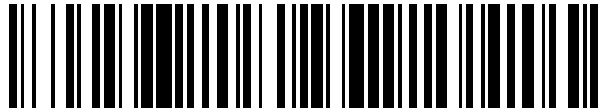


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 518**

51 Int. Cl.:

G01S 13/34 (2006.01)

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.02.2013 E 13706280 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2834664**

54 Título: **Radar de baja probabilidad de interceptación**

30 Prioridad:

02.03.2012 FR 1200627

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

20.06.2016

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR**

72 Inventor/es:

**CORNIC, PASCAL;
KEMKEMIAN, STÉPHANE y
ARTIS, JEAN-PAUL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 574 518 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

Radar de baja probabilidad de interceptación

La invención se refiere a los radares de baja probabilidad de interceptación que son difíciles de detectar.

Esta se aplica para los radares que tienen una función SAR.

- 5 Existen hoy en día radares de baja probabilidad de interceptación, abreviado L.P.I. (abreviatura anglosajona de *Low Probability of Intercept*), que utilizan la mayoría técnicas de transmisión continua o casi continua, buscando reducir la potencia pico emitida.

10 Estas técnicas de transmisión continua, cuando se emplean solas, pueden verse contrarrestadas por la implementación de detectores modernos que utilizan tratamientos adaptados que permiten una integración coherente de la señal en un tiempo largo, tradicionalmente de entre una y algunas decenas de ms.

15 Por otra parte, los radares de ondas continuas presentan un inconveniente principal, relativo al acoplamiento entre la transmisión y la recepción que son simultáneas, lo que tiende a limitar mucho su utilización en cuanto el alcance solicitado es importante, tradicionalmente más allá de entre uno y algunas decenas de kilómetros. Un primer problema que hay que resolver es, por lo tanto, reforzar el carácter de “discreción” de los radares con el fin de que su detección sea lo más difícil posible. Un segundo problema es aumentar el alcance de los radares discretos.

20 Por su diseño, dichos radares LPI son difíciles de detectar. Estos radares son tradicionalmente unos radares de ondas continuas, con modulación de frecuencia FMCW (abreviatura anglosajona de *Frequency Modulated Continuous Wave*) o FSK (abreviatura anglosajona de *Frequency Shift Keying*), o incluso con modulación de fase de tipo PSK (*Phase Shift Keying*) o de tipo Barker conocida por el experto en la materia. Los radares LPI son difíciles de detectar por los detectores clásicos que buscan la detección de pulso de radar de alta potencia pico. Por otra parte, los radares de transmisión continua o casi continua están limitados en alcance, debido a las fugas entre el emisor y el receptor.

25 La patente EP 2 296 006 del solicitante describe un radar aerotransportado con amplia cobertura angular, para la función de detección y de evitación de obstáculo. Las características de este radar son, al nivel del dispositivo de transmisión, que dispone de elementos radiantes que focalizan un haz de transmisión, siendo las redes paralelas entre sí, y que se controla los elementos radiantes para producir un barrido electrónico del haz de transmisión en elevación y una transmisión coloreada en elevación.

30 De aquí en adelante en la descripción, la expresión “subred elemental” designa un conjunto constituido por varios elementos de antena emisores o receptores. Una red de antenas o antena está constituida por N subredes elementales en misión o M subredes en recepción. La estructura de las antenas o red de antenas en transmisión o en recepción es de tipo Múltiple Entrada Múltiple Salida o MIMO conocida por el experto en la materia. Las subredes elementales se pueden identificar en la antena mediante un índice.

La palabra “chirp” designa en la presente invención una rampa de frecuencia.

35 La idea de la presente invención es en particular ofrecer un radar que tiene una estructura que permite emitir una energía sin focalización o con una baja focalización en al menos un plano en la transmisión, con una baja potencia pico y en un amplio ancho de banda de frecuencia, lo que hace que su interceptación sea extremadamente difícil. La arquitectura del radar de acuerdo con la invención consta en particular de unas antenas de red en la transmisión y en la recepción de tipo múltiple entrada múltiple salida o MIMO asociado a una técnica de difusión frecuencial, espacial y temporal.

40 La invención tiene por objeto un radar que comprende al menos una antena de transmisión constituida por N subredes elementales no directivas en al menos un plano de transmisión, y una antena de recepción constituida por M subredes elementales, las emisiones de las subredes son ortogonales entre sí debió a su separación de frecuencia y cada una cubre una subbanda de misma anchura $\Delta F/N$, estando dichas subbandas correspondientes separadas unas de otras, constandingo el radar de:

45 Al nivel de la antena de transmisión

Una subred elemental de la antena de transmisión está conectada a un generador de forma de onda,

50 Al menos un oscilador en asociación con los N generadores de forma de onda asociados a las N subredes elementales, que forman un conjunto adaptado para generar para cada una de las subredes elementales una forma de onda tal que cada una de las subredes elementales emite unas señales continuas o casi continuas según un patrón temporal y periódico de tal forma que:

- El patrón de transmisión cubre un ancho ΔF de banda durante una duración T_m dada,
- El patrón de transmisión está compuesto por N subpatrones diferentes unos de otros, siendo la duración de un patrón igual a T_m/N , y cubre una subbanda de la banda ΔF de frecuencia total,

- Los patrones emitidos por las diferentes subredes se deducen unos de otros mediante retardos elementales que son múltiplos de T_m/N , siendo los N subpatrones emitidos por las subredes diferentes durante cada intervalo de tiempo T_m/n de duración,

Al nivel de la antena de recepción

5 Cada una de las M subredes elementales de la antena de recepción está adaptada para captar las señales reflejadas procedentes de la transmisión de las N subredes elementales de la antena de transmisión,

La antena de recepción comprende unos medios adaptados para realizar una compresión de la señal recibida en el espacio y en el tiempo.

10 El oscilador se puede adaptar para generar al nivel de las subredes elementales unas emisiones simultáneas en unas bandas de frecuencia diferentes y separadas.

Cada subred está, por ejemplo, adaptada para cubrir el conjunto del ancho ΔF de banda a lo largo de un patrón T_m .

El patrón de transmisión es, por ejemplo, una rampa de frecuencia.

Según una forma de realización, los N generadores de forma de onda son independientes.

15 El radar consta, por ejemplo, al nivel de la recepción de unos medios de filtrado frecuencial adaptados para reducir las fugas de transmisión de las diferentes subredes de transmisión.

El radar puede constar de un único oscilador piloto en asociación con los N generadores de onda, estando dicho oscilador adaptado para realizar la sincronización de transmisión de los patrones.

El radar según la invención consta, por ejemplo, de una función radar SAR.

20 La invención se refiere también a un procedimiento que permite atenuar la detección de un radar caracterizado porque dicho procedimiento se implementa en un radar que presenta al menos una de las características mencionadas con anterioridad y porque consta de una etapa que consiste en difundir la energía producida por un radar en el tiempo, el espacio y el dominio de la frecuencia.

El procedimiento puede constar al menos de las siguientes etapas:

25 • Al nivel de una antena de transmisión constituida por N subredes elementales no directivas en al menos un plano en la transmisión conectadas cada una a un generador de forma de onda,

- generar para cada una de las subredes elementales una forma de onda tal que cada una de las subredes elementales emite unas señales continuas o casi continuas según un patrón temporal y periódico de tal forma que:

- utiliza un patrón de transmisión que cubre un ancho ΔF de banda durante una duración T_m ,
 - el patrón de transmisión está compuesto por N subpatrones diferentes unos de otros, siendo la duración de un patrón igual a T_m/N ,
 - los patrones emitidos por las diferentes subredes se deducen unos de otros mediante retardos elementales que son múltiplos T_m/N , siendo los N subpatrones emitidos por las subredes diferentes durante cada intervalo de tiempo T_m/n de duración,
- 30

35 • Al nivel de la antena de recepción que comprende M subredes elementales adaptadas para captar las señales reflejadas procedentes de la transmisión de las N subredes elementales de la antena de transmisión,

- realizar una compresión de la señal recibida en el espacio y en el tiempo de las señales recibidas.

40 Se mostrarán mejor otras características y ventajas del dispositivo según la invención con la lectura de la descripción que viene a continuación de un ejemplo de realización, dado a título ilustrativo y en modo alguno limitativo, adjunto de las figuras que representan:

- la figura 1, la representación de un tren de ondas emitido por una subred de antenas de rango i ,
 - la figura 2, un ejemplo de las señales emitidas a lo largo del tiempo a partir de las diferentes subredes de la antena de transmisión, para el patrón elemental de la figura 1,
 - la figura 3, un ejemplo de señal emitida por una subred elemental,
 - la figura 4, un esquema de ocupación espectral,
 - la figura 5A, un ejemplo de configuración de N subredes en la transmisión y la figura 5B M subredes de antenas en la recepción,
 - la figura 6, un ejemplo de arquitectura para el control de los generadores de forma de onda,
 - la figura 7, un ejemplo de distribución de subpatrones,
 - la figura 8, un caso particular en el que el mismo patrón alimenta las diferentes subredes,
- 45
- 50

- la figura 9, un ejemplo de subpatrones asignados en un orden cualquiera en la transmisión de las subredes,
- la figura 10, una representación de los retardos de propagación,
- la figura 11, una forma de realización para el filtrado en la llegada de las señales,
- la figura 12, un ejemplo de las etapas de tratamiento de las señales en la recepción.

5 Antes de describir un ejemplo de radar según la invención y su implementación, se van a exponer algunos recordatorios sobre los principios utilizados en la transmisión y en la recepción de la señal para un radar que comprende al nivel del emisor una antena de red en la transmisión y una antena de red en la recepción de conformidad con las arquitecturas MIMO mencionadas con anterioridad. Cada una de estas antenas está
10 constituida, por ejemplo, por subredes idénticas y no directivas en al menos un plano en la transmisión.

La figura 1 esquematiza en un sistema de ejes en el que el eje de abscisas representa el tiempo y el eje de las ordenadas la amplitud de la señal emitida por una subred elemental, un tren de ondas emitido por la subred de rango i .

15 En la transmisión, todas las subredes elementales de la antena de transmisión emiten simultáneamente un mismo tren de ondas en una frecuencia f portadora, con para cada subred elemental un retardo τ diferente con respecto a un origen común de los tiempos. Este tren de ondas emitido, por ejemplo, por la subred de rango i , como se presenta en la figura 1, está constituido por una sucesión de patrones O_i , por ejemplo, idénticos que cubren cada uno una amplia banda ΔF de frecuencia dada durante un periodo de tiempo T_m dado. Los trenes de onda emitidos por las diferentes subredes están todas retardadas entre sí con un paso regular que depende del índice de la
20 subred. El retardo τ corresponde por ejemplo a T_m dividido por el número N de subredes de transmisión. En esta figura, todos los patrones son idénticos.

La figura 2 esquematiza un ejemplo de las señales emitidas a lo largo del tiempo a partir de las diferentes subredes, para el patrón elemental de la figura 1.

25 Cada patrón está a su vez constituido por N subpatrones diferentes unos de otros, siendo N igual al número de subredes, teniendo cada subpatrón la misma duración T_m/N y cubriendo una subbanda de la banda ΔF de frecuencia total. Las subbandas que corresponden a unas emisiones ortogonales cubren cada una una subbanda con la misma anchura $\Delta F/N$ y están separadas unas de otras, es decir que no hay solapamiento de señal entre dos subbandas consecutivas. Esto permite, en particular, que la sucesión de los subpatrones cubra la totalidad de la banda ΔF . La figura 3 da un ejemplo de señal emitida por una subred elemental para un número de subpatrones
30 igual a 8 y $T_m = T/8$ en un diagrama en el que el eje de abscisas es un eje temporal y el eje de ordenadas la señal emitida por una subred elemental. Los patrones emitidos por las subredes elementales se deducen unos de otros mediante unos retardos elementales que son múltiplos de T_m/N . Se puede ver en la figura 3 que todos los T_m/N , el subpatrón O_1, O_2, \dots, O_8 utilizado para la banda $\Delta F/N$ cubierta, varía a lo largo del tiempo.

35 Durante la duración de un subpatrón, las emisiones de todas las subredes son ortogonales entre sí debido a su separación de frecuencia y la banda cubierta es $\Delta F/N$

La figura 4 esquematiza la ocupación espectral para la totalidad de la banda ΔF cubierta. El eje de abscisas corresponde al tiempo. En el eje de ordenadas se ha representado para una subred elemental el valor del subpatrón en la transmisión. De este modo, considerando la primera columna, partiendo de la parte inferior del eje de ordenas, el patrón de frecuencia f lo utiliza la subred 1, el patrón $f + \Delta F/N$ la subred 2, y así sucesivamente, el patrón $f + 7 \Delta F/N$
40 lo utiliza la subred N . Para el intervalo de tiempo siguiente a $2T_m/N$, el patrón f lo utiliza la subred 2, el patrón $f + 7 \Delta F/N$ lo utiliza la subred 1. Todas las subredes elementales emiten simultáneamente, de modo que la banda cubierta durante la duración de un subpatrón por el conjunto de las subredes 1 a N es igual a la banda total cubierta durante un patrón completo por una única subred. En la figura 4, el número de subredes es igual a 8.

45 El orden de asignación de los subpatrones a las subredes elementales puede ser cualquiera, con la única condición de que, en cada periodo de tiempo correspondiente a la duración de un subpatrón, toda la banda de transmisión esté cubierta.

Mediante este procedimiento de transmisión, las diferentes subredes emiten unas ondas ortogonales, y la ganancia de antena resultante es la ganancia de una antena de una subred elemental.

50 En la recepción, cada subred elemental de índice j capta las señales reflejadas por un obstáculo en respuesta a las señales emitidas por las N subredes elementales. A continuación, se somete a las señales a un tratamiento, detallado más adelante en la descripción, que realiza una compresión de la señal tridimensional:

- en el tiempo, compresión del pulso,
- en el haz de antena en la transmisión, formación de haz en la transmisión,
- en el haz de antena en recepción, formación de haz en la recepción,
- en la velocidad, tratamiento Doppler de recurrencia en recurrencia.

La figura 5A esquematiza una antena de transmisión 10 constituida por N subredes $12i$ elementales, en la figura $N = 8$. La antena de transmisión se selecciona para ser poco directiva en al menos un plano en la transmisión.

La figura 5B representa un ejemplo de antena 20 de recepción constituida por M subredes 22j elementales, en este ejemplo M = 12. En este ejemplo, las N subredes son idénticas y no directivas.

Se puede tener un número igual de subredes elementales en la transmisión y en la recepción, N = M.

5 La figura 6 representa un ejemplo de arquitectura para la transmisión de la señal. Un oscilador 30 piloto se conecta a N generadores 31j de forma de onda. El oscilador 30 piloto tiene en particular como función garantizar la sincronización de transmisión de los generadores de forma de onda. Controla la fase de las señales emitidas para que en la recepción de las señales reflejadas por un obstáculo, se pueda llevar a cabo el procedimiento de separación y el procedimiento de reconstrucción de las señales. Un generador 31i de forma de onda se conecta a una subred elemental de índice i de la antena de transmisión. De este modo, el generador 31₁ de forma de onda va a emitir la señal X₁(t) hacia la primera subred 12₁ emisora, y así sucesivamente hasta el generador de forma de onda 10 31_N que emite la onda X_N(t) hacia la subred elemental de índice N.

El tren de ondas utilizado tiene una duración T y está constituido por N patrones periódicos con una duración T_m y con un periodo T_r, cubriendo cada patrón una banda ΔF de transmisión a lo largo de un periodo T_r.

15 El patrón puede estar constituido por una portadora de frecuencia f modulada en frecuencia o en fase, con como condición que se pueda dividir temporalmente en N subpatrones adyacentes, ocupando cada subpatrón una subbanda diferente de anchura ΔF/N. Se tiene un número N de subpatrones igual al número N de subredes elementales.

Al nivel de la antena de recepción, el radar según la invención consta de un generador de forma de onda, adaptado para reproducir la forma de la señal de transmisión de una cualquiera de las subredes de transmisión.

20 Un ejemplo de forma de onda se representa en la figura 7 en un diagrama en el que el eje de abscisas corresponde al tiempo y que muestra un patrón elemental constituido por una rampa de frecuencia descompuesta a su vez en subbandas de frecuencia de amplitud ΔF/N que corresponden a N subpatrones.

Según una forma de realización, las rampas de frecuencia se reproducen de forma periódica según un periodo T_r. La señal emitida puede ser interrumpida, o continua si la duración del patrón es igual a la duración del periodo T_r. Esto permite en particular utilizar toda la potencia disponible al nivel del emisor, y dispersar la energía emitida en el máximo de tiempo. En el ejemplo de la figura la señal emitida se interrumpe durante una duración de aproximadamente T_m/N y se reanuda en el punto T_r.

25 Durante cada segmento de tiempo T_m/N, cada subpatrón O_k de índice k se utiliza para alimentar la transmisión de una subred 12_i de índice i dado.

30 La figura 8 representa un ejemplo de distribución de los diferentes subpatrones en la transmisión en un diagrama en el que el eje de abscisas es el eje temporal y el eje de ordenadas representa para una subred dada la amplitud de los patrones asignados a una subred dada. Los diferentes subpatrones se pueden asignar en cualquier orden en la transmisión de las diferentes subredes.

35 Si se considera la línea que corresponde a la subred X₁(t), se encuentra a lo largo del tiempo la sucesión de los siguientes patrones: 6 ΔF/N, 3 ΔF/N, 7 ΔF/N, ΔF/N, 4 ΔF/N, 8 ΔF/N, 2 ΔF/N, 5 ΔF/N para el periodo 8*T_m/N.

Si se suman las señales emitidas por las N sub-redes elementales para el periodo T_m/N, el valor obtenido corresponde a la suma de las N señales emitidas para una subred elemental dada.

40 La figura 9 esquematiza un ejemplo de implementación en el que un mismo patrón "chirp" se utiliza para alimentar las diferentes subredes con un retardo progresivo que varía según un paso que corresponde a T_m/N, es decir la duración del patrón dividido por el número de subredes.

Considerando las subredes 1, X₁(t) corresponde a una rampa constituida por una sucesión de rampas de duración T_m/N y con una amplitud que comienza en ΔF/N, 2 ΔF/N, 3 ΔF/N,... 8 ΔF/N.

La subred X₂(t) se asocia al patrón 8 ΔF/N en una duración T_m/N seguido de los patrones ΔF/N, 2 ΔF/N, 3 ΔF/N,... 7 ΔF/N.

45 La subred N se asocia a la sucesión de patrones 2 ΔF/N,..., 8 ΔF/N, ΔF/N.

De este modo, las señales de transmisión de las diferentes subredes se deducen unas de otras mediante una permutación circular de la forma

$$X_{i+k}(t) = X_i(t - kT_m/N) \quad (1)$$

De la misma manera, la frecuencia de la señal emitida por la subred i en el instante t es igual a

50
$$F_{i+k}(t) = F_i(t) - k\Delta F/N \quad (2)$$

En el dominio temporal, la condición de ortogonalidad se escribe:

sea cual sea l, sea cual sea p

$$\int_t^{t+Tm/N} X_l(t) \overline{X_p(t)} dt = 0 \quad (3)$$

lo que es cierto, si $\Delta F = kN/Tm$ donde k es un entero.

5 La figura 10 esquematiza la recepción de las señales en las M subredes $22j$ elementales de la antena de recepción.

La señal $S_j(t)$ de recepción de la subred j se puede escribir como:

$$S_j(t) = A \sum_{i=1}^N X_i(t - \tau_{i,j}) \quad (4)$$

donde

10 A corresponde a un coeficiente de atenuación y $\tau_{i,j}$ corresponde al retardo de propagación entre la transmisión en la subred i y la recepción en la subred j.

Para una subred de transmisión dada, el retardo de propagación depende de la distancia $D(t)$ del blanco, identificándose la distancia con respecto al centro de fase de la subred, y de la dirección θ del blanco 4C.

15 Suponiendo que las subredes de transmisión y de recepción están muy cerca, se tiene como obstáculo u objeto 4C en el infinito en la θ con respecto a la normal a una alineación regular de subred: el retardo de propagación que se expresa por:

$$\tau_{i,j}(t) = \frac{2R(t) + ai \sin(\theta)}{C} \quad (5)$$

donde

20 i es el índice de la subred considerada, tomándose el origen en el centro de fase de la primera subred
a es la distancia entre dos subredes
C es la velocidad de la luz

La señal de recepción de la subred j se correlaciona con cada recurrencia Tr mediante el filtrado adaptado con la señal de transmisión de una subred i cualquiera. Esta operación realiza una compresión de pulsos y corresponde a una demodulación de la señal recibida mediante la réplica de la señal emitida (*de-ramping*), seguida de una transformada de Fourier.

25 La operación se escribe:

$$R_k(\tau_{i,j}) = \int_{kTr}^{kTr+Tm} (A \sum_{i=1}^N X_i(t - \tau_{i,j})) \cdot \overline{X_i(t)} e^{-2\pi j f t} dt \quad (6)$$

donde Tr es el periodo de recurrencia y k el índice del periodo de recurrencia en el que se lleva a cabo la correlación.

Al ser las señales X_i ortogonales entre sí, el resultado se presenta en forma de una serie de rayas

$$30 R_{i,j} = A \sum_{i=1}^N \delta_{i,j}(f - f_{i,j}) \exp^{2j\pi\phi_{i,j}}$$

que están presentes en las frecuencias:

$$f_{i,j} = \frac{\Delta F \tau_{i,j}}{T_m} - \frac{(i-1)\Delta F}{N} \quad (7)$$

y tienen como fases respectivas

$$\varphi_{i,j} = 2\pi f \left(\tau_{i,j} - \frac{(i-1)T_m}{N} \right) \quad (8)$$

donde f es la frecuencia portadora o incluso utilizando (5):

$$\varphi_{i,j} = 2\pi f \left(\frac{2R(t) + ai \sin(\theta)}{C} - \frac{(i-1)T_m}{N} \right) \quad (9)$$

5 En la práctica la transformada de Fourier se lleva a cabo de forma digital en la señal digitalizada.

Las diferentes rayas que corresponden a las señales emitidas de las N subredes de transmisión se muestran en N filtros distintos, por medio de las propiedades de ortogonalidad.

10 Basta, por tanto, con sumar las señales en la salida de estos diferentes filtros después de la reposición de fase, es decir multiplicando por $\exp^{-j\varphi_{i,j}}$ para realizar la compresión del haz en la transmisión. Esta reposición de fase se lleva a cabo para cada distancia D(t) y para cada dirección de apuntamiento θ , y corresponde a una formación de haz mediante el cálculo.

15 El esquema de la figura 11 representa las operaciones sucesivas realizadas en la señal recibida en cada subred de antena en recepción. La señal $S_j(t)$ recibida por la subred j se convierte 41 mediante un convertidor analógico digital en una señal digital, y a continuación se correlaciona con la imagen de la señal emitida en la subred de índice i. A continuación se realiza 43 una transformada de Fourier.

En la salida de este tratamiento, las señales recibidas se distribuyen en cada recurrencia en amplitud y en fase por casilla distancia y por dirección de haz en la transmisión, y para cada subred elemental de recepción de índice j. Hay potencialmente un número $N_{cd} = \Delta T_m$ de casillas distancia.

20 Es por tanto posible realizar los tratamientos de radar convencionales, como la formación de haz en recepción con el conjunto de las M subredes de recepción, o un tratamiento Doppler en varias recurrencias.

Según otra forma de realización, el receptor puede constar de una o de varias etapas de frecuencia intermedia, la correlación se puede llevar a cabo en el dominio de la frecuencia.

25 Una forma preferente de realización consiste en separar mediante un primer filtrado de paso de banda las señales antes de la codificación y FFT (*Fast Fourier Transform* o transformada rápida de Fourier) de forma que se reduzca la frecuencia de muestreo y el número de puntos de la FFT.

En este enfoque, se realizan N filtros adyacentes de anchura $\Delta F/N$ en la salida del demodulador, cubriendo el conjunto la banda ΔF de recepción total.

30 Dicho esquema se representa en la figura 12. La imagen de la señal emitida en la subred i es $X_i^*(t)$. Tras la correlación de la señal $S_j(t)$ con la imagen de la señal emitida, la señal resultante de la correlación se distribuye 51 en N subbandas espectrales. Cada canal de recepción corresponde a una subred, las diferentes subimágenes se filtran 52 en primer lugar, siendo la frecuencia central del filtro $\Delta F/2$, a continuación cada subimagen filtrada se convierte mediante un convertidor 53 analógico digital, a continuación se somete a una transformada rápida de Fourier FFT 54. La subimagen se trata 55 a continuación para recuperar el haz en la transmisión según un tratamiento conocido por el experto en la materia.

35 El radar de acuerdo con la invención presenta en particular la ventaja de reducir las fugas de transmisión de las diferentes subredes de transmisión que se encuentran distribuidas espectralmente en N rayas ortogonales. Al corresponder estas fugas a un retardo de propagación cercano a cero, estas rayas se sitúan en las posiciones 0, $\Delta F/N$, $2\Delta F/N$, ... ΔF .

40 Al nivel de una subred de recepción dada, estas fugas se suman en potencia, en lugar de sumarse en fase, como es el caso para los radares con antena de red clásica, en los que las ondas emitidas por cada subred de transmisión son idénticas.

45 Del mismo modo, los ruidos contenidos en estas fugas se generan mediante unos generadores de forma de onda independientes y se suman en potencia, por ejemplo, de configuración de la figura 6 que representa varios generadores de formas de onda, estando cada uno asociado a una subred de transmisión. Esto permite, en particular, volver las fugas de transmisión hacia la recepción no coherentes.

Cada generador de forma de onda, GFO, lleva un ruido, y los ruidos son independientes de un GFO a otro.

Cada generador de forma de onda se realiza a su vez por medio de al menos un oscilador (VCO por ejemplo) y de un bucle de fase controlado por un circuito de síntesis de fase digital (DDS) no representado en la figura en aras de la simplificación.

Los generadores GFO de forma de onda se sincronizan mediante un mismo oscilador 30 de referencia (figura 6).

Escribiendo $a_{i,j}$ el coeficiente de acoplamiento complejo entre la subred de transmisión i y la subred de recepción j y p la potencia de transmisión elemental de cada subred, la potencia de la fuga captada por la subred de rango j se

escribe $Pf = (\sum_{i=1}^N a_{i,j} \sqrt{p})^2$ para el caso de un radar según la técnica anterior, lo que corresponde a una suma

5 vectorial de las fugas recibidas por cada una de las subredes elementales, mientras que en el caso de un radar que presenta la estructura según la invención la potencia de fuga interior se expresa: $Pf = \sum_{i=1}^N a_{i,j}^2 p$ lo que permite de manera ventajosa detectar el objeto con una mejor sensibilidad.

En el caso en el que los coeficientes de acoplamiento son todos idénticos: $a_{i,j} = a$, el nivel Pf de fuga es igual a Nap en el primer caso y de N^2ap en el segundo caso. Por lo tanto, la fuga se reduce en una proporción N .

10 Lo mismo sucede para el ruido que lleva la fuga, que está ligada a los defectos de pureza espectral de los osciladores.

Al ser estos ruidos de banda estrecha y al estar centrados en las rayas de transmisión, una variante de realización consiste, por ejemplo, en añadir al nivel de la cadena de recepción del radar, un filtro supresor conocido por el experto en la materia y colocado aguas arriba que tiene en particular como función eliminar esta rayas y reducir el

15 nivel de ruido.
Una aplicación posible del radar de acuerdo con la invención es la de un radar SAR (*synthetic aperture*) de alta resolución.

En este ejemplo, se pueden realizar unas rampas de frecuencia de 1 GHz para una resolución de 15 cm, en una duración del orden de 500 μ s para una distancia no ambigua del radar de 75 km.

20 La transmisión se realiza, por ejemplo, en 32 subredes omnidireccionales y la banda de 1 GHz se divide en 32 subbandas de 34 MHz cada una.

Cada subred emite una potencia P elemental, la potencia isotrópica irradiada equivalente es $PIRE = 32 P$.

Por difusión de la potencia en el tiempo, la potencia P_c pico se reduce en una proporción 10 con respecto a un radar clásico de factor de forma 10 %. Teniendo en cuenta la pendiente de la rampa de frecuencia 1 GHz/500 μ s, un sistema de interceptación adaptado a la detección tendrá un ancho de banda del orden de 2 MHz y solo percibirá la potencia pico correspondiente a un único canal de 34 MHz, que corresponde a la transmisión de una subred no focalizada. La energía recibida en un filtro de este tipo se reducirá, por lo tanto, en una proporción 32 con respecto a un radar que emite la misma potencia en una red focalizada. La ganancia global en discreción es de 320, esto es 25

25 dB.

30 Por otra parte, en el caso de un radar SAR, el tratamiento puede limitarse a un dominio distancia reducido que corresponde al barrido deseado y a una dirección de objetivo única, lo que reduce considerablemente el volumen de cálculos que hay que llevar a cabo en la señal recibida.

La energía emitida por el radar según la invención se distribuye, por ejemplo, en un vasto dominio angular del orden de 90°, en una amplia banda de frecuencia, por ejemplo 1 GHz y en un tiempo largo.

35 El radar, objeto de la presente invención presenta, en particular, como ventaja que presenta una dispersión de la energía emitida de forma simultánea en el tiempo, en el dominio de la frecuencia y en el espacio limitando al mismo tiempo el efecto de las fugas de transmisión hacia la recepción, por medio de un procedimiento particular que se describe a continuación.

40 El alcance del radar según la invención se encuentra incrementado con respecto a los radares clásicamente utilizados en la técnica anterior.

Con respecto a un radar clásico con la misma superficie de antena de transmisión que emite la misma potencia total, la potencia isotrópica irradiada equivalente se divide en una proporción N . Con respecto a un radar LPI de transmisión continua cuya energía se distribuye en una banda ΔF de frecuencia durante un tiempo T_m , la misma banda ΔF de frecuencia está cubierta durante un tiempo T_m/N lo que reduce la relación señal a ruido en el filtro de

45 detección en una proporción N . La difusión de frecuencia se realiza a la vez de forma instantánea y mientras dure el patrón.

REIVINDICACIONES

5 1. Radar que comprende al menos una antena de transmisión que consiste en N subredes elementales no directivas en al menos un plano de transmisión, y una antena de recepción que consiste en M subredes elementales, las transmisiones de las subredes son ortogonales entre sí debido a su separación de frecuencias y cada transmisión cubre una subbanda de misma anchura $\Delta F/N$, estando dichas subbandas correspondientes separadas unas de otras, comprendiendo el radar:

Al nivel de la antena de transmisión

Una subred (12i) elemental de la antena (10) de transmisión está conectada a un generador (31i) de forma de onda,

10 Al menos un oscilador (30) está en asociación con los N generadores (31i) de forma de onda asociados a las N subredes elementales, que forman un conjunto adaptado para generar para cada una de las subredes elementales una forma de onda tal que cada una de las subredes elementales transmite señales continuas o casi continuas según un patrón temporal y periódico de tal forma que:

- 15 • El patrón de transmisión cubre un ancho ΔF de banda durante una duración T_m dada,
- El patrón de transmisión está compuesto por N subpatrones diferentes unos de los otros, siendo la duración de un patrón igual a T_m/N y cubre una subbanda de la banda ΔF de frecuencia total,
- Los patrones transmitidos por las diferentes subredes se deducen unos de otros mediante retardos elementales que son múltiplos de T_m/N , siendo los N subpatrones transmitidos por las subredes diferentes durante cada intervalo de tiempo T_m/N de duración,

20 Al nivel de la antena de recepción

Cada una de las M subredes elementales de la antena de recepción está adaptada para captar las señales reflejadas procedentes de la transmisión de las N subredes elementales de la antena de transmisión, La antena de recepción que comprende unos medios adaptados para realizar una compresión de la señal recibida en el espacio y en el tiempo.

25 2. Radar según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el oscilador (30) está adaptado para generar al nivel de las subredes elementales unas transmisiones simultáneas en unas bandas de frecuencia diferentes y separadas.

3. Radar según la reivindicación 1, **caracterizado porque** cada subred está adaptada para cubrir el conjunto del ancho ΔF de banda a lo largo de un patrón T_m .

4. Radar según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el patrón de transmisión es una rampa de frecuencia.

30 5. Radar según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los N generadores (31i) de forma de onda son independientes.

6. Radar según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende al nivel de la recepción de unos medios de filtrado frecuencial adaptados para reducir las fugas de transmisión de las diferentes subredes de transmisión.

35 7. Radar según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende un único oscilador (30) piloto en asociación con los N generadores de onda, estando dicho oscilador adaptado para realizar la sincronización de transmisión de los patrones.

8. Radar según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende una función de radar SAR.

40 9. Procedimiento que permite atenuar la detección de un radar, **caracterizado porque** este se implementa en un radar según una de las reivindicaciones 1 a 8 y **porque** consiste en difundir la energía producida por un radar en el tiempo, el espacio y el dominio de la frecuencia.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** comprende al menos las siguientes etapas:

- Al nivel de una antena de transmisión que consiste en N subredes (12i) elementales, no directivas en al menos un plano en la transmisión, conectadas cada una a un generador (31i) de forma de onda,

45 ○ generar para cada una de las subredes elementales una forma de onda tal que cada una de las subredes elementales transmite unas señales continuas o casi continuas según un patrón temporal y periódico de tal forma que:

- se utiliza un patrón de transmisión que cubre un ancho ΔF de banda durante una duración T_m ,
 - el patrón de transmisión está compuesto por N subpatrones diferentes unos de otros, siendo la duración de un patrón igual a T_m/N ,
 - los patrones transmitidos por las diferentes subredes se deducen unos de otros mediante retardos elementales que son múltiplos T_m/N , siendo los N subpatrones transmitidos por las subredes
- 50

diferentes durante cada intervalo de tiempo T_m/N de duración,

- Al nivel de la antena de recepción que comprende M subredes elementales adaptadas para captar las señales reflejadas procedentes de la transmisión de las N subredes elementales de la antena de transmisión,
 - realizar una compresión de la señal recibida en el espacio y en el tiempo de las señales recibidas.

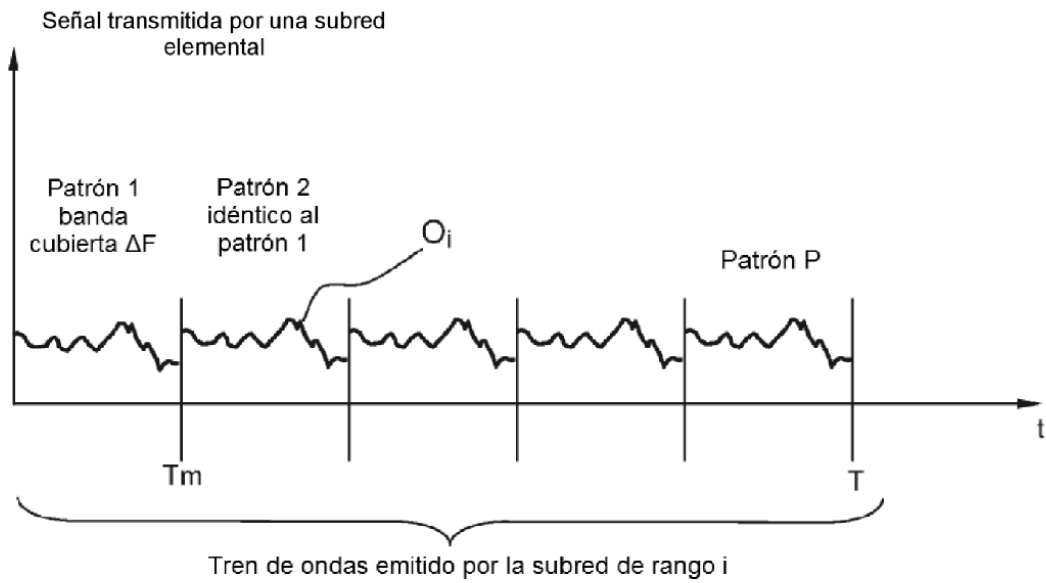


FIG.1

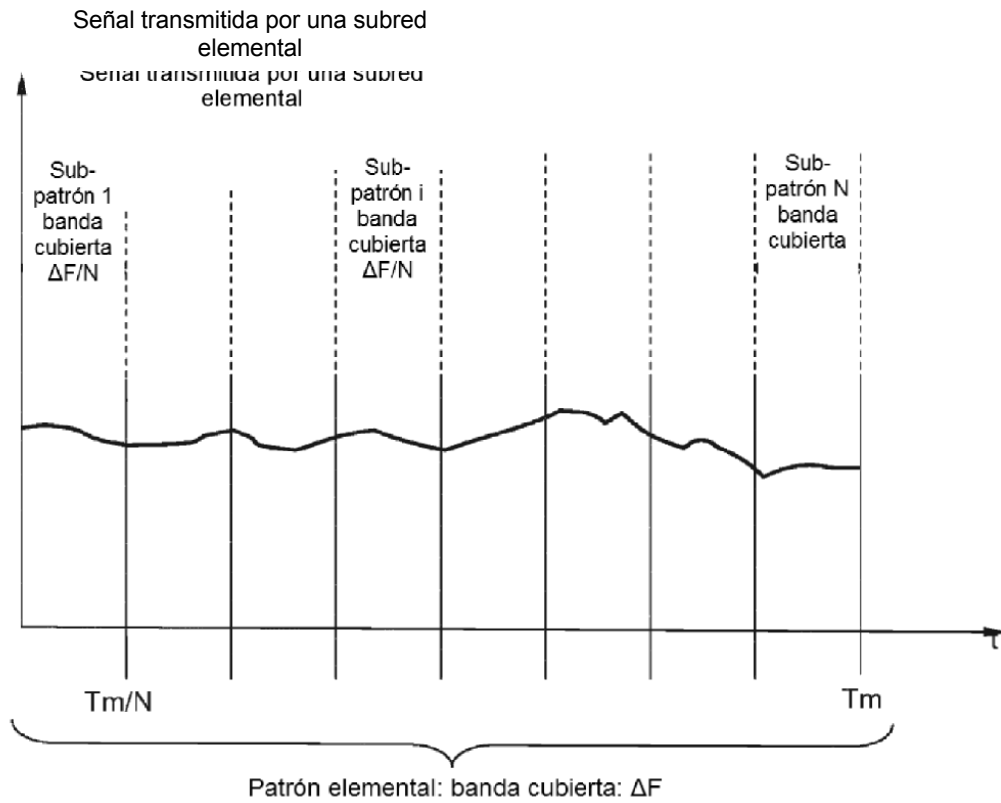


FIG.3

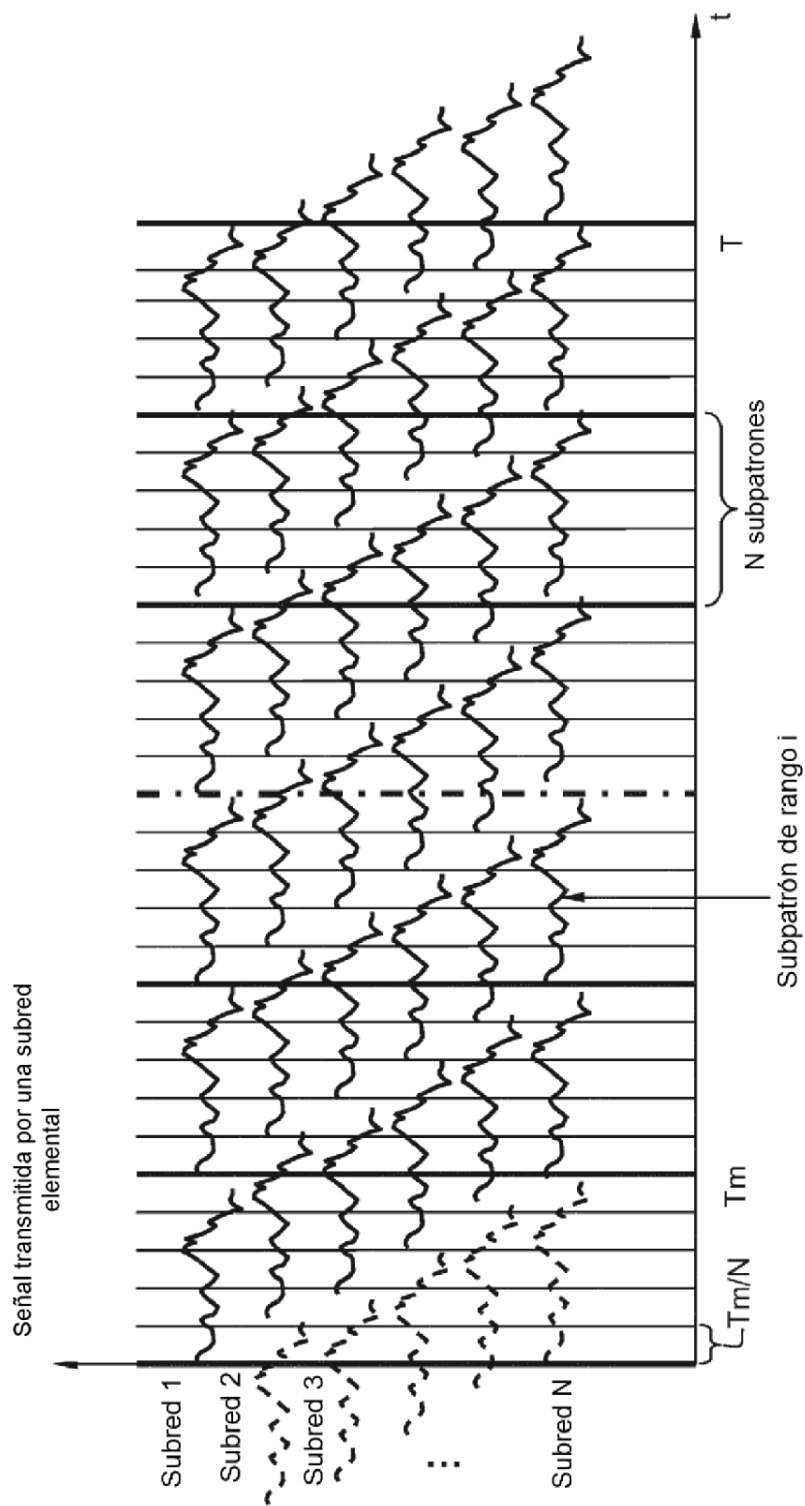


FIG.2

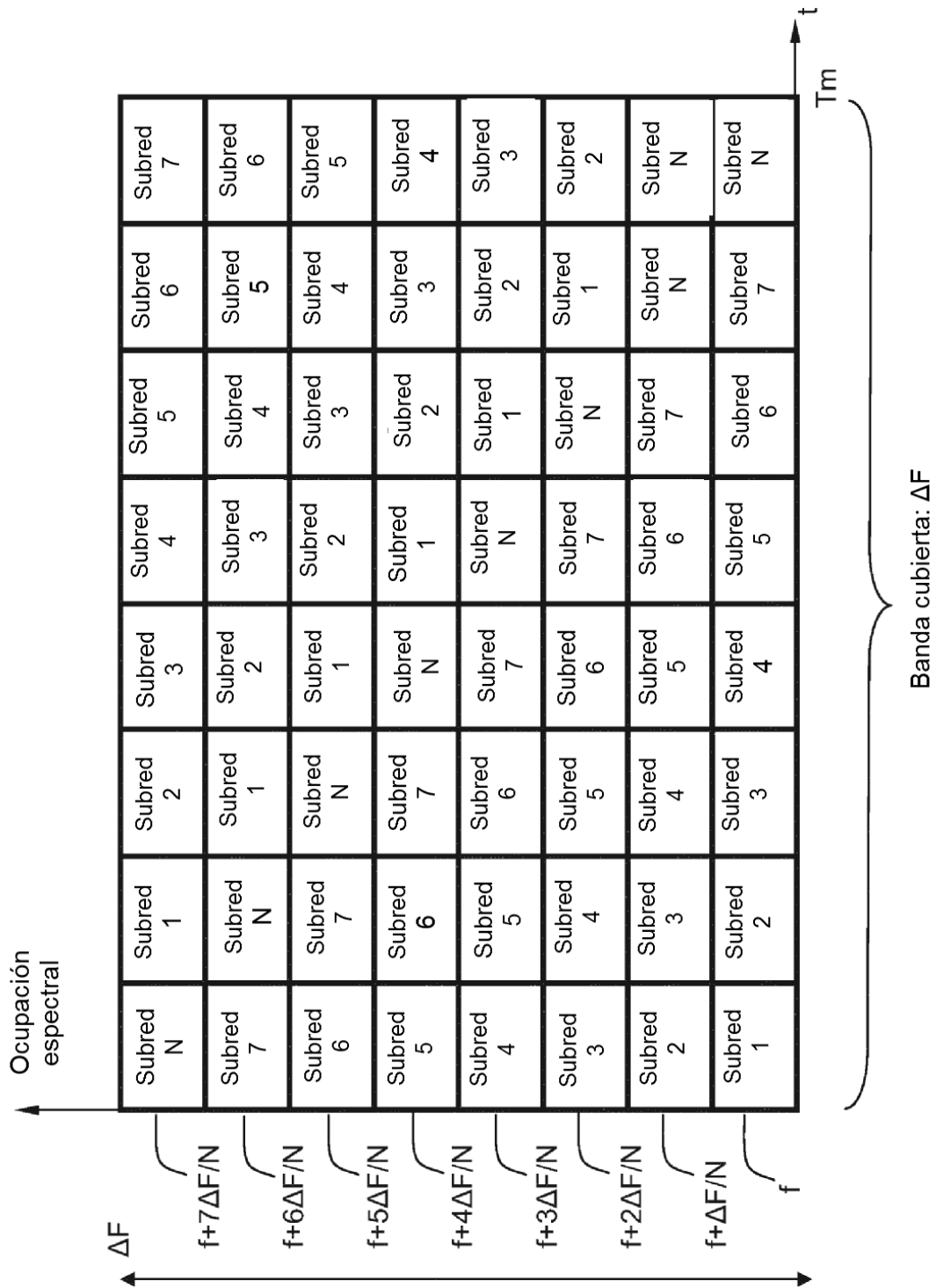
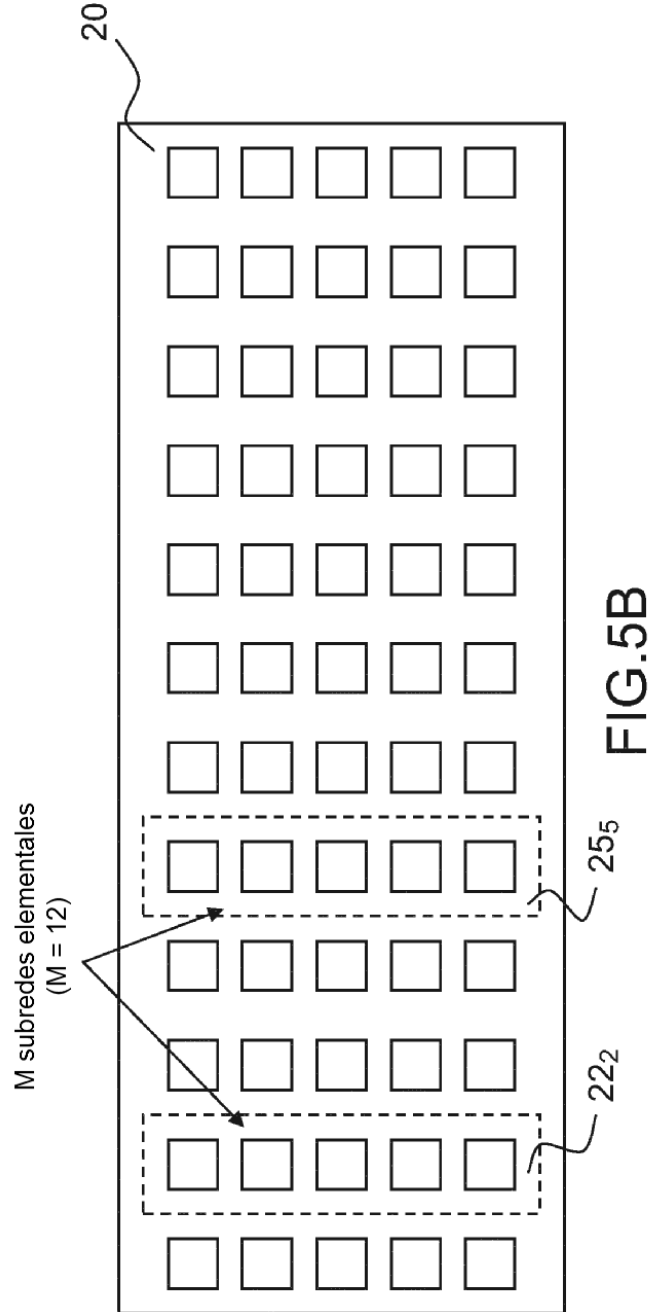
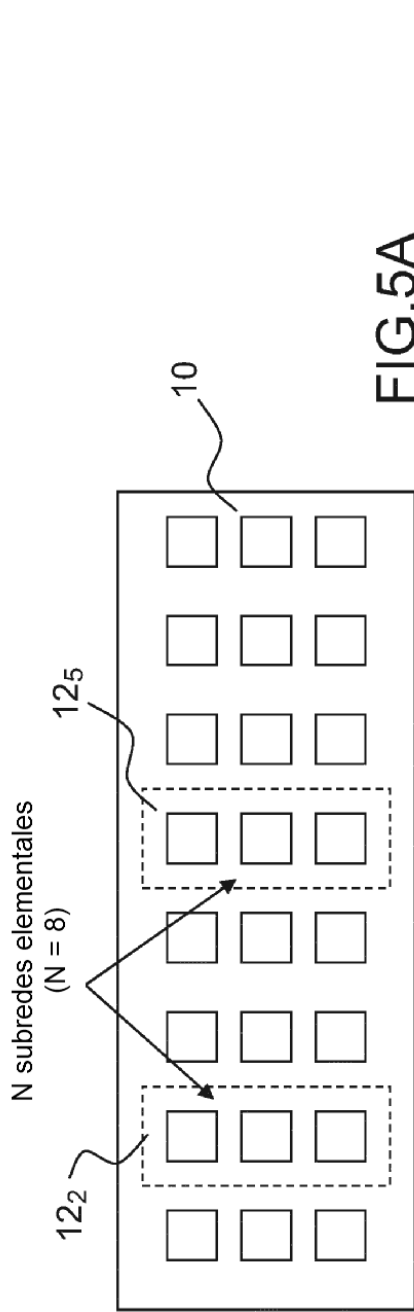


FIG.4



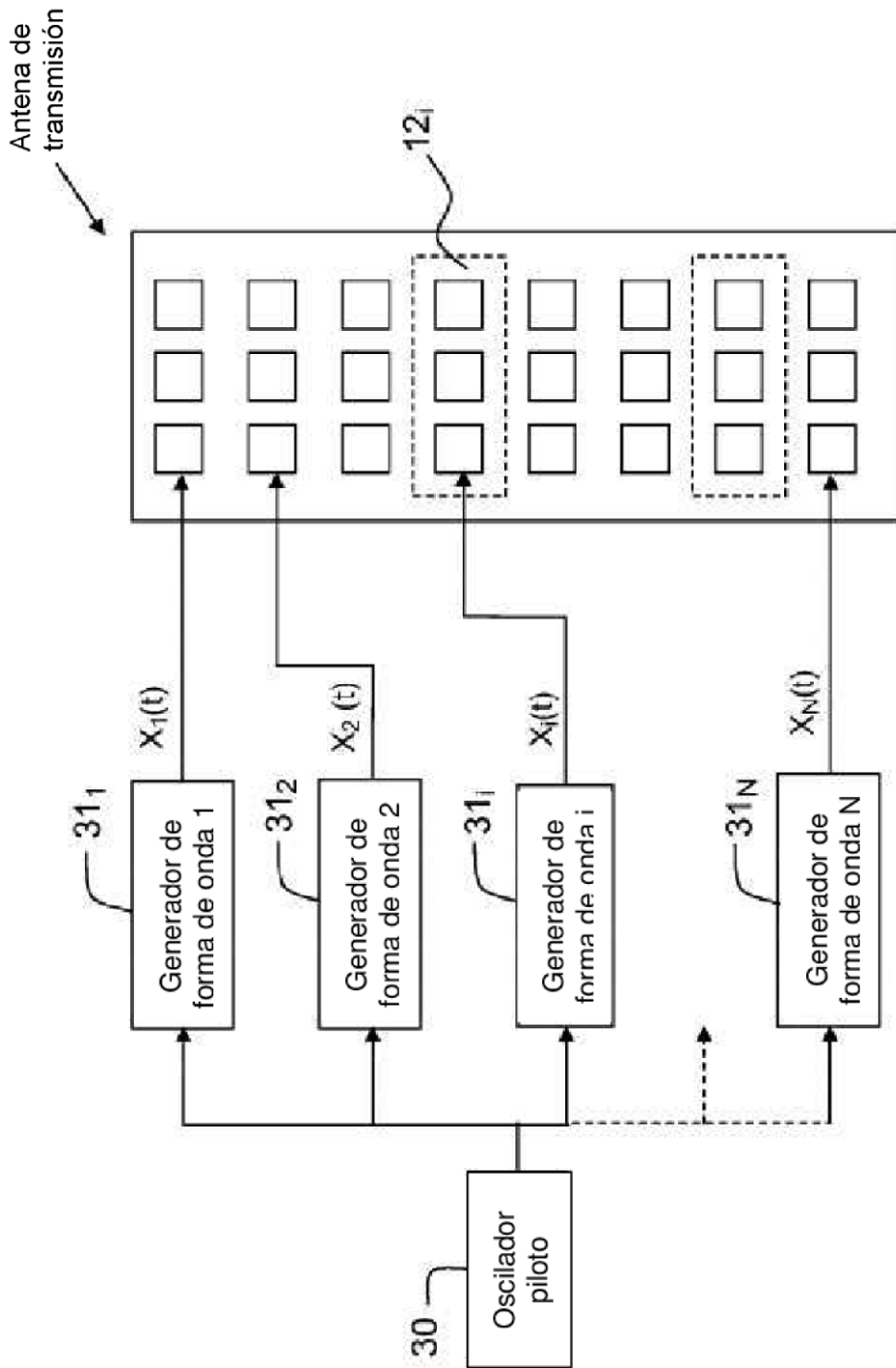


FIG.6

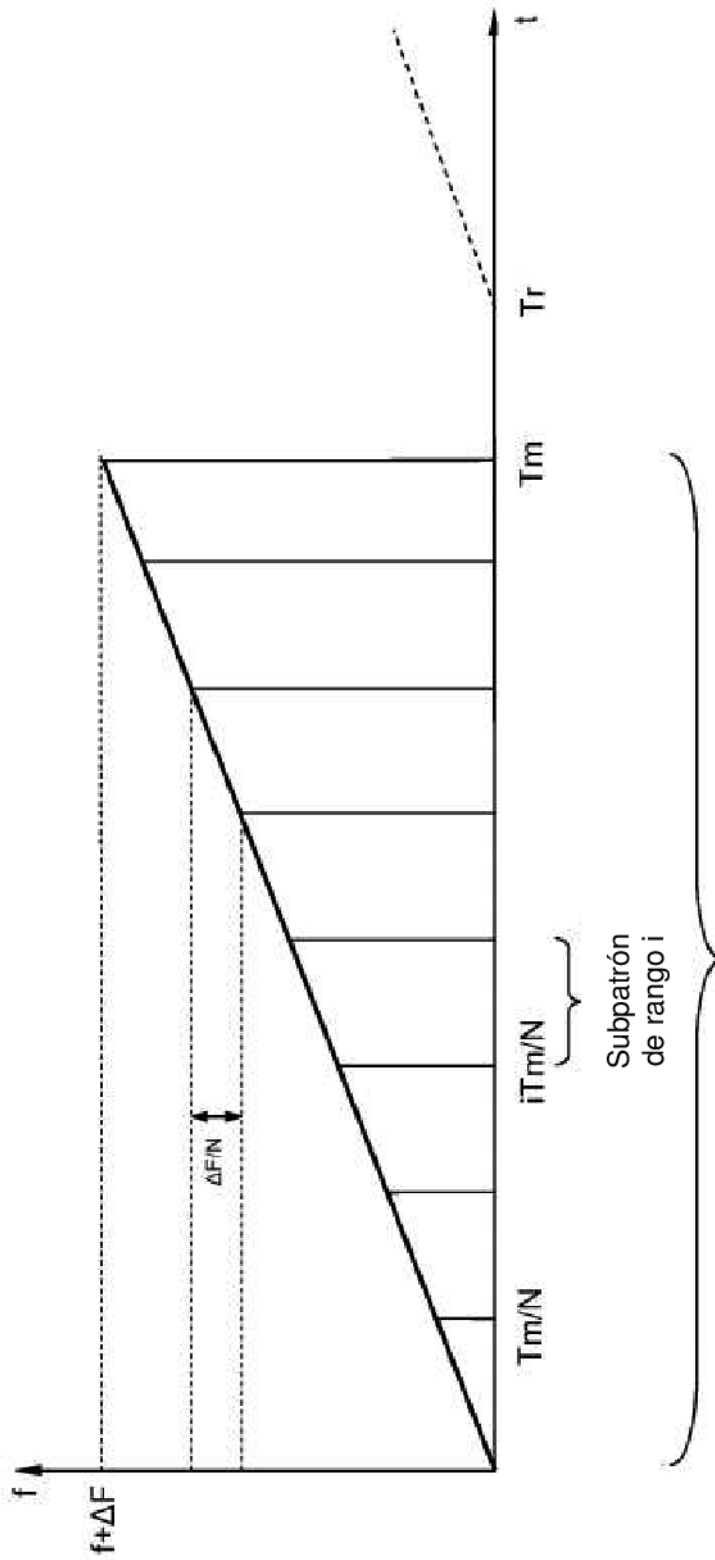


FIG.7

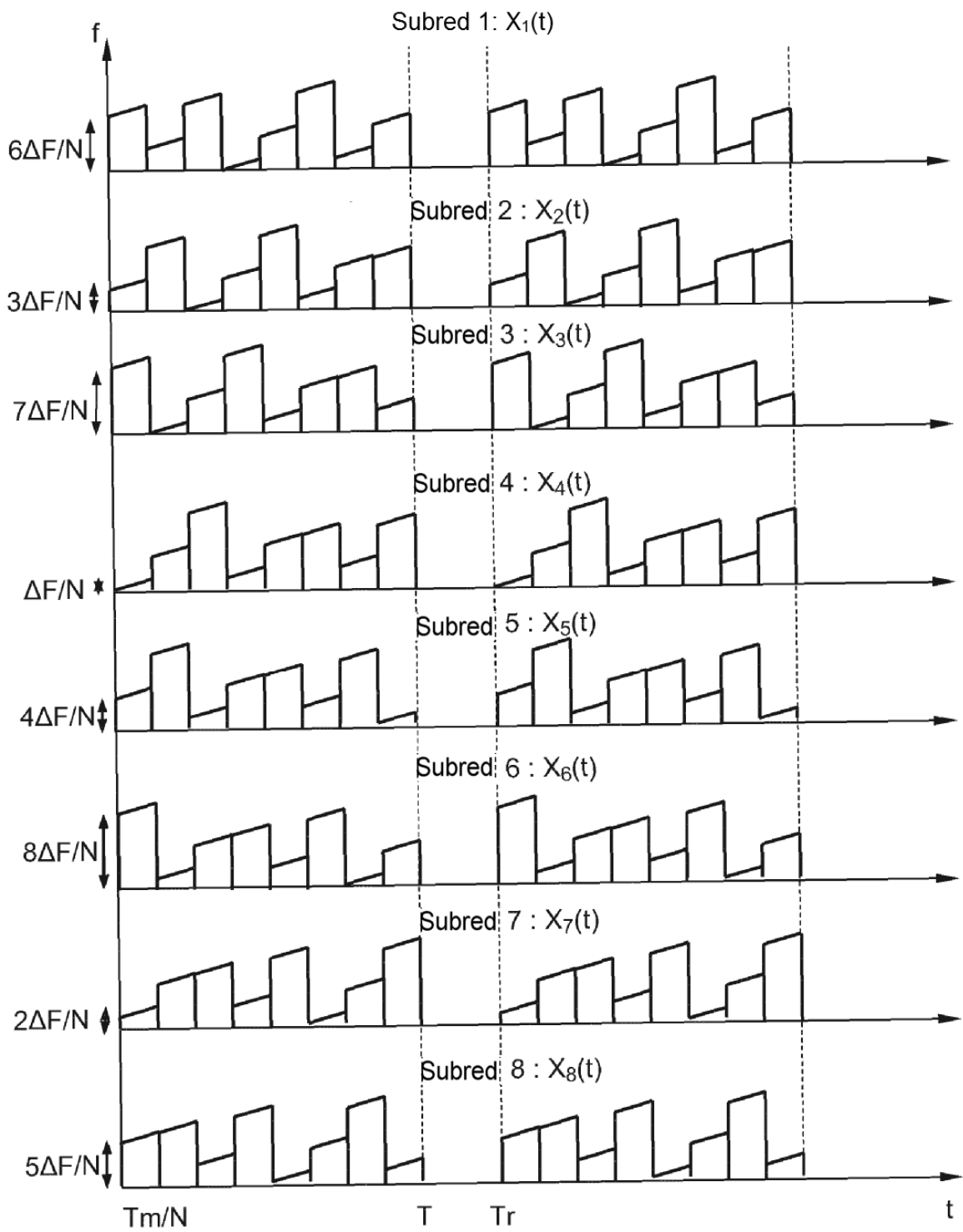


FIG.8

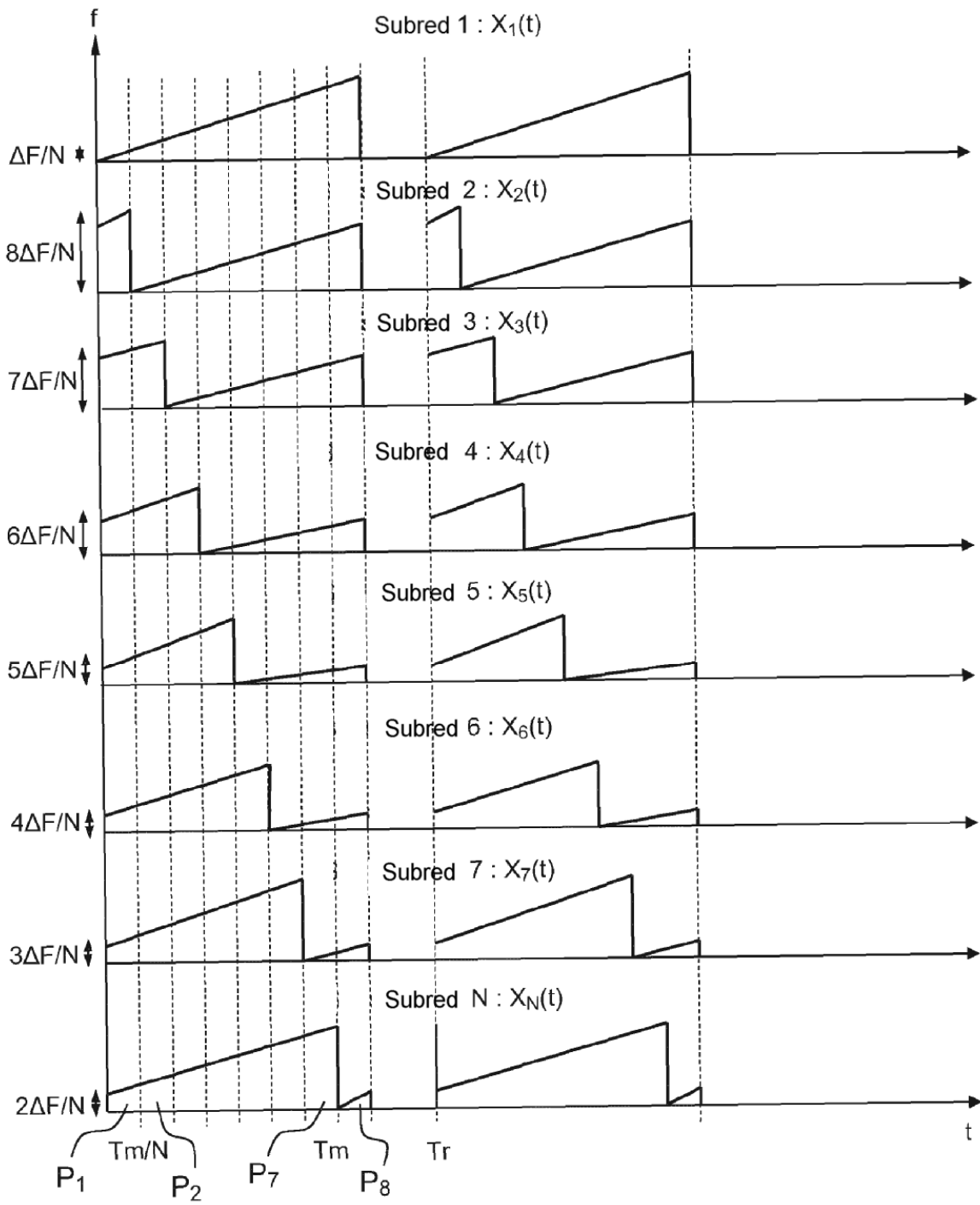


FIG.9

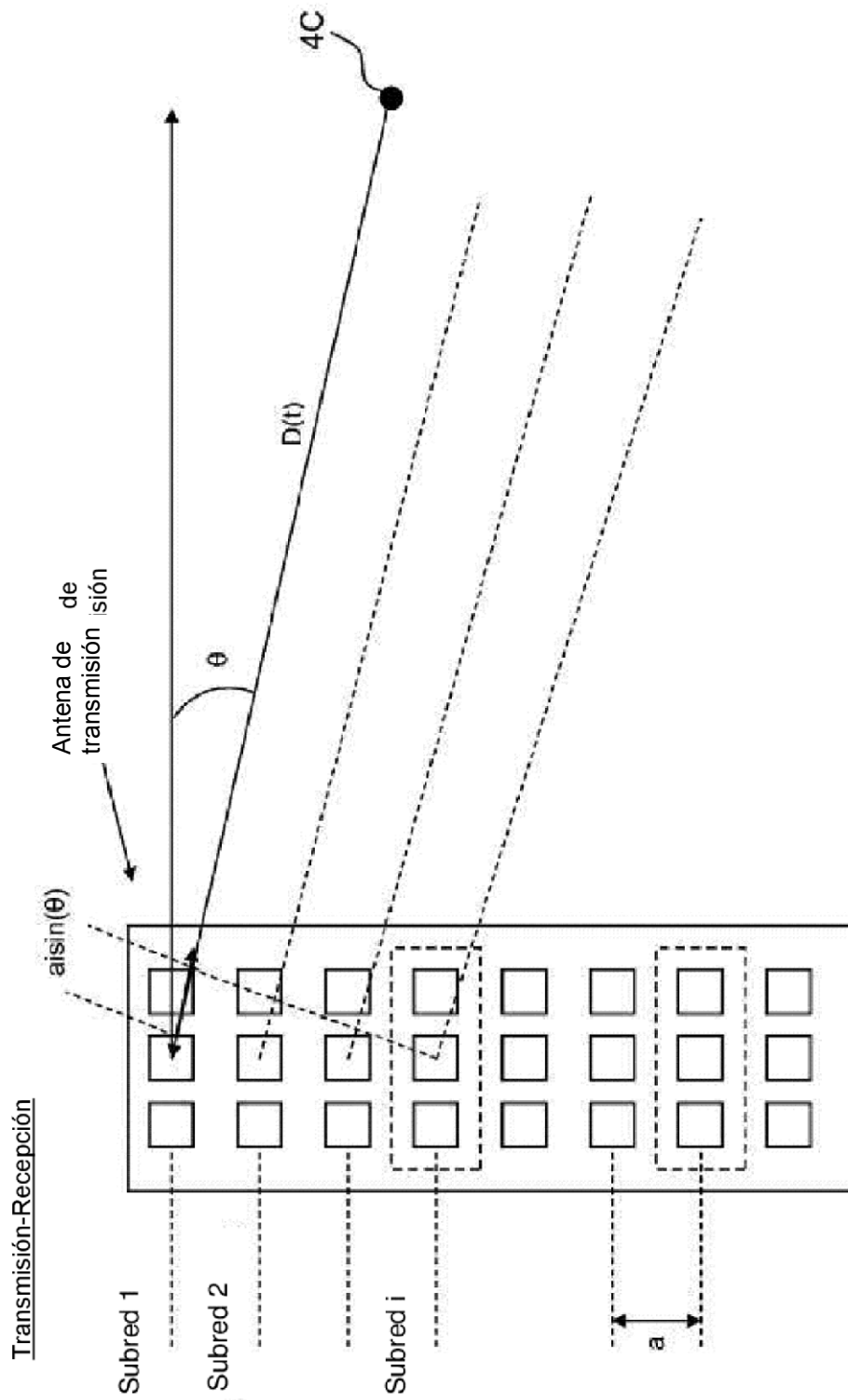


FIG.10

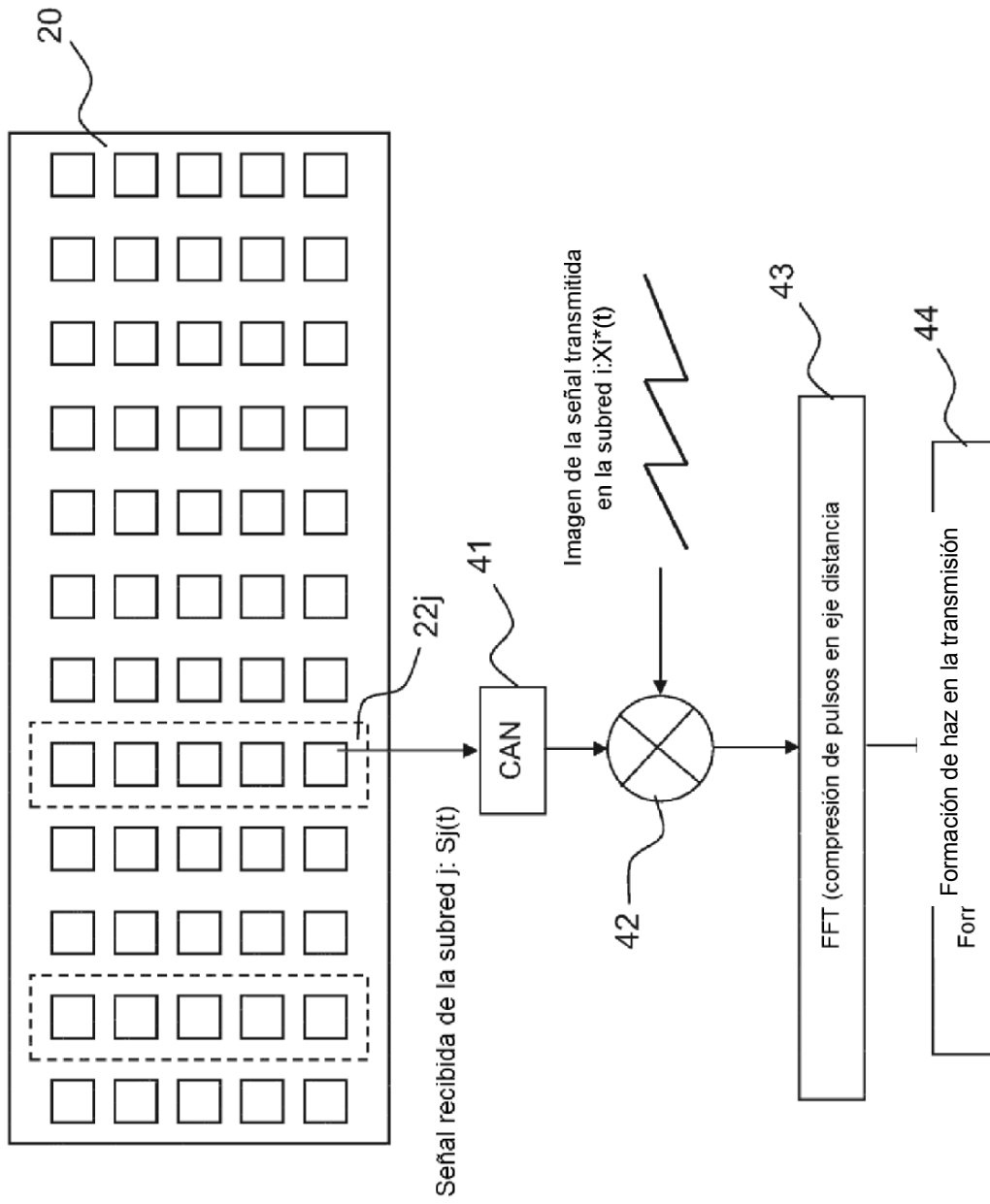


FIG.11

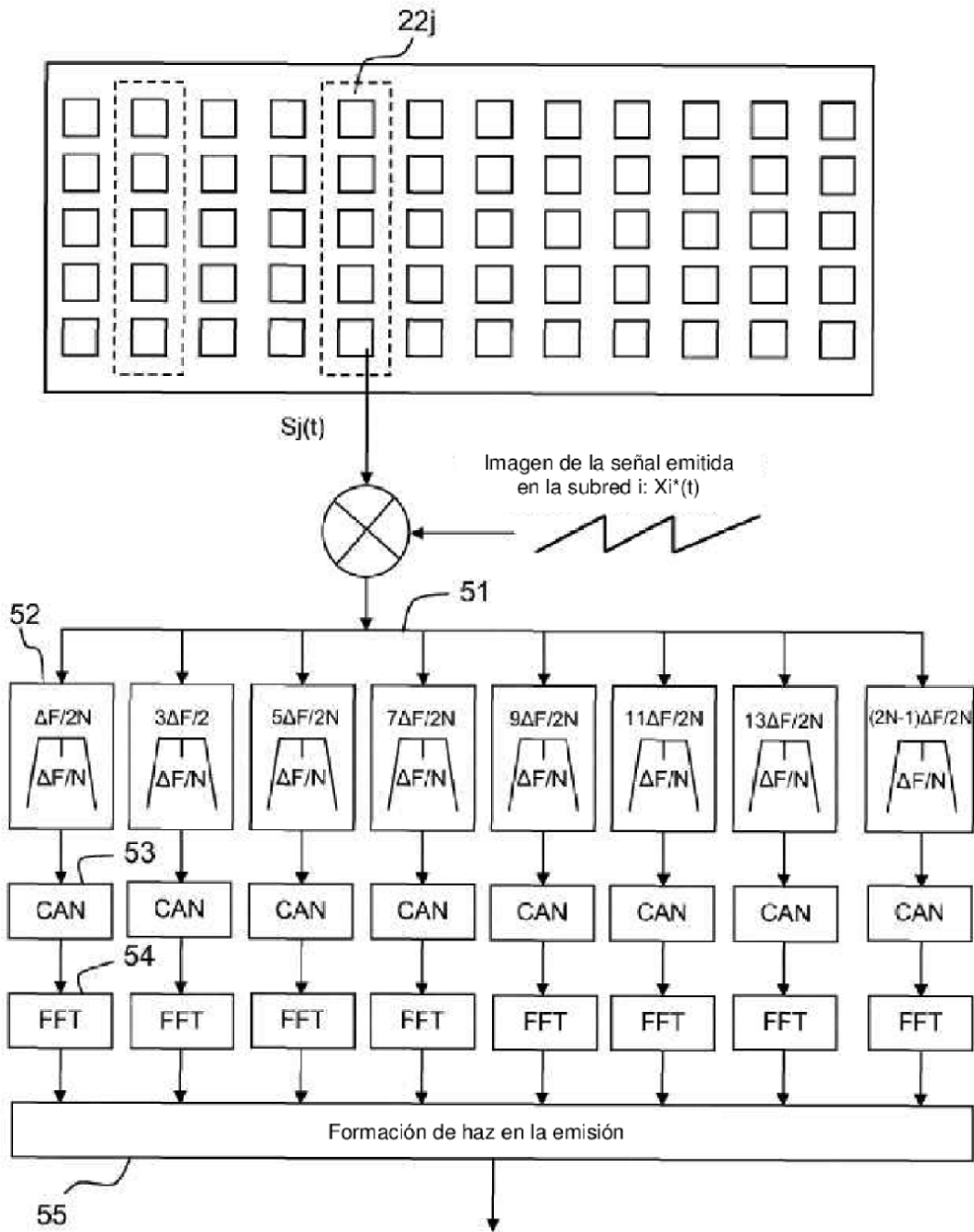


FIG.12