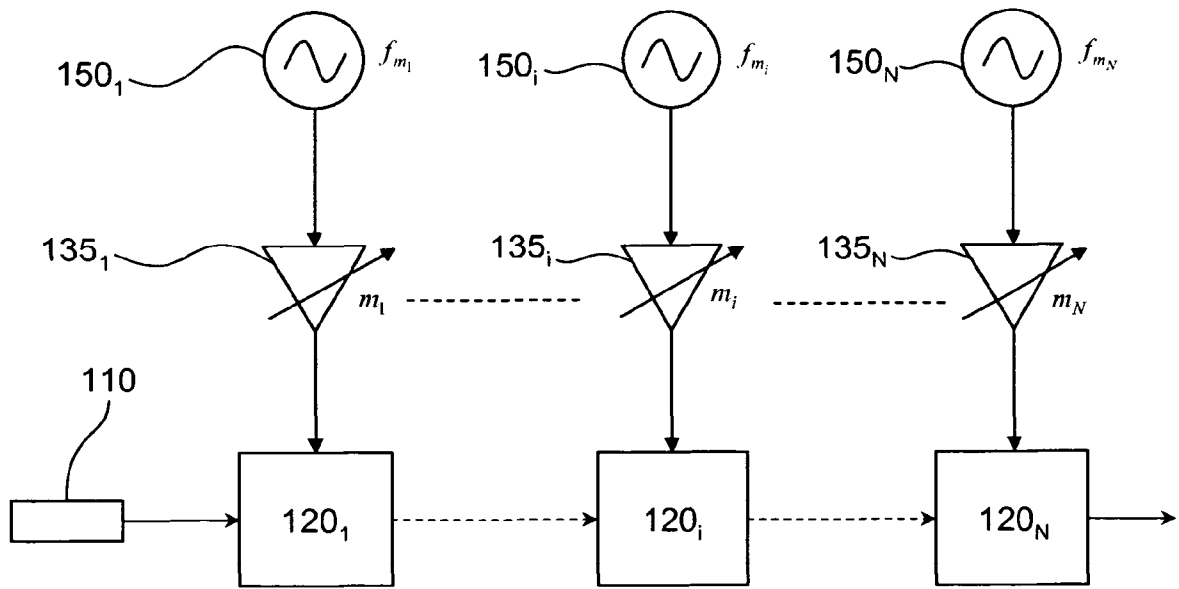


FIG. 1

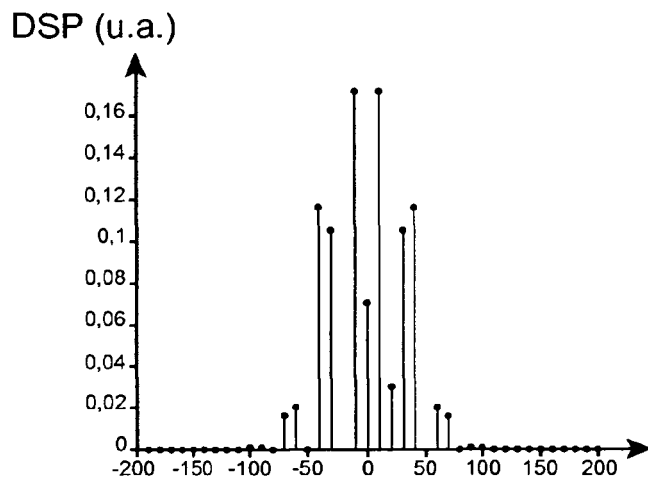


FIG. 2A

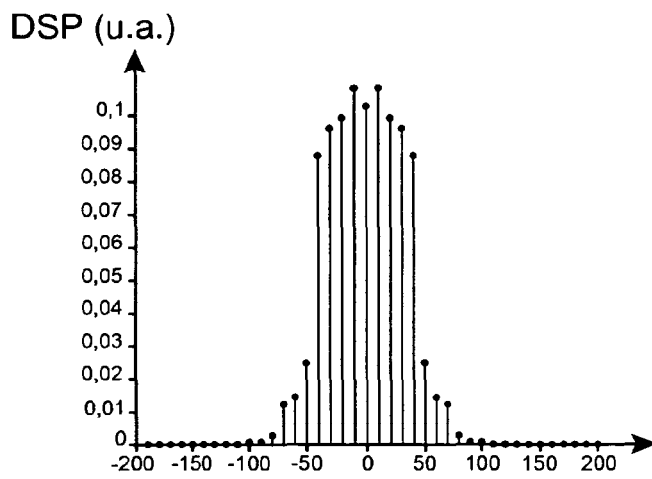


FIG. 2B

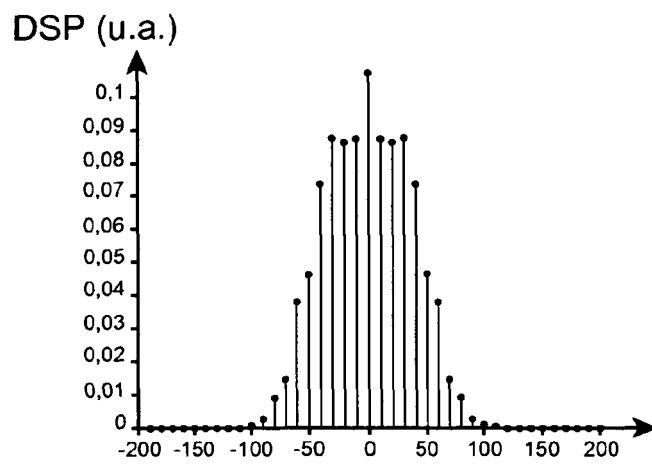


FIG. 2C

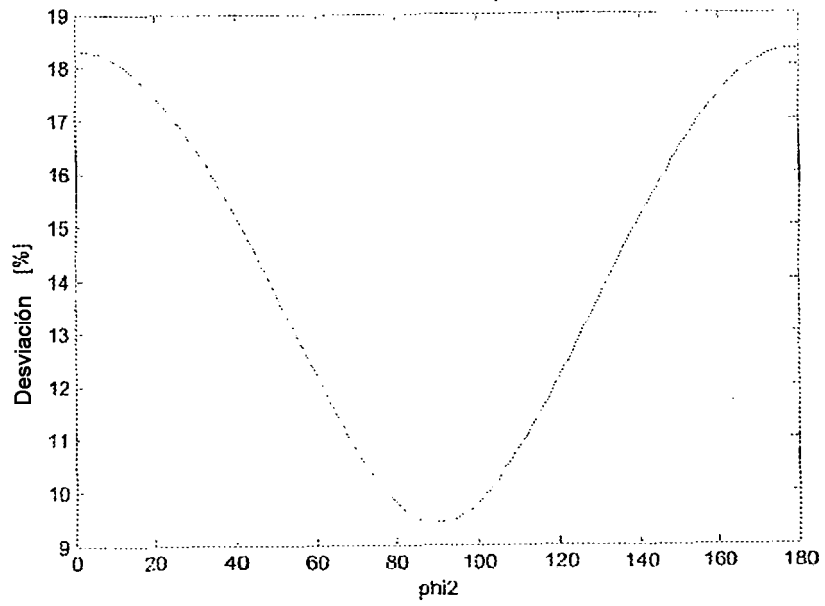


FIG. 3

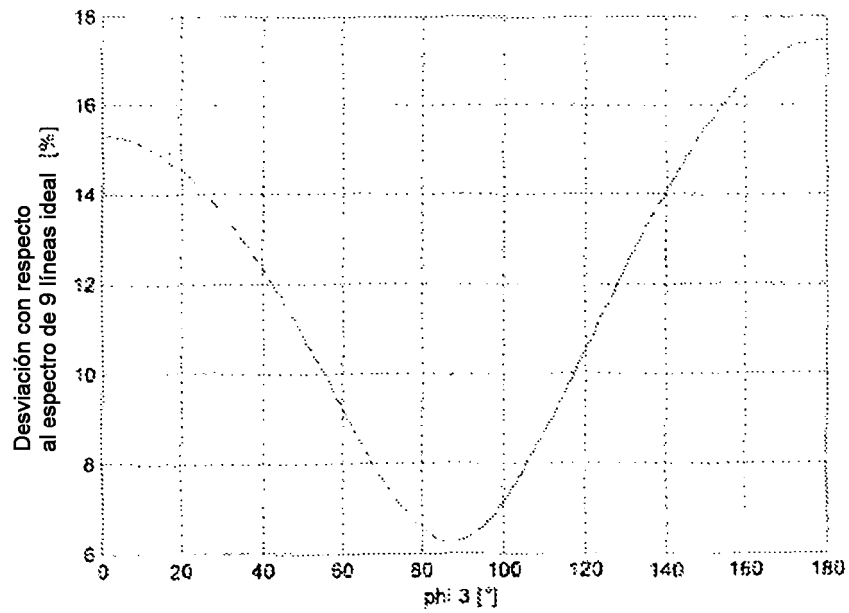


FIG. 4

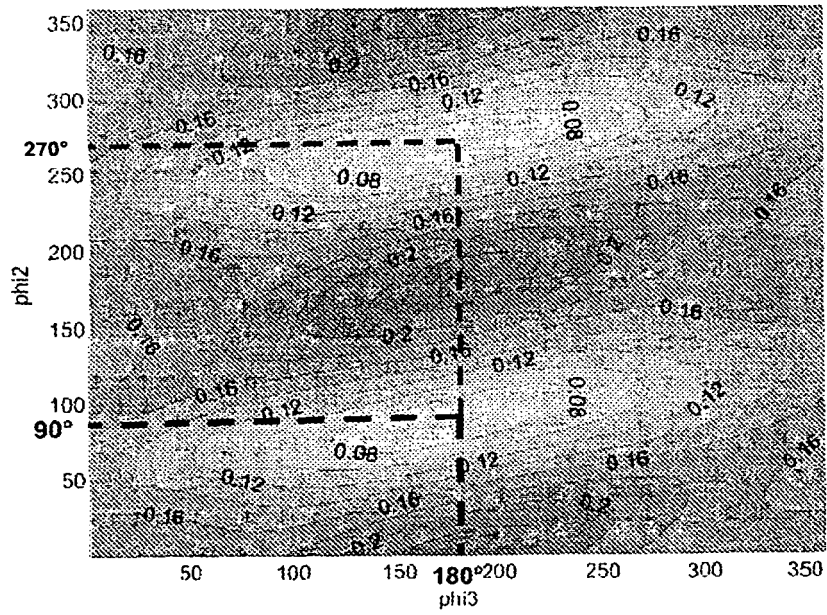


FIG. 5

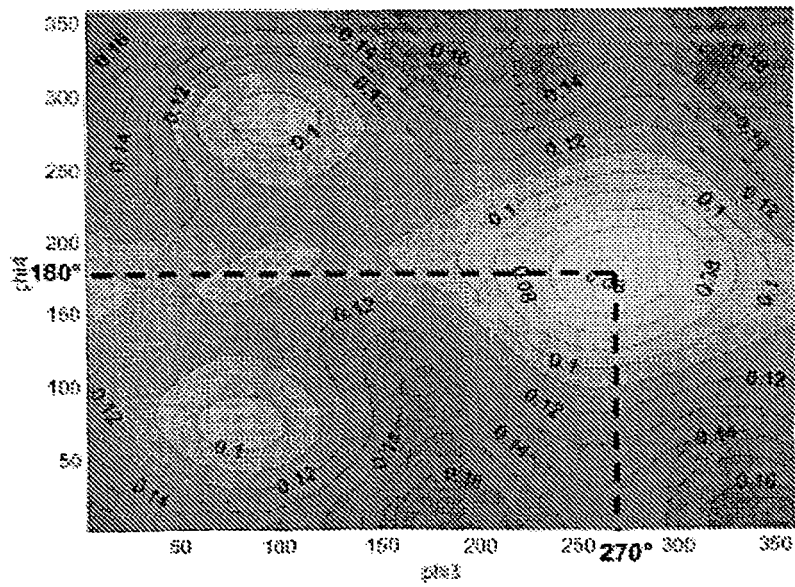


FIG. 6

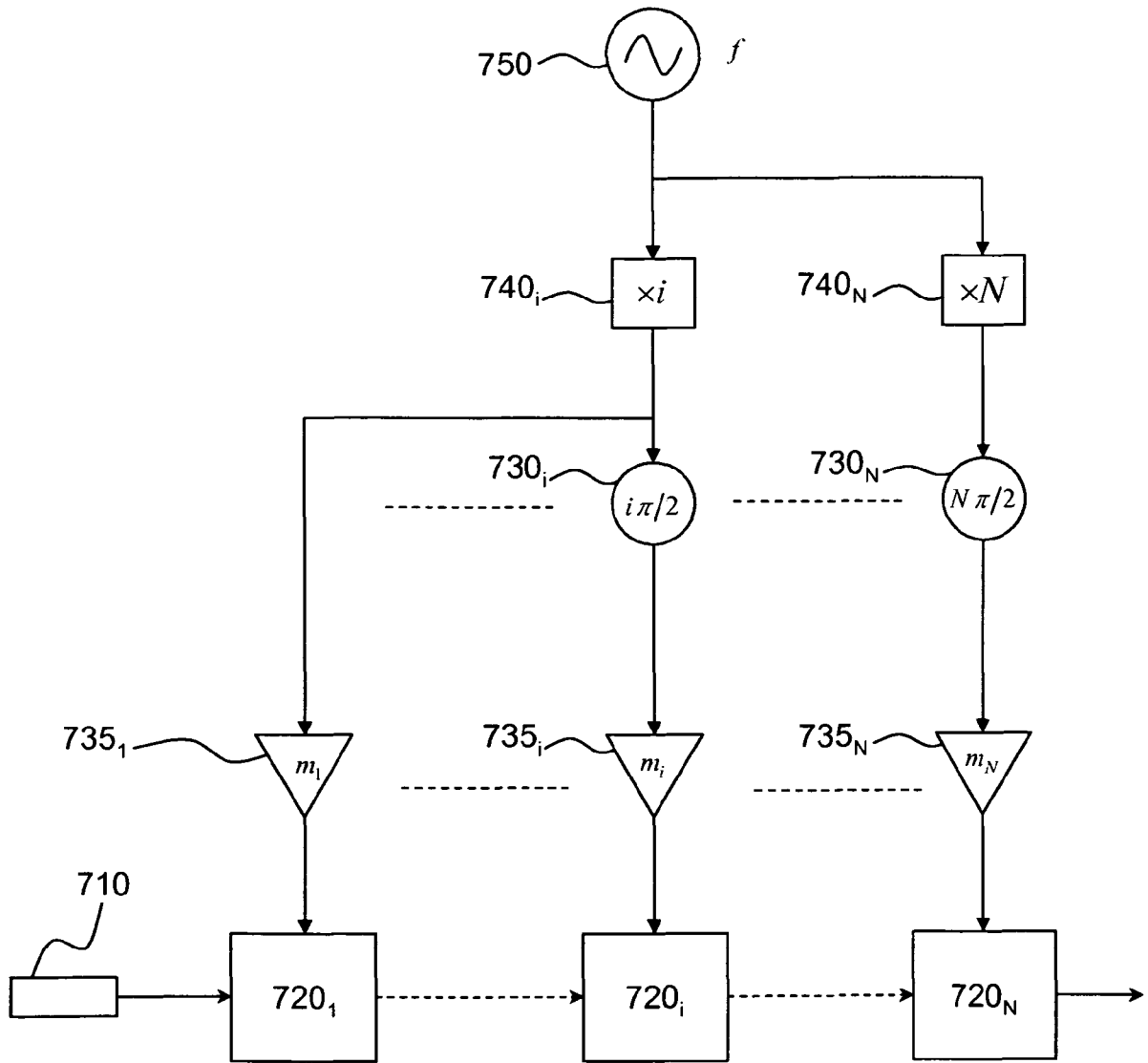


FIG. 7A

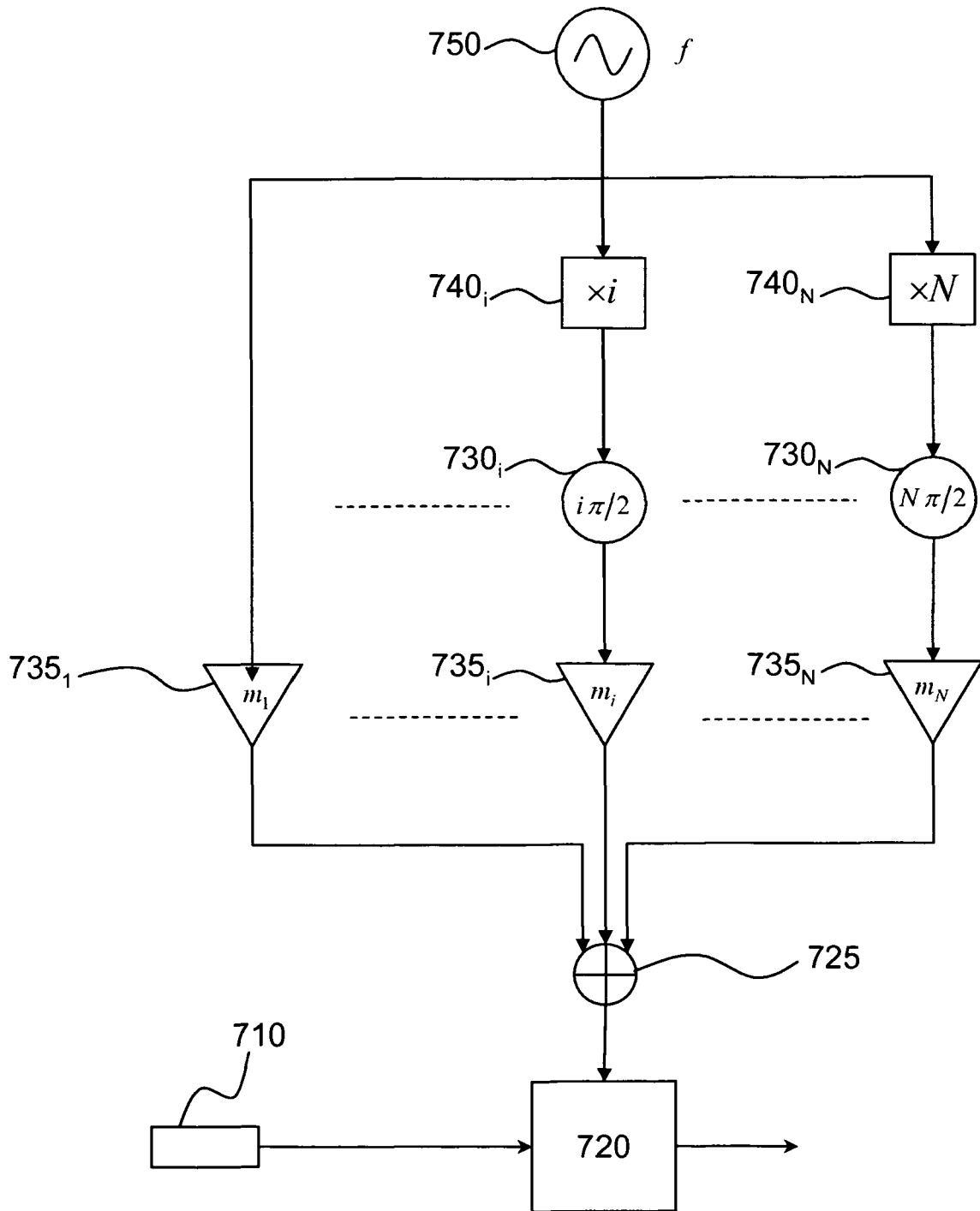


FIG. 7B