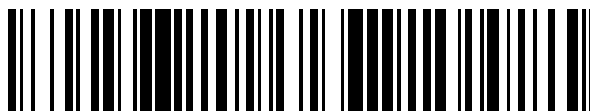


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 718**

51 Int. Cl.:

**H01Q 3/26** (2006.01)

**G02B 6/28** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2009** **PCT/EP2009/054046**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2009** **WO09121967**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2009** **E 09727436 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018** **EP 2260540**

54 Título: **Dispositivo óptico para aplicar un retardo verdadero a una señal radioeléctrica y aplicación a la formación de haces en emisión y en recepción con una antena activa**

30 Prioridad:

**04.04.2008 FR 0801873**

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

**26.04.2018**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)**  
**Tour Carpe Diem Place des Corolles Esplanade Nord**  
**92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**MERLET, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 665 718 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

Dispositivo óptico para aplicar un retardo verdadero a una señal radioeléctrica y aplicación a la formación de haces en emisión y en recepción con una antena activa

5 La presente invención se refiere a la resolución de los problemas técnicos planteados por la aplicación de retardos puros de valores dados a unas ondas electromagnéticas de hiperfrecuencias cuya frecuencia varía en una banda de frecuencia ancha. Se refiere más particularmente al uso de dispositivos ópticos para generar unos retardos de este tipo. Se aplica, en concreto, al campo de las antenas radares activas y a la formación de haces en emisión y en recepción con unas antenas de este tipo.

10 Las arquitecturas ópticas dedicadas a la formación de haces de las antenas de redes, antenas activas, han sido objeto de buen número de desarrollos. En efecto, estas arquitecturas permiten aplicar de manera relativamente sencilla unos retardos verdaderos de valor dado a las señales transmitidas en emisión en los elementos radiantes que constituyen una antena activa, así como a las señales transmitidas en recepción por estos mismos elementos.

15 Para realizar estas arquitecturas, se han experimentado, de este modo, varios principios ópticos y se recuerdan brevemente a continuación. Sin embargo, en el estado de la técnica, parece que ninguna arquitectura es conveniente perfectamente para las necesidades, en concreto, para realizar indiferentemente una emisión o una recepción.

20 Se recuerda, en primer lugar, que una antena activa, una antena de barrido electrónico, en particular, incluye una pluralidad de elementos radiantes que aseguran a la vez la emisión y la recepción de las ondas de hiperfrecuencias. Un haz de emisión o de recepción, orientado en una dirección dada, está formado a partir del conjunto de las señales emitidas o recibidas por cada elemento. La orientación de un haz en una dirección dada  $\theta$ , se obtiene, como lo ilustra esquemáticamente la figura 1, aplicando unos retardos temporales ( $\tau_i$ ) apropiados entre las señales emitidas o recibidas por los diferentes elementos radiantes que constituyen la antena, lo que tiene como efecto que se modifica la orientación del plano equifase global 15 de la antena con respecto al plano 14 de la antena. De este modo, por ejemplo, para orientar el haz de una antena que incluye unas fuentes 11 espaciadas las unas de las otras en una distancia  $d$ , en una dirección 12 dada que forma un ángulo  $\theta$  con la normal 13 al plano 14 de la antena, es conveniente aplicar a las ondas recibidas o emitidas por dos fuentes 11 consecutivas un retardo  $\tau$  cuyo valor está dado por la relación  $\tau = (d \cdot \sin \theta) / c$  en la que  $c$  representa la velocidad de la luz.

30 Una primera solución conocida y muy usada para formar un haz en una dirección dada, consiste en aplicar el retardo deseado directamente a las ondas de hiperfrecuencias que transitan por las fuentes 11. Más exactamente, para más comodidad de realización, se aplica a la señal recibida o emitida por cada una de las fuentes, señal de pulsación instantánea  $\omega$ , un desfase  $\phi = \omega \tau$ .

35 Esta solución es relativamente sencilla de implementar, en la medida en que necesita sencillamente equipar cada vía de señal, dicho de otra manera, cada fuente de un dispositivo desfasador de hiperfrecuencia cuya realización está, a dicha de hoy, bien dominada y es económicamente abordable. No obstante, esta solución permite obtener exactamente el retardo deseado solo para una frecuencia dada, correspondiendo el desfase  $\phi$  al retardo  $\tau$  solo para la frecuencia correspondiente a un valor dado de pulsación  $\omega$ . De modo que, si tradicionalmente se usa para unas señales cuya banda pasante instantánea permanece escasa, es decir, limitada a algunos % del valor de la frecuencia central propagada o recibida, apenas es ya usable cuando la banda instantánea se convierte en consecuente y la difusión del haz por desapuntamiento que resultado de ello se convierte en demasiado importante. Esto es por lo que, para unas aplicaciones que implementan unas emisiones de banda ancha instantánea tales como los radares de alta resolución, los sistemas de imagenología radar o también los sistemas de guerra electrónica, un control de desfase ya no puede sustituirse por un control de retardo verdadero, control difícilmente realizable en hiperfrecuencia, siendo las longitudes de líneas necesarias demasiado importantes teniendo en cuenta el volumen deseado.

45 Las características y cualidades intrínsecas de las transmisiones ópticas, como, por ejemplo, las escasas pérdidas lineales y el volumen más reducido de los componentes implementados, permiten elaborar unos dispositivos capaces de crear estos retardos verdaderos. Para esto, es suficiente, de manera conocida, con modular una onda luminosa portadora con la señal de hiperfrecuencia emitida o recibida a la que se desea aplicar un retardo dado, luego con hacer recorrer a esta onda luminosa un trayecto que corresponde al retardo deseado. Este trayecto puede consistir, por otra parte, en un camino en espacio libre, sobre el que están interpuestos unos dispositivos que permiten desviar la onda luminosa, de forma que el camino no esté necesariamente recorrido en línea recta, sino que pueda, al contrario, replegarse en un espacio de escaso tamaño. Alternativamente, puede consistir en un recorrido guiado dentro de una fibra óptica cuya longitud determina el retardo aplicado a la onda. Esta segunda forma de proceder es, por otra parte, la más usada, ya que es más fácilmente industrializable.

55 De este modo, de manera conocida, modulando una onda luminosa, producida, por ejemplo, por una fuente láser, por una señal radioeléctrica, luego formando  $N$  ondas ópticas moduladas idénticas por medio de un dispositivo divisor y aplicando a cada una de las  $N$  ondas un retardo propio dado, es posible, obtener, después de demodulación, unas señales radioeléctricas que presentan unos retardos dados las unas con respecto a las otras.

Estas señales pueden usarse, por ejemplo, para alimentar las fuentes radiantes de una antena activa, de forma que se emita una onda cuyo un plano equifase presenta con el plano de la antena un ángulo  $\theta$  dado.

De manera inversa, cada una de las señales recibidas por los  $N$  elementos radiantes que constituyen una antena activa, puede usarse separadamente para modular una onda luminosa. De este modo, se forman  $N$  ondas ópticas moduladas, pudiendo cada onda estar afectada por un retardo propio dado, que permite después de demodulación producir una señal radio eléctrica que corresponde a la señal recibida por la antena en una dirección  $\theta$  dada.

Por otra parte, según el estado de la técnica actual, las fibras ópticas y, en concreto, las fibras dispersivas constituyen el medio más sencillo de aplicar un retardo de valor dado a una onda óptica de longitud de onda dada. Esto es por lo que algunos sistemas de emisión-recepción radioeléctricos que necesitan la formación de haces direccionales en emisión y/o en recepción, usan unos medios que incluyen unas fibras ópticas. Como lo ilustran esquemáticamente las figuras 2 y 3, estos sistemas emplean unas estructuras ópticas que incluyen una fuente luminosa y unos medios para modular esta fuente con una onda radioeléctrica. El conjunto está asociado a una fibra óptica que permite retardar la onda luminosa modulada en un retardo  $\tau$  dado. Generalmente, un conjunto de este tipo está asociado a cada una de las fuentes radioeléctricas que constituyen la antena del sistema, de modo que el retardo aplicado a la señal relativa a esta fuente es independiente de los aplicados a las señales relativas a las otras fuentes.

La ventaja del empleo de una estructura de este tipo es que permite realizar de manera sencilla un sistema de emisión o de recepción cuya antena presenta un diagrama constituido por un haz apuntado en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la normal al plano de la antena. Varias soluciones conocidas que usan, en concreto, unas fibras ópticas dispersivas permiten, por otra parte, dar al ángulo  $\theta$  varios valores distintos, estando entonces el valor del retardo que afecta a cada canal determinado de manera conocida por la longitud de la fibra óptica, longitud fija que caracteriza al canal, es decir, la posición de la fuente radiante considerada en la antena y por la longitud de onda de la fuente luminosa, pudiendo esta última ser una fuente controlable en longitud de onda. De este modo, se forma ventajosamente un haz de dirección variable.

Una estructura de este tipo, por otra parte, con buena prestación cuando se trata de realizar un sistema de emisión o de recepción monohaz, se convierte en más difícil de implementar cuando se desea realizar unos sistemas multihaces, capaces a la vez de emitir o de recibir sobre una sola y misma antena activa, estando la emisión, por ejemplo, realizada según un haz único variable y la recepción según varios haces, siendo, además, las direcciones del haz de emisión y de los haces de recepción controlables separadamente. El uso de una arquitectura de este tipo conduce a multiplicar el número de fuentes luminosas de longitud de onda variable (tantas fuentes como haces a formar), lo que tiene como consecuencia que se hace complejo el conjunto formado de este modo y que se aumenta sustancialmente su coste de fabricación.

Una solución para resolver parcialmente este problema y evitar un incremento demasiado importante del número de elementos necesarios, fuentes de longitud de onda variable y dispositivo de control de longitud de onda asociado, consiste en implementar una estructura tal como la ilustrada por la figura 3. Esta estructura, basada en el uso de una fuente luminosa de longitud de onda dada para cada canal de recepción, así como sus ventajas, se describen, en concreto, de manera detallada en la solicitud de patente francesa presentada por el solicitante y publicada el 09/12/2005 con la referencia FR2871297. Sin embargo, se refiere solo a la recepción multihaces y necesita la adición de una estructura complementaria para realizar una emisión según un haz de dirección variable. Además, los haces formados en recepción tienen unas direcciones dadas fijas por fabricación. El artículo "Multiwavelength Optically Controlled Phased-Array Antennas", Dennis T. K. Tong, Ming C. Wu, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 46, n.º 1, enero de 1998; describe un dispositivo generador de retardos según la técnica anterior.

Una finalidad de la invención es proponer una solución para realizar un sistema de emisión-recepción que incluye una antena activa cuya emisión pueda realizarse según un haz de dirección variable y la recepción según varios haces simultáneos, de direcciones igualmente variables. Otra finalidad de la invención es proponer una arquitectura más sencilla que las propuestas por las soluciones existentes y, por lo tanto, más fácil de implementar y menos costosa. Para ello, la invención tiene como objeto un dispositivo generador de retardos, para aplicar un retardo de valor dado, cuantificado, a una onda luminosa, siendo el valor del retardo aplicado función de la longitud de onda de esta onda, incluyendo el dispositivo un conjunto de células generadoras de retardos y de conmutadores ópticos dispuestos de forma que se forme un tren de células, conectadas las unas a las otras por unos conmutadores ópticos, tren cuyas células de extremos están conectadas a unos conmutadores terminales que forman los puertos de entradas/salidas de la onda luminosa portadora; caracterizado porque cada célula generadora de retardos incluye tres segmentos de fibra óptica independientes, un segmento de fibra óptica dispersiva de coeficiente de dispersión positivo, un segmento de fibra óptica dispersiva de coeficiente de dispersión negativo y un segmento de fibra óptica no dispersiva, teniendo los tres segmentos unas longitudes idénticas, estando cada conmutador óptico que conecta dos células generadoras de retardos entre sí configurado de tal modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los tres segmentos de fibra óptica que constituye una de las células consideradas a uno o el otro de los tres segmentos de fibra óptica que constituye la otra célula. Según la invención, cada conmutador óptico terminal está, por su parte, configurado de tal modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los dos segmentos de fibra óptica que constituye una de las células de extremo a uno de los puertos de entradas/salidas del

dispositivo.

Según un modo de realización preferente de la invención, las células generadoras de retardos están configuradas y dispuestas de forma que se pueda hacer variar de manera continua el retardo total aplicado a la onda luminosa portadora.

- 5 Según una variante de este modo de realización preferente, las células generadoras de retardos están configuradas para formar unos retardos cuyos valores forman una progresión geométrica.

Según una variante de este modo de realización, la progresión geométrica es de razón 2, siendo el valor del retardo aplicado a la onda luminosa portadora objeto de una codificación binaria.

- 10 La invención tiene, igualmente, como objeto un sistema óptico que incluye un dispositivo según la invención asociado a una fuente luminosa que produce una onda luminosa que incluye una pluralidad de componentes espectrales que forman un espectro de rayas.

Según una variante de realización del sistema óptico según la invención, la fuente luminosa produce una onda luminosa cuyo espectro está constituido por rayas regularmente espaciadas.

- 15 La invención tiene, igualmente, como objeto un sistema de emisión-recepción monohaz de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según un haz dirigido en una dirección  $\theta$  dada, incluyendo el sistema un dispositivo generador de retardos según la reivindicación 1. La invención tiene, igualmente, como objeto un sistema de emisión-recepción monohaz de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según un haz dirigido en una dirección  $\theta$  dada, incluyendo el sistema un dispositivo generador de retardos según la invención en el modo de realización que incluye unas células generadoras de retardos con un segmento de fibra óptica no dispersiva y un segmento de fibra óptica dispersiva de dispersión positiva y un segmento de fibra óptica dispersiva de dispersión negativa.
- 20

La invención tiene, igualmente, como objeto un sistema de emisión-recepción multihaces de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según una pluralidad de haces dirigidos en unas direcciones  $\theta_j$  dadas, incluyendo el sistema una pluralidad de dispositivos generadores de retardos según la invención.

- 25 El dispositivo según la invención tiene como principal ventaja que permite la aplicación fácil de un retardo verdadero a una señal radioeléctrica, siendo el retardo verdadero independiente de la frecuencia de la señal radioeléctrica tratada.

Las características y ventajas de la invención se apreciarán mejor gracias a la descripción que sigue, descripción que expone la invención a través de ejemplos no limitativos de implementación y que se apoya en las figuras adjuntas, figuras que representan:

- 30 - la figura 1, una ilustración del principio físico sobre el que se basa la formación de haz;  
 - la figura 2, la ilustración esquemática de una estructura conocida que permite formar un haz de dirección dado en emisión;  
 - la figura 3, la ilustración esquemática de una estructura conocida que permite formar un haz de dirección dado en recepción;  
 35 - la figura 4, la ilustración esquemática de una estructura conocida, alternativa a la estructura ilustrada por la figura 3, que permite formar una pluralidad de haces de direcciones dadas en recepción;  
 - las figuras 5a a 5c, unas ilustraciones relativas a la estructura y al principio de funcionamiento de un dispositivo generador de retardos conocido.  
 - la figura 6, la representación esquemática de un ejemplo de sistema de emisión-recepción monohaz que implementa una arquitectura óptica que incluye un dispositivo generador de retardos conocido;  
 40 - la figura 7, una ilustración que permite justificar la implementación de una función de retardo invariable en el caso de sistemas semejantes en su funcionamiento al sistema de la figura 6;  
 - la figura 8, la representación esquemática de un ejemplo de sistema de emisión monohaz y de recepción multihaces que implementa una arquitectura óptica que incluye una pluralidad de dispositivos generadores de retardos;  
 45 - la figura 9, la representación esquemática de un ejemplo de sistema de emisión-recepción monohaz que implementa una arquitectura óptica que incluye un dispositivo generador de retardos según la invención.

- 50 En primer lugar, se presta atención a la figura 1, que permite comprender el principio de la formación eléctrica de un diagrama de radiación o haz en una dirección dada, en emisión o en recepción, a partir de una antena activa que incluye una pluralidad de fuentes radiantes dispuestas en un plano.

- 55 Una antena activa, de barrido electrónico, incluye una pluralidad de elementos radiantes 11, o fuentes, que aseguran a la vez la emisión y la recepción de una señal de hiperfrecuencia. Un haz de emisión o de recepción, está formado combinando las señales emitidas o recibidas por los diferentes elementos 11. Se conoce que, con una antena de este tipo, es posible formar un haz en una dirección dada 12 y, por lo tanto, dar a la antena una orientación que permite disponer de una ganancia de antena máxima en la dirección considerada, sin que sea necesario hacer girar el plano 14 de la antena. En cambio, es necesario crear unos retardos temporales ( $\tau_i$ ) entre las señales emitidas o

recibidas por los diferentes elementos radiantes 11 que constituyen la antena. Estos retardos temporales permiten compensar el hecho de que en función de la dirección considerada, los planos equifases 15 de las señales emitidas o recibidas presentan una inclinación variable  $\theta$  con respecto al plano 14 de la antena, plano 14, por otra parte, paralelo a los planos equifases de las señales emitidas o recibidas en la dirección apuntada por su normal 13.

- 5 De este modo, si se consideran dos fuentes vecinas 11 distantes la una de la otra en una distancia  $d$ , el retardo a aplicar a la señal recibida o emitida por una de las fuentes con respecto a la señal recibida por la otra fuente, de forma que se obtenga un desapuntamiento  $\theta$ , tiene como expresión:

$$\tau = (d \cdot \sin\theta)/c \quad [1]$$

- 10 En el campo de las frecuencias radioeléctricas, el retardo  $\tau$  es, a menudo, difícil de realizar por el hecho de la longitud eléctrica necesaria para aplicar un retardo del valor deseado. Un efecto análogo se obtiene, para una frecuencia dada, por la aplicación a las señales radioeléctricas de desfases  $\phi_i$  en sustitución de los retardos  $\tau_i$ . No obstante, esta solución es exacta solo para una frecuencia  $f$  dada para la que se tiene  $\phi_i = 2\pi f \tau_i$ . Sin embargo, se usa tradicionalmente para unas señales de bandas pasantes instantáneas escasas (algunos % con respecto a la frecuencia central propagada), pero se enfrenta al fenómeno de difusión del haz por desapuntamiento desde el momento en que la banda instantánea se convierte en consecuyente. Para unas aplicaciones de banda ancha instantánea tales como sistemas de emisión-recepción de los radares de alta resolución, los sistemas de imagenología radar o también los sistemas de guerra electrónica, esta solución ya no se puede considerar y el desarrollo de medios de generación de unos retardos verdaderos presenta un interés estratégico.

- 20 A continuación, se presta atención a las figuras 2 y 3 que presentan de manera esquemática unas estructuras ópticas conocidas que permiten controlar la orientación de un haz radioeléctrico en emisión (figura 2) y en recepción (figura 3).

- La estructura óptica conocida, presentada en la figura 2, incluye una fuente luminosa 21 conectada a un modulador electroóptico 22, él mismo acometido por la señal 23 de frecuencia  $F_e$  a emitir. La salida del modulador proporciona a un acoplador óptico 24 una onda luminosa de longitud de onda  $\lambda$  modulada por la señal radioeléctrica a emitir. Cada una de las salidas del acoplador 24 está conectada a una fibra óptica 25 cuyo extremo está conectado, él mismo, por medio de un elemento fotodetector (Fd) 26 a una de las fuentes 27 que constituyen la antena de emisión 28. En esta estructura, la longitud de cada una de las fibras ópticas 25 está definida de forma que se aplique a la onda luminosa que la atraviesa y, como consecuencia, a la señal radioeléctrica que esta lleva, un retardo  $\tau$  dado definido en función de la posición sobre la antena de la fuente 27 a la que está conectada y de la dirección  $\theta$  del haz según el cual la señal radioeléctrica constituida por las señales radioeléctricas emitidas por cada una de las fuentes 27 debe emitirse.

- Según si el haz emitido es un haz apuntado en una dirección  $\theta$  fija o variable, las fibras ópticas 25 usadas son de naturalezas diferentes. Para realizar un haz de dirección de apuntamiento fija, se usan unas fibras ópticas 25 no dispersivas asociadas a una fuente láser 21 de longitud de onda fija. En cambio, para realizar un haz de dirección de apuntamiento variable por control, se usan unas fibras ópticas 25 dispersivas asociadas a una fuente láser 21 de longitud de onda variable, cuya longitud de onda está, por ejemplo, controlada por unos medios de control 211. De esta manera, siendo el retardo experimentado por la onda luminosa que atraviesa una fibra óptica dispersiva función de la longitud de onda de esta onda, es posible haciendo variar la longitud de onda de la fuente 21 emitir una señal radioeléctrica, según un haz único 29, en una dirección  $\theta$  variable por control.

- 40 La estructura óptica presentada en la figura 3 es una estructura análoga a la de la figura 2. Incluye de la misma forma una fuente luminosa 31 de longitud de onda  $\lambda$  y un conjunto de moduladores electroópticos 32. Cada modulador está acometido por la señal radioeléctrica 33 captada por una de las fuentes 37 que constituyen la antena 38. La salida de cada uno de los moduladores 32 proporciona a una fibra óptica 35 una onda luminosa modulada por la señal radioeléctrica correspondiente, onda a la que aplica un retardo  $\tau$  dado. Cada fibra óptica está conectada a una entrada de un multiplexor óptico 34 cuya salida 39 está demodulada por un dispositivo fotodetector 36 que proporciona una señal radioeléctrica correspondiente a la suma, después de aplicaciones de retardos dados, de las señales radioeléctricas 33 suministradas por las fuentes 37 que constituyen la antena 38. De este modo, se obtiene ventajosamente una señal radioeléctrica global 39 que corresponde a un haz orientado en una dirección  $\theta$  determinada por la longitud  $\lambda$  de la onda luminosa producida por la fuente luminosa 31 y por las longitudes de las fibras ópticas 35 asociadas a cada una de las fuentes.

- Como anteriormente, la dirección  $\theta$  del haz formado de este modo en recepción puede ser una dirección fija o variable. En el primer caso, las fibras ópticas 35 pueden ser unas fibras no dispersivas y la fuente 31 una fuente de longitud de onda fija. En el segundo caso, las fibras ópticas son unas fibras dispersivas y la fuente 31 una fuente de longitud de onda  $\lambda$  variable controlada por unos medios de control 311.

- 55 El uso de estructuras ópticas tales como las descritas anteriormente para generar unos retardos sobre una señal radioeléctrica, estructuras conocidas por otra parte, resulta particularmente ventajoso en número de aplicaciones. De hecho, Debe señalarse en este documento que contrariamente a lo que pasa cuando se usan unos dispositivos electrónicos para aplicar un retardo a cada una de las señales radioeléctricas que alimentan las fuentes 25 que

constituyen la antena o que se suministran por estas fuentes 35, el retardo aplicado es un retardo verdadero y no un retardo que es el resultado de un desfase y, por lo tanto, que depende de la frecuencia de la señal. Por consiguiente, el uso de una estructura óptica, tal como la esquemáticamente descrita en este documento, permite ventajosamente tratar una señal radioeléctrica sea la que sea la banda pasante instantánea que ocupa. Además, el uso de fibras dispersivas permite ventajosamente realizar de manera sencilla un haz de dirección variable. En cambio, el uso de unas estructuras de este tipo, resulta menos ventajoso desde el momento en que se trata de realizar simultáneamente varios haces, en particular, en recepción. En efecto, una realización de este tipo necesita como mínimo disponer de varias fuentes luminosas 31 controlables separadamente (de hecho, una por haz a formar) para acometer los diferentes moduladores electroópticos 32, así como unos medios de control apropiados para el control separado de varias fuentes luminosas. Por lo demás, además del hecho de que unas estructuras de este tipo son más complejas de fabricar que unas fuentes de longitud de onda fija, la conmutación de una longitud de onda por otra está lejos de ser instantánea, de modo que la agilidad de los haces formados es insuficiente a veces teniendo en cuenta la aplicación considerada. Una estructura de este tipo está más adaptada finalmente para la formación simultánea de varios haces apuntados en unas direcciones fijas.

A continuación, se presta atención a la figura 4 que presenta una estructura alternativa conocida a la estructura de la figura 3, que permite, igualmente, realizar una recepción multihaces según unos haces de direcciones dadas fijas.

Como lo ilustra esquemáticamente la figura, esta estructura incluye un conjunto de fuentes luminosas 41, unas fuentes láser, de longitudes de ondas fijas, que pueden estar moduladas por una señal radioeléctrica 42. La estructura incluye, en este documento, un número P de fuentes 41 igual al número de elementos radiantes 47 que incluye la antena 48. Cada una de las fuentes luminosas 41 está asociada a un elemento radiante 47, estando la señal 42 procedente de cada elemento radiante 47 aplicada sobre la fuente luminosa correspondiente.

Cada una de las fuentes luminosas 41 produce una onda luminosa de longitud de onda diferente, de modo que a una longitud de onda  $\lambda_i$  dada corresponde un elemento radiante determinado. Las ondas luminosas moduladas 43 procedentes de cada una de las fuentes luminosas 41 se aplican sobre las entradas de un multiplexor óptico 44 de P entradas, cuya salida produce una onda multiplexada 45 que se aplica a la entrada de un acoplador óptico 46 que incluye un número N de salidas igual al número de haces formados. Cada una de las N salidas del acoplador 46 produce una onda óptica 49 idéntica que está encaminada por una fibra óptica dispersiva 411 de longitud dada hacia un fotodetector 412 asociado a la fibra considerada. Siendo cada una de las N fibras ópticas 411 una fibra dispersiva de longitud diferente, el retardo aplicado a los diferentes componentes 49 de la onda óptica que la atraviesa depende, por lo tanto, a la vez de la longitud de la fibra óptica 411 considerada y de la longitud de onda del componente 49 considerado. Como continuación, cada fotodetector 412 proporciona una señal radio eléctrica 413 que corresponde a la suma de las señales 42 suministradas por cada uno de los elementos radiantes 47, habiendo estado cada señal 42 afectada por un retardo función de la posición del elemento 47 considerado en la antena y de la dirección  $\theta$  del haz por el que la señal resultante 413 se recibe. De este modo, se obtienen N señales radioeléctricas que corresponden a las señales recibidas según N haces orientados cada uno en una dirección  $\theta$  fijada.

Esta estructura alternativa a la ilustrada por la figura 3, permite ventajosamente realizar de manera simultánea, a partir de fuentes ópticas sencillas 41, de longitud de onda fija, una pluralidad de haces en recepción orientados en unas direcciones fijas determinadas. No obstante, esta estructura más ventajosa, conocida por otra parte, no permite realizar de manera sencilla un sistema que presente una pluralidad de haces que puedan estar orientados, de manera independiente los unos de los otros, en unas direcciones variables. Como mucho, es posible, a partir de este tipo de estructura, usando unas fuentes luminosas controlables en longitud de onda, realizar un sistema que presenta una pluralidad de haces que forman una agrupación en la que la orientación de los haces los unos con respecto a los otros es fija, pudiendo la agrupación solamente estar orientada en unas direcciones variables.

En este momento, se presta atención a las figuras 5a a 5c que presentan las características estructurales y funcionales del dispositivo 51. Como lo ilustra la figura 5a, el dispositivo 51 incluye un conjunto de células 52 generadoras de retardos, o células retardadoras, así como un conjunto de conmutadores ópticos 53, estando las células retardadoras 52 ensambladas las unas a las otras por medio de unos conmutadores ópticos 53, de forma que se constituya un dispositivo generador de retardos que incluya cuatro puertos de entradas/salidas 54a a 54d.

Cada una de las células retardadoras 52 está constituida principalmente por un segmento de fibra óptica no dispersiva 55 y al menos un segmento de fibra óptica dispersiva 56. En una versión corriente cada células 52 incluye un segmento de fibra óptica no dispersiva 55 y un solo segmento de fibra óptica dispersiva 56. El segmento de fibra óptica no dispersiva 55 ocasiona, de manera conocida, un retardo dado a la onda luminosa que lo atraviesa, retardo independiente de la longitud de onda de esta onda. El segmento de fibra óptica dispersiva 56, por su parte, ocasiona a esta misma onda un retardo dado dependiente de la longitud de onda de esta. Más precisamente, el segmento de fibra óptica dispersiva 56 ocasiona a la onda que lo atraviesa un retardo proporcional a su longitud y al desvío  $\Delta\lambda$  de longitud de onda existente entre la longitud de onda  $\lambda$  de la onda considerada y la longitud de onda nominal  $\lambda_0$  que caracteriza a la fibra.

Los dos segmentos 55 y 56 que constituyen una misma célula 52 no están conectados entre sí y los extremos de cada segmento forman los puntos de conexión de la célula con un elemento externo, un conmutador óptico 53 o un

puerto de entradas/salidas 54a a 54d. El segmento de fibra óptica no dispersiva 55 y el segmento de fibra óptica dispersiva 56 que forman una misma célula 52, tienen preferentemente, pero no necesariamente, unas longitudes iguales. Por otra parte, la longitud de los segmentos de fibra óptica 55 y 56 es preferentemente diferente de una célula retardadora a la otra.

- 5 De este modo, en el ejemplo de aplicación de la figura 5, el dispositivo está constituido por un conjunto de células retardadoras 52 cuyos retardos están definidos de forma que se forme una progresión geométrica, de razón 2, por ejemplo. De este modo, el dispositivo incluye M células retardadoras de entre las que una célula permite aplicar un retardo mínimo igual a  $\tau$  y una célula un retardo máximo igual a  $2^{(M-1)}\tau$ . Los conmutadores ópticos 53 son unos dispositivos de conmutación de señales ópticas, controlables separadamente por medio de un control suministrado por un circuito apropiado, no representado en la figura. Cada conmutador 53 incluye tantos polos 57 como puntos de conexión incluyen las células retardadoras 52. De este modo, si el dispositivo incluye unas células retardadoras con cuatro puntos de conexión, los conmutadores ópticos 53 integrados en el dispositivo son unos conmutadores de cuatro polos. Cada conmutador 53 está configurado, por otra parte, de forma que, en función del control aplicado, cada uno de sus polos pueda estar conectado a cualquiera de sus otros polos. Las células retardadoras 52 y los conmutadores ópticos 53 están dispuestos de forma que se constituya una cadena lineal, un tren, de células retardadoras, estando cada célula conectada en entrada y en salida a un conmutador óptico 53. De este modo, se obtiene una sucesión de células retardadoras 52 conectadas entre sí por unos conmutadores ópticos 53, formando los conmutadores de extremos, o conmutadores terminales, 53a a 53b los puertos de entradas/salidas 54a a 54d del dispositivo.
- 10 Cada uno de los polos de un conmutador 53 que conectan entre sí dos células 52, está conectado a un punto de conexión de una de las dos células consideradas. Dicho de otra manera, cada conmutador óptico 53 que conecta dos células generadoras de retardos 52 entre sí está configurado de tal modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los dos segmentos de fibra óptica que constituye una de las células 52 consideradas a uno o el otro de los dos segmentos de fibra óptica que constituye la otra célula.
- 15 Por otra parte, cada uno de los conectores terminales 53a y 53b incluye dos polos que forman dos de los puertos de entradas/salidas 54a a 54d del dispositivo, de modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los dos segmentos de fibra óptica 55 o 56 que constituye una de las células de extremo 52a o 52b a uno de los puertos de entradas/salidas 54a a 54d del dispositivo 51.
- 20 Debe señalarse que los conmutadores ópticos 53 usados, son al igual que las células retardadoras 52, unos dispositivos recíprocos. De esta manera, el dispositivo según la invención es en sí mismo un dispositivo ventajosamente recíproco en el que los puertos 54a y 54b, por una parte, y los puertos 54c y 54d, por otra parte, pueden usarse en entrada o en salida.
- 25 Desde un punto de vista funcional, el dispositivo 51 constituye un dispositivo ventajosamente capaz de aplicar a una onda luminosa un retardo global T que puede variar de manera discreta, en función de los controles aplicados a los conmutadores 53. Este retardo puede, además, en función de la naturaleza dispersiva o no de los segmentos de fibras ópticas atravesados por la onda introducida en el dispositivo 51, ser independiente de la longitud de onda de esta onda o, al contrario, ser función de esta longitud de onda.
- 30 La figura 5b ilustra para ello el caso en que los conmutadores 53 están controlados de forma que se aplique a las ondas luminosas que atraviesan el dispositivo 51 un retardo T independiente de la longitud de onda de la onda considerada. Se puede señalar que, en este caso, son los segmentos de fibra óptica no dispersiva 55 los que se usan y en su totalidad, de modo que el retardo aplicado es necesariamente un retardo T igual a la suma de los retardos  $\tau$  ocasionados por estos segmentos no dispersivos.
- 35 La figura 5c, por su parte, ilustra el caso en que los conmutadores 53 están controlados de forma que se aplique a las ondas luminosas que atraviesan el dispositivo 51 un retardo T que depende de la longitud de onda de la onda considerada. De este modo, la onda luminosa que atraviesa el dispositivo según la invención estará afectada por un retardo  $T = T_1 + T_2$ , siendo  $T_1$  igual a la suma de los retardos  $\tau$ , independientes de la longitud de onda, ocasionados por los segmentos de fibra óptica no dispersiva 55 atravesados por la onda considerada y  $T_2$  a la suma de los retardos  $\tau(\lambda)$ , dependientes de la longitud de onda, ocasionados por los segmentos de fibra óptica dispersiva 56 atravesados por esta misma onda.
- 40 Debe señalarse que en esta última configuración, gracias al uso de los segmentos de fibra óptica dispersiva 56, una onda luminosa constituida por una pluralidad de ondas luminosas de longitudes de ondas diferentes multiplexadas, verá cada uno de sus componentes afectado por un retardo diferente en función de la longitud de onda del componente considerado.
- 45 Dicho de otra manera, asociando en un mismo sistema el dispositivo 51 a una fuente luminosa que emite una onda cuyo espectro está constituido por rayas de longitudes de ondas dadas, se obtiene en salida del sistema una onda luminosa cuyos componentes espectrales están afectados por retardos, siendo el retardo que afecta a cada componente espectral proporcional a su longitud de onda. En el caso particular en que el espectro de la onda producida por la fuente luminosa está constituido por componentes cuyas longitudes de ondas están regularmente
- 55

espaciadas, los componentes espectrales de la onda producida en salida del sistema están afectados por retardos definidos en función de la longitud de onda por una ley en forma de rampa.

Este resultado permite ventajosamente realizar, gracias al dispositivo 51 según la invención, un dispositivo generador de retardos variables, controlables, que permite afectar diferentes señales radioeléctricas que las llevan unas ondas luminosas que tienen unas de longitudes de ondas distintas, de retardos verdaderos distintos los unos de los otros, cuyas duraciones son función de la forma en que las células retardadoras 52 están dispuestas las unas con las otras, estando la disposición realizada por sencilla aplicación de los controles apropiados a los conmutadores ópticos 53.

En este momento, se presta atención a la figura 6 que presenta el esquema de principio de un primer sistema que integra el dispositivo 51, sistema presentado como ejemplo de aplicación no limitativo. Esta aplicación consiste en un sistema que permite realizar indiferentemente una emisión o una recepción radioeléctrica monohaz a partir de unas señales emitidas o recibidas por los P elementos radiantes 621, o fuentes radiantes, que constituyen una antena activa 62.

Para realizar la formación de haces de emisión y de recepción, el sistema considerado implementa una estructura óptica 61 que permite aplicar un retardo verdadero, de valor dado variable, a las señales radioeléctricas emitidas o recibidas por cada uno de los elementos radiantes 621 que constituyen la antena 62, constituyendo cada elemento una vía de recepción o de emisión elemental. El retardo aplicado sobre cada una de las vías elementales es diferente y está determinado de forma que se realice un haz cuyo plano equifase forma un ángulo  $\theta$  con el plano de la antena. Estando el valor del ángulo  $\theta$  determinado por los valores de los retardos aplicados sobre las diferentes vías elementales. Esta arquitectura incluye principalmente:

- P fuentes láser 611 de longitudes de ondas fijas que presentan una entrada que permite su modulación por medio de una señal radioeléctrica. Las longitudes de ondas de las P fuentes láser, todas diferentes, están determinadas entre una longitud de onda  $\lambda_{\min}$  y una longitud de onda  $\lambda_{\max}$  según una ley de variación lineal, de modo que entre dos longitudes de ondas consecutivas se tenga un desvío  $\delta\lambda$  sustancialmente constante.
- un multiplexor de longitud de ondas 612 de P vías que produce en salida una onda luminosa multiplexada 63 que se presenta como un peine de longitudes de ondas regularmente espaciadas.
- un dispositivo generador de retardos 51 del que solamente tres de sus cuatro puertos de acceso A, B, C y D están conectados. Uno de los polos de un conmutador terminal 53a o 53b se usa como entrada, el polo que corresponde al puerto A, por ejemplo, mientras que los dos polos del otro conmutador terminal se usan como salidas, los polos que corresponden a los puertos C y D en este caso. De este modo, se realiza un dispositivo de una entrada (A) y dos salidas independientes (C y D), estando una salida, el puerto C, por ejemplo, dedicada a la vía "emisión" del sistema, mientras que la otra, el puerto D en este caso, está dedicada a la vía "recepción".
- un circuito de control 613 cuya función principal consiste en determinar, en función de la dirección  $\theta$  en la que el haz de emisión o de recepción debe apuntarse, el valor del retardo a aplicar a la señal radioeléctrica emitida o recibida por cada una de las P fuentes 621 y, por consiguiente, el valor del retardo a aplicar a cada una de las ondas ópticas moduladas correspondientes. El circuito 613 produce para ello los controles necesarios para accionar de manera apropiada los conmutadores ópticos 53 que constituyen el generador de retardos 51.
- un dispositivo demultiplexor 614 de P Vías, separador de longitudes de ondas, insertado en la vía "emisión" aguas abajo del dispositivo 51, cuya entrada está conectada al puerto de salida dedicado a la vía "emisión", el puerto C, por ejemplo. El demultiplexor 614, está encargado de separar las P ondas luminosas que constituyen la onda luminosa multiplexada que ha atravesado el dispositivo 51 y de restituir cada una de las P ondas luminosas 66 sobre una salida particular.

El sistema descrito en esta aplicación está diseñado para funcionar alternativamente en modo "emisión" y en modo "recepción". En este documento, la emisión, al igual que la recepción está realizada según un haz de dirección  $\theta$  controlable, pudiendo la dirección  $\theta_e$  del haz de emisión ser diferente de la  $\theta_r$  del haz de recepción. El funcionamiento del sistema según el modo considerado se describe en lo que sigue.

En modo emisión, la arquitectura óptica descrita anteriormente está acometida por una señal radioeléctrica  $F_e$  generada por un dispositivo sintetizador de señal 623. Esta señal acomete simultáneamente, mediante un divisor de potencia 624 las entradas de modulación de las P fuentes luminosas láser 611, que, de este modo, producen P ondas luminosas 64 moduladas por la señal  $F_e$ . A continuación, estas P ondas luminosas se combinan por medio del multiplexor óptico 612 de P vías, de forma que se forme una onda resultante 63 que tiene la forma de un peine de longitudes de ondas.

La salida del multiplexor óptico 612 se aplica, a continuación, sobre la entrada de un dispositivo 51 generador de retardos, dispositivo cuyos conmutadores ópticos 53 están controlados por medio del circuito de control 613. De este modo, la onda óptica multiplexada 63 recorre las diferentes células retardadoras 52 que constituyen el dispositivo 51.

Según el valor del control  $C_i$  aplicado al conmutador 53 que antecede a la célula considerada, la onda óptica multiplexada atraviesa cada célula 52 ya sea por un segmento de fibra óptica dispersiva 56, ya sea por un segmento de fibra no dispersiva 55. De esta manera, en salida del dispositivo 51, los P componentes 64 de la onda luminosa multiplexada y retardada producida por el multiplexor 612, se encuentran defasados temporalmente, siendo el

defase temporal  $\tau$  entre dos ondas procedentes de dos fuentes láser 611 de longitudes de ondas consecutivas sustancialmente constante. En modo "emisión" la onda luminosa multiplexada 63 está dirigida, después de haber atravesado las diferentes células retardadoras 52, sobre el puerto de salida del dispositivo 51 dedicado a la vía "emisión", el puerto C, por ejemplo. Para ello, el circuito de control 613 proporciona al conmutador terminal 53b el control apropiado.

La onda luminosa 65 producida por el generador de retardos 51 según la invención se transmite a continuación al demultiplexor 614, encargado de separar las P ondas luminosas que componen esta y de restituir cada una de las P ondas luminosas 66 retardadas sobre una salida particular. Entonces, se dispone de P ondas luminosas moduladas por una misma señal radioeléctrica que presentan entre sí unos retardos temporales de valor determinado. Estas P ondas se demodulan entonces por unos elementos fotodetectores 616 que restituyen para cada onda luminosa 66 la señal radioeléctrica 67 que la lleva esta onda.

Las P señales radioeléctricas obtenidas de este modo corresponden a P réplicas de la señal  $F_e$ , estando cada réplica afectada por un retardo propio que corresponde al retardo aplicado por el dispositivo 51 a la onda luminosa que ha llevado esta réplica. El retardo que afecta a cada una de las P señales 67 es, por otra parte, un múltiplo de un retardo inicial  $\tau$  igual al retardo mínimo que puede separar dos de las P ondas luminosas producidas por los P fuentes láser 611, después de su paso a través del dispositivo generador de retardos 51.

Cada una de las P señales radioeléctricas obtenidas se aplica, finalmente, mediante un dispositivo 622 de acoplamiento directivo de tipo circulador, al elemento radiante 621 al que corresponde debido a su retardo.

Como continuación, la combinación al nivel de la antena de estas señales radioeléctricas afectadas por unos retardos apropiados, retardo que, en este documento, son ventajosamente unos retardos verdaderos y no unos retardos producidos por aplicación de desfases, permite realizar la emisión de una señal de banda ancha pasante instantánea según un haz apuntado en una dirección única  $\theta$  dada.

En modo recepción, la arquitectura óptica descrita anteriormente está acometida por las P señales radioeléctricas captadas por los elementos radiantes 621 que constituyen la antena 62. Cada señal se aplica al control de modulación de una de las P fuentes luminosas láser 611, que, de este modo, produce una onda luminosa modulada por la señal considerada. Las P ondas luminosas moduladas 64 producidas de este modo se multiplexan, a continuación, y la onda luminosa resultante 63 se aplica, a continuación, al dispositivo generador de retardos 51, de modo que, como en el modo emisión, cada una de las ondas 64 que componen la onda multiplexada experimenta un retardo que es función de la longitud de onda de esta onda y de los controles aplicados a los conmutadores ópticos que constituyen el dispositivo 51.

A su salida del dispositivo 51, la onda luminosa multiplexada 63 está dirigida, después de haber atravesado las diferentes células retardadoras 52, hacia el puerto de salida dedicado a la vía "recepción", el puerto D, por ejemplo. Para ello, el circuito de control 613 proporciona al conmutador terminal 53b el control apropiado. La onda luminosa 68 experimenta, entonces, una demodulación a través de un elemento fotodetector 615 y la señal radioeléctrica resultante 69, que representa la suma de las señales radioeléctricas que las llevan las P ondas luminosas que constituyen la onda multiplexada 68 y afectada por los retardos correspondientes, se explota después de recepción 625 por los medios de tratamiento 626 del sistema. El tratamiento aplicado permite formar, de manera convencional, un haz de recepción según la dirección definida por los retardos aplicados a las señales recibidas por las diferentes fuentes 621 que constituyen la antena 62.

Del modo en que se puede constatar esto a través de esta primera aplicación, el uso de un dispositivo generador de retardos 51 permite ventajosamente, por lo tanto, realizar unas estructuras ópticas 61 que pueden estar integradas en un sistema de emisión recepción de antena activa que incluye unas fuentes radiantes, de forma que se haga este sistema capaz de realizar indiferentemente una emisión o una recepción de banda ancha según un haz de dirección  $\theta$  variable y controlable de manera sencilla.

En este documento, debe señalarse que, como cada fuente luminosa láser 611 solo incluye generalmente un solo control de modulación, la entrada correspondiente de cada fuente luminosa 611 está asociada a un conmutador 627 controlado por el circuito de control 613. Este conmutador permite empalmar al control de modulación de cada una de las fuentes luminosas láser 611, en función del modo de funcionamiento considerado, ya sea la señal radioeléctrica 628 procedente de la fuente 621 correspondiente (Modo recepción), ya sea la señal radioeléctrica 629 réplica de la señal  $F_e$  (modo emisión).

Debe señalarse, igualmente, que, en la aplicación considerada, el dispositivo generador de retardos 51 usado es un dispositivo en el que cada célula retardadora incluye solamente dos segmentos de fibra óptica, un segmento de fibra óptica no dispersiva 55 y un segmento de fibra óptica dispersiva 56, siendo este segmento un segmento de fibra dispersiva de dispersión positiva o negativa. En este documento, se recuerda que el signo de la dispersión caracteriza, de manera conocida, el hecho de que para la fibra óptica considerada, el retardo aplicado a una onda luminosa que la atraviesa crece (dispersión positiva) o decrece (dispersión negativa) en función de la longitud de onda de esta onda.

En esta configuración, el dispositivo 51 está, por lo tanto, en condiciones de aplicar solo un retardo creciente o decreciente en función de la longitud de onda a las ondas que lo atraviesan. Esto tiene como resultado conocido que la dirección  $\theta$  del haz formado de este modo solo puede variar en un solo sentido con respecto a la dirección de apuntamiento nominal correspondiente a la normal al plano de la antena. Esto es por lo que, en esta primera aplicación, el uso del dispositivo generador de retardo en esta forma necesita generalmente, como lo ilustra la figura 7 la realización de un retardo previo constante que permite aplicar un offset angular  $\Theta_0$  a la dirección de apuntamiento del haz de la antena. Este offset tiene como efecto que se modifica la dirección de apuntamiento nominal de una dirección 13a perpendicular al plano 14 de la antena hacia una dirección 13b que forma un ángulo  $\Theta_0$  con 13a. Este offset se obtiene afectando a cada uno de los elementos radiantes de la antena un retardo idéntico  $T_0$ .

De esta manera, la dirección  $\theta$ , en la que un haz formado está dirigido, está referenciada a partir de esta dirección  $\Theta_0$  de desapuntamiento previo siguiendo un sentido de rotación único (constante) con respecto a la dirección 13b del haz nominal afectado por el offset  $\Theta_0$ . Las figuras 7a y 7b ilustran respectivamente los efectos de la implementación de esta corrección para la realización de un haz 12 que forma un ángulo  $\theta$  contado positivamente con respecto a la dirección de apuntamiento nominal inicial 13a y para la realización de un haz 12 que forma un ángulo  $\theta$  contado negativamente con respecto a esta misma dirección.

De este modo, se constata que aplicando un retardo constante  $\Theta_0$  y referenciando la dirección  $\theta$  del haz a formar con respecto a la dirección 13b, se puede localizar cualquier haz por un ángulo  $\theta_a$  o  $\theta_b$  contado de manera invariante, positiva o negativamente, para todas las direcciones apuntadas. Como continuación, los retardos correspondientes a aplicar a las señales radioeléctricas emitidas o recibidas por los elementos radiantes 621 de la antena, pueden realizarse usando un solo tipo de fibra óptica dispersiva 56, una fibra de dispersión negativa o una fibra de dispersión positiva según los casos.

Este Offset angular puede estar realizado de manera sencilla, como lo ilustra la figura 6 encerrando en cada una de las vías ópticas que vehiculan hacia el multiplexor óptico 612 las ondas luminosas 64 producidas por las fuentes luminosas 611, unos segmentos de fibra óptica 617 de longitudes apropiadas. Las longitudes de estos segmentos de fibra óptica no dispersiva 617 están definidos de manera conocida, de forma que se induzcan sobre las ondas ópticas 63 producidas por las P fuentes luminosas 611 y, por lo tanto, sobre las señales radioeléctricas que las llevan estas ondas, unos retardos que, en ausencia de cualquier retardo diferencial aplicado por el dispositivo 51, conducen a la formación de un haz cuya dirección 13b está desapuntada en un ángulo  $\Theta_0$  con respecto a la dirección inicial 13a que corresponde a la normal al plano 15 de la antena 62. De este modo, se efectúa una preorientación de la dirección de apuntamiento del haz.

A continuación, se presta atención a la figura 8 que presenta el esquema de principio de un segundo sistema que integra el dispositivo 51, sistema presentado, igualmente, como ejemplo de aplicación no limitativo. Esta aplicación deducida de la aplicación anterior consiste en un sistema que permite realizar una emisión radioeléctrica monohaz o una recepción radioeléctrica multihaces a partir de unas señales emitidas o recibidas por los P elementos radiantes 621, o fuentes radiantes, que constituyen una antena activa 62. El sistema considerado implementa una estructura óptica 81 similar a la descrita

Como se puede constatar esto en la figura, esta estructura 81 se distingue de la estructura 61 porque integra ya no un dispositivo generador de retardos 51 único, sino un conjunto de N generadores de retardos 51 que funcionan de manera independiente para formar N haces en recepción. En esta aplicación, cada generador de retardos 51 recibe una onda luminosa idéntica proporcionada por un acoplador óptico 81 a partir de la onda luminosa multiplexada 63 suministrada por el multiplexor 612. Además, un generador de retardos 51 particular está dedicado a la formación del haz de emisión, mientras que los N-1 otros dispositivos 51 se usan exclusivamente para la formación de haz en recepción, usándose, entonces, el único puerto de salida dedicado a la vía "recepción considerada, el puerto D, por ejemplo.

En esta aplicación, la señal radioeléctrica, obtenida sobre cada vía de recepción después de demodulación de la onda luminosa correspondiente 811 suministrada por el dispositivo generador de retardos 51 asociado, se trata a continuación separadamente de las otras, de modo que se disponga en salida del receptor multivías 83 de señales independientes que corresponden cada una a un haz cuya dirección puede estar fijada independientemente de la de los otros haces formados. Para ello, el circuito de control 82, cuyas funciones son similares a las del circuito de control 613 de la aplicación anterior, está dimensionado, no obstante, de forma que se produzcan los controles necesarios para la implementación de los N dispositivos generadores de retardos 51 que encierra la estructura óptica 81.

En materia de modos de funcionamiento, esta segunda aplicación no presenta ninguna diferencia con respecto a la aplicación anterior, salvo que en modo recepción el sistema permite ventajosamente, por la sencilla implementación simultánea de varios dispositivos 51 según la invención, formar simultáneamente una pluralidad de haces independientes.

Esta segunda aplicación pone de manifiesto el carácter particularmente ventajoso del dispositivo, dispositivo que permite realizar una estructura óptica sencilla, genérica y, según el grado de sofisticación deseado, un sistema de

formación de vías para una emisión monohaz y una recepción mono o multihaces, dependiendo el número de haces que pueden formarse principalmente del número de dispositivos generadores de retardos 51 integrados en esta estructura óptica 81.

5 Para terminar, se presta atención a la figura 9 que presenta el esquema de principio de un sistema que integra el dispositivo 51 generador de retardos según la invención, sistema presentado, igualmente, como ejemplo de aplicación no limitativo. Esta aplicación, como la ilustrada por la figura 6, consiste en un sistema que permite realizar una emisión o una recepción radioeléctrica monohaz a partir de unas señales emitidas o recibidas por los P elementos radiantes 621, o fuentes radiantes, que constituyen una antena activa 62.

10 Como en el caso de aplicación de la figura 6, el sistema presentado incluye una estructura óptica 91 que permite aplicar un retardo verdadero sobre cada una de las señales radioeléctricas proporcionadas por los elementos radiantes 621 que constituyen la antena 62 del sistema (recepción) o aplicados sobre estos elementos (emisión), constituyendo cada fuente 621 una vía de recepción o de emisión elemental. Igualmente, como anteriormente, el retardo aplicado sobre cada una de las vías elementales es diferente y está determinado de forma que se realice un haz cuyo plano equifase forma un ángulo  $\theta$  dado con el plano de la antena 15. El valor del ángulo  $\theta$  está  
15 determinado por los valores de los retardos aplicados sobre las diferentes vías.

En cambio, la arquitectura de la estructura óptica 91, implementada en esta aplicación, difiere un poco de la de la estructura 61 ilustrada por la figura 6, porque incluye una variante de realización 911 del dispositivo generador de retardos según la invención.

20 En esta variante de realización 911, cuyos estructura y principio de funcionamiento son sustancialmente los mismos que los de la variante 51, más sencilla, descrita anteriormente, el dispositivo según la invención está constituido por células retardadoras 912 que incluyen ya no dos, sino tres segmentos de fibra óptica; un segmento 915 de fibra óptica no dispersiva, un segmento 916 de fibra óptica de dispersión negativa y un segmento 917 de fibra óptica de dispersión positiva. De esta manera, esta variante de realización, el dispositivo generador de retardos según la invención se encuentra capaz de aplicar a una onda luminosa resultante de la multiplexación de ondas luminosas de  
25 longitudes de ondas diferentes una ley de retardo, una ley lineal, por ejemplo, cuya variación en función de la longitud de onda es ya sea positiva, ya sea negativa.

Como continuación, la estructura óptica realizada a partir del generador de retardos 911 permite formar, en emisión o en recepción, un haz cuyos planos equifases presentan con el plano de la antena un ángulo agudo ( $\theta_a$  en la figura 7a) u obtuso ( $\theta_b$  en la figura 7b). Dicho de otra manera, permite formar un haz apuntado en una dirección 12 que  
30 forma con la normal 13<sub>a</sub> al plano de la antena un ángulo  $\theta$  positivo o negativo, es decir, correspondiente a una rotación de esta normal en el sentido horario o en el sentido trigonométrico.

El uso de esta variante de realización del dispositivo según la invención permite ventajosamente librarse de la necesidad de aplicar como en la aplicación de la figura 6 un sesgo constante de apuntamiento  $\Theta_0$ , sesgo sistemático que puede tener como consecuencia que altere las características generales del diagrama de antena y, por lo tanto, de los haces constituidos. El uso de conexiones ópticas de diferentes longitudes entre las fuentes luminosas y el multiplexor óptico ya no es, por lo tanto, necesario y, de este modo, se pueden usar ventajosamente unos  
35 segmentos de conexión 92 de una longitud idéntica, preferentemente lo más corta posible. Sin embargo, necesita la implementación de una variante 911 del dispositivo según la invención un poco más compleja y, por lo tanto, una realización un poco más costosa, en particular, por el hecho de que los conmutadores ópticos 913 usados incluyen ya no cuatro, sino seis polos. Ninguna de las dos soluciones alternativas presentadas en estas dos aplicaciones hace, por lo tanto, a la otra incondicionalmente obsoleta.  
40

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (911) generador de retardos, para aplicar un retardo de valor dado, cuantificado, a una onda luminosa (63), siendo el valor del retardo aplicado función de la longitud de onda de esta onda, incluyendo el dispositivo un conjunto de células generadoras de retardos (912) y de conmutadores ópticos (913) dispuestos de forma que se forme un tren de células, conectadas las unas a las otras por unos conmutadores ópticos, tren cuyas células de extremos están conectadas a unos conmutadores terminales (913a, 913b) que forman los puertos de entradas/salidas (1 a 6) de la onda luminosa portadora (63); **caracterizado porque** cada célula generadora de retardos (912) incluye tres segmentos de fibra óptica independientes, un segmento de fibra óptica dispersiva (917) de coeficiente de dispersión positivo, un segmento de fibra óptica dispersiva (916) de coeficiente de dispersión negativo y un segmento de fibra óptica no dispersiva (915), teniendo los tres segmentos unas longitudes idénticas, estando cada conmutador óptico (913) que conecta dos células generadoras de retardos (912) entre sí configurado de tal modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los tres segmentos de fibra óptica que constituye una de las células (912) consideradas a uno o el otro de los tres segmentos de fibra óptica que constituye la otra célula.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado porque** cada conmutador óptico terminal (913a, 913b) está configurado de tal modo que en función del control que se le aplica, conecta uno de los dos segmentos de fibra óptica (915, 916, 917) que constituye una de las células de extremo a uno de los puertos de entradas/salidas (1 a 6) del dispositivo (911).
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** las células generadoras de retardos (912) están configuradas y dispuestas de forma que se pueda hacer variar de manera continua el retardo total aplicado a la onda luminosa portadora (63).
4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado porque** las células generadoras de retardos (912) están configuradas para formar unos retardos cuyos valores forman una progresión geométrica.
5. Dispositivo según la reivindicación 4, **caracterizado porque** la progresión geométrica es de razón 2, siendo el valor del retardo aplicado a la onda luminosa portadora objeto de una codificación binaria.
6. Sistema óptico que incluye un dispositivo (911) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, asociado a una fuente luminosa que produce una onda luminosa (63) que incluye una pluralidad de componentes espectrales que forman un espectro de rayas.
7. Sistema óptico según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la fuente luminosa produce una onda luminosa (63) cuyo espectro está constituido por rayas regularmente espaciadas.
8. Sistema de emisión-recepción monohaz de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según un haz dirigido en una dirección  $\theta$  dada, **caracterizado porque** incluye:
  - una antena (62) con una pluralidad de fuentes radioeléctricas (621);
  - una pluralidad de fuentes luminosas (611) en número igual al número de fuentes radioeléctricas (621), estando cada una de las fuentes luminosas asociada a una fuente radioeléctrica y produciendo una onda luminosa (64) que tiene una longitud de onda propia  $\lambda_i$ , modulada por una señal radioeléctrica (628, 629) aplicada sobre una entrada de modulación;
  - un multiplexor de ondas luminosas (612) que produce una onda luminosa (63) que combina las ondas luminosas (64) producidas por dichas fuentes luminosas (611), estando cada una de las ondas luminosas (64) directamente aplicada sobre una entrada del multiplexor;
  - un dispositivo generador de retardos (911) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 cuya entrada (2) está conectada a la salida del multiplexor (612);
 estando la longitud de onda  $\lambda_i$  de cada una de las fuentes luminosas (611) determinada en función de la fuente radioeléctrica (621) a la que está asociada, de forma que se obtenga para cada una de las fuentes, después de demodulación de la onda luminosa (65, 68) suministrada por el dispositivo generador de retardos (911), una señal radio eléctrica igual a la señal radioeléctrica (628, 629) aplicada a la entrada de modulación de la fuente luminosa afectada por un retardo dado; definido de forma que la combinación de las señales radioeléctricas obtenidas de este modo constituya la señal emitida o recibida en la dirección de apuntamiento  $\theta$  del haz considerado.
9. Sistema de emisión-recepción multihaces de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según una pluralidad de haces dirigidos en unas direcciones  $\theta_j$  dadas, **caracterizado porque** incluye:
  - una antena (62) con una pluralidad de fuentes radioeléctricas (621);
  - una pluralidad de fuentes luminosas (611) en número igual al número de fuentes radioeléctricas (621), estando cada una de las fuentes luminosas asociada a una fuente radioeléctrica y produciendo una onda luminosa (64) que tiene una longitud de onda propia  $\lambda_i$  modulada por una señal radioeléctrica (628, 629) aplicada sobre una entrada de modulación;

- un multiplexor de ondas luminosas (612) que produce una onda luminosa (63) que combina las ondas luminosas (64) producidas por dichas fuentes luminosas (611);
- una pluralidad de dispositivos generadores de retardos (911) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, siendo el número de dispositivos generadores de retardos igual al número de haces a formar, estando la entrada (A) de cada dispositivo generador de retardos conectado a una salida de un acoplador óptico (81) cuya entrada está conectada a la salida del multiplexor de ondas luminosas (612);

estando la longitud de onda  $\lambda_i$  de cada una de las fuentes luminosas (611) determinada en función de la fuente radioeléctrica (621) a la que está asociada, de forma que se obtenga para cada una de las fuentes, después de demodulación de la onda luminosa (65, 811) suministrada por cada dispositivo generador de retardos (911), una pluralidad de señales radioeléctricas, siendo cada señal igual a la señal radioeléctrica (628, 629) aplicada a la entrada de modulación de la fuente luminosa afectada por un retardo dado; definido de forma que la combinación de las señales radioeléctricas obtenidas de este modo constituya la señal emitida o recibida en una de las direcciones de apuntamiento  $\theta$  de haces consideradas.

10. Sistema de emisión-recepción monohaz de señales radioeléctricas, para emitir o recibir según un haz dirigido en una dirección  $\theta$  dada, **caracterizado porque** incluye:

- una antena (62) con una pluralidad de fuentes radioeléctricas (621);
- una pluralidad de fuentes luminosas (611) en número igual al número de fuentes radioeléctricas (621), estando cada una de las fuentes luminosas asociada a una fuente radioeléctrica y produciendo una onda luminosa (64) que tiene una longitud de onda propia  $\lambda_i$  modulada por una señal radioeléctrica (628, 629) aplicada sobre una entrada de modulación;
- un multiplexor de ondas luminosas (612) que produce una onda luminosa (63) que combina las ondas luminosas (64) producidas por dichas fuentes luminosas (611), estando cada una de las ondas luminosas vehiculada hacia una entrada del multiplexor por un segmento de fibra óptica no dispersiva (617) de una longitud dada diferente de una onda a la otra;
- un dispositivo generador de retardos (911) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 cuya entrada (A) está conectada a la salida del multiplexor (612), que produce en salida una onda luminosa retardada;

estando la longitud de onda  $\lambda_i$  de cada una de las fuentes luminosas (611) determinada en función de la fuente radioeléctrica (621) a la que está asociada, de forma que se obtenga para cada una de las fuentes, después de demodulación de la onda luminosa (65, 68) suministrada por el dispositivo generador de retardos (911), una señal radio eléctrica igual a la señal radioeléctrica (628, 629) aplicada a la entrada de modulación de la fuente luminosa afectada por un retardo dado; definido de forma que la combinación de las señales radioeléctricas obtenidas de este modo constituya la señal emitida o recibida en la dirección  $\theta$  del haz considerado;

estando las longitudes respectivas de los segmentos de fibra óptica dispersiva (617) que vehicula las ondas luminosas (64) producidas por las fuentes luminosas (611) definidas de forma que se preoriente el haz en una dirección de apuntamiento dada.

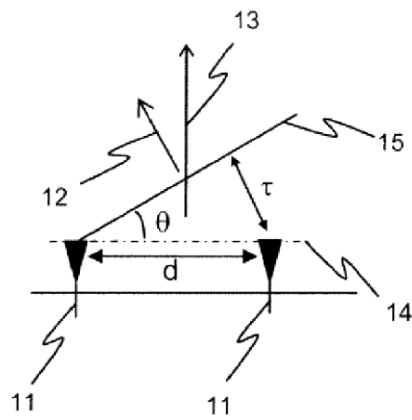


Fig. 1

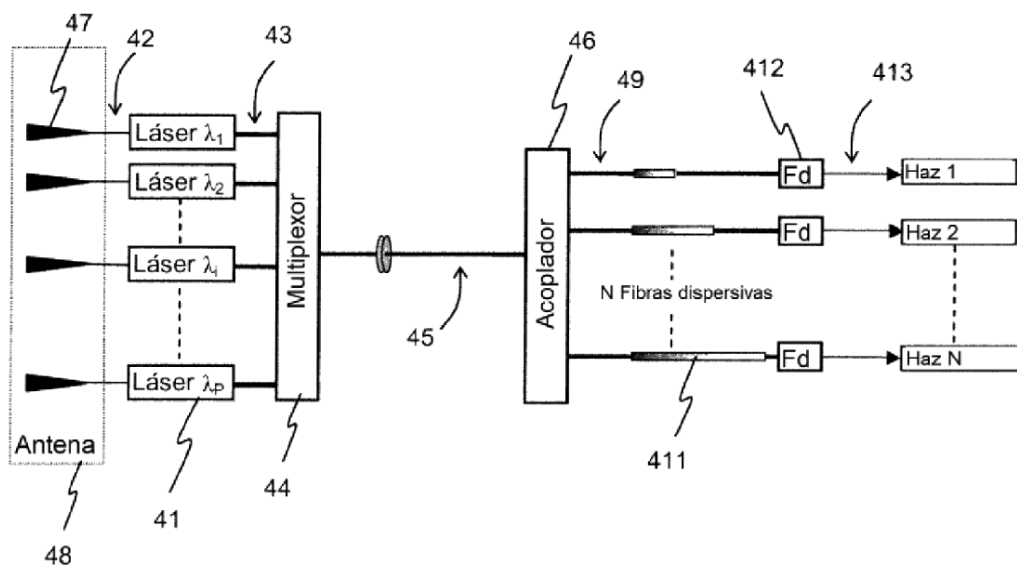
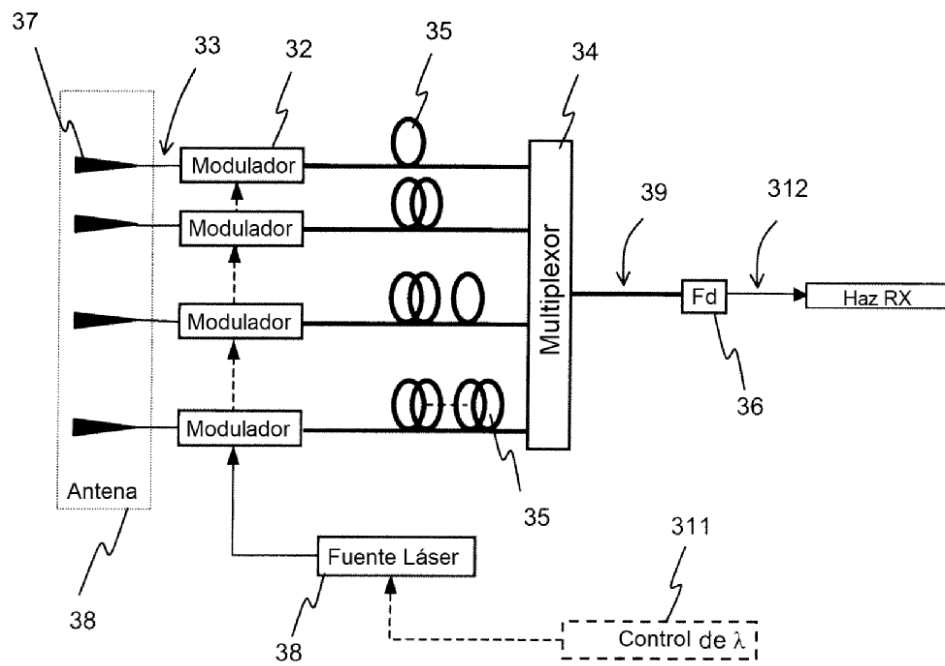
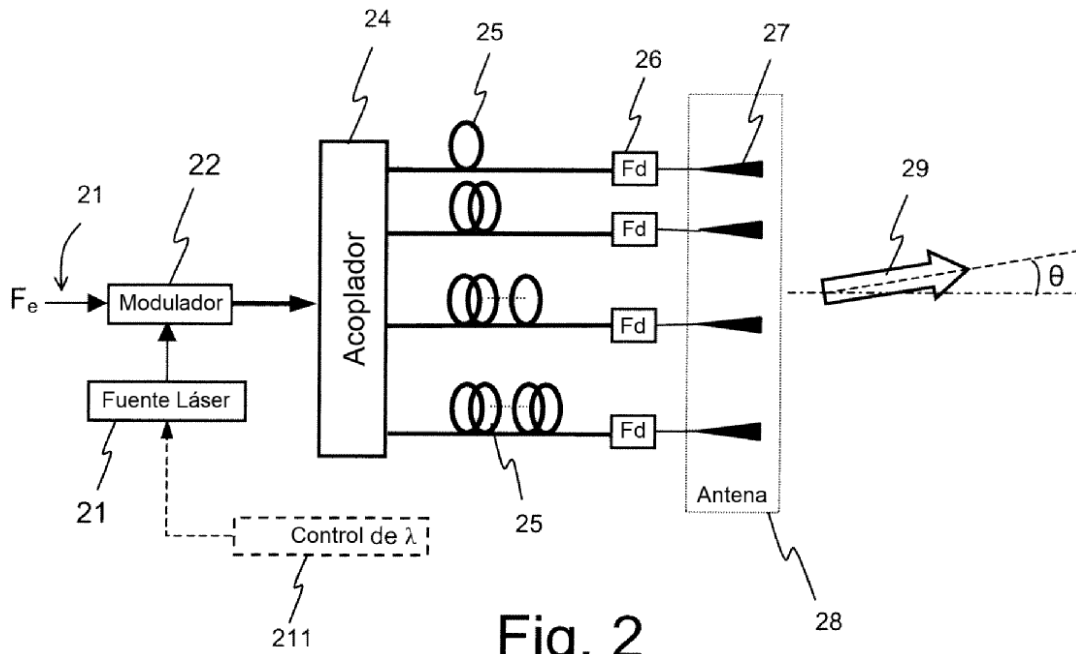


Fig. 4



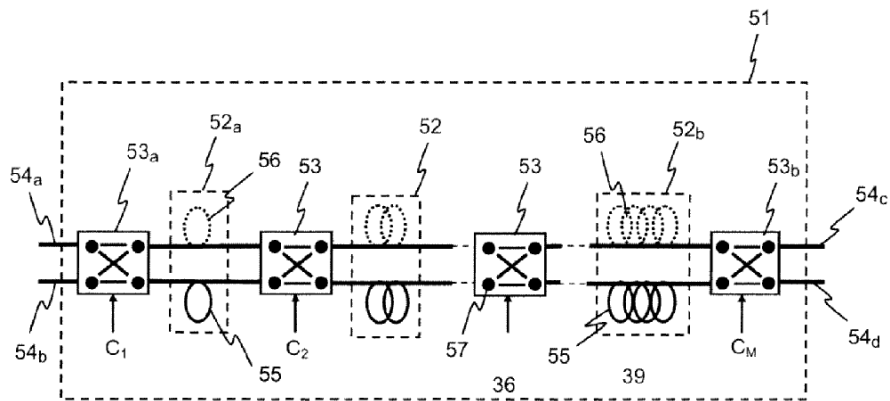


Fig. 5a

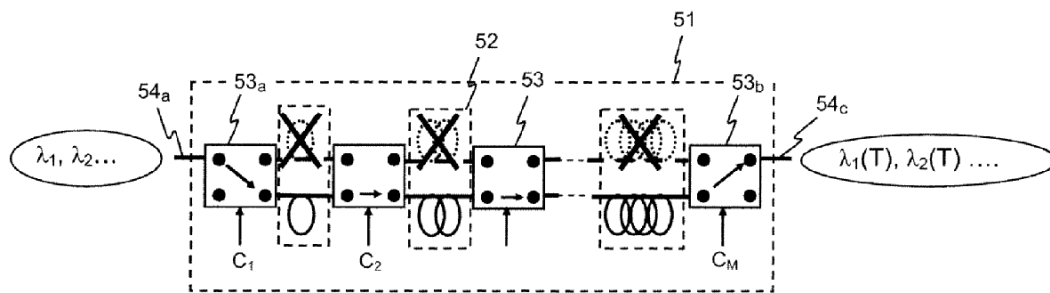


Fig. 5b

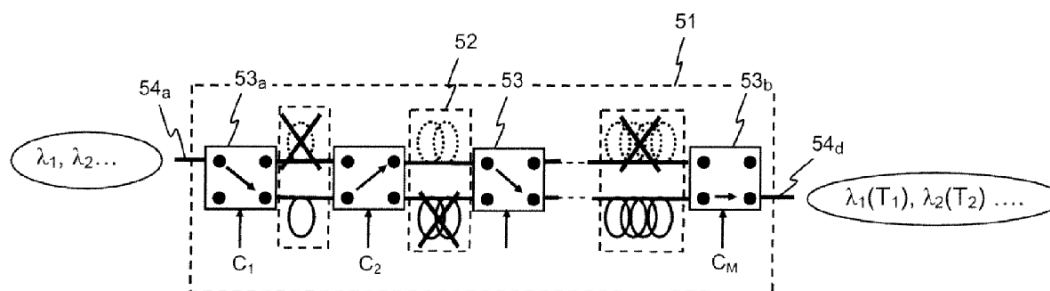


Fig. 5c

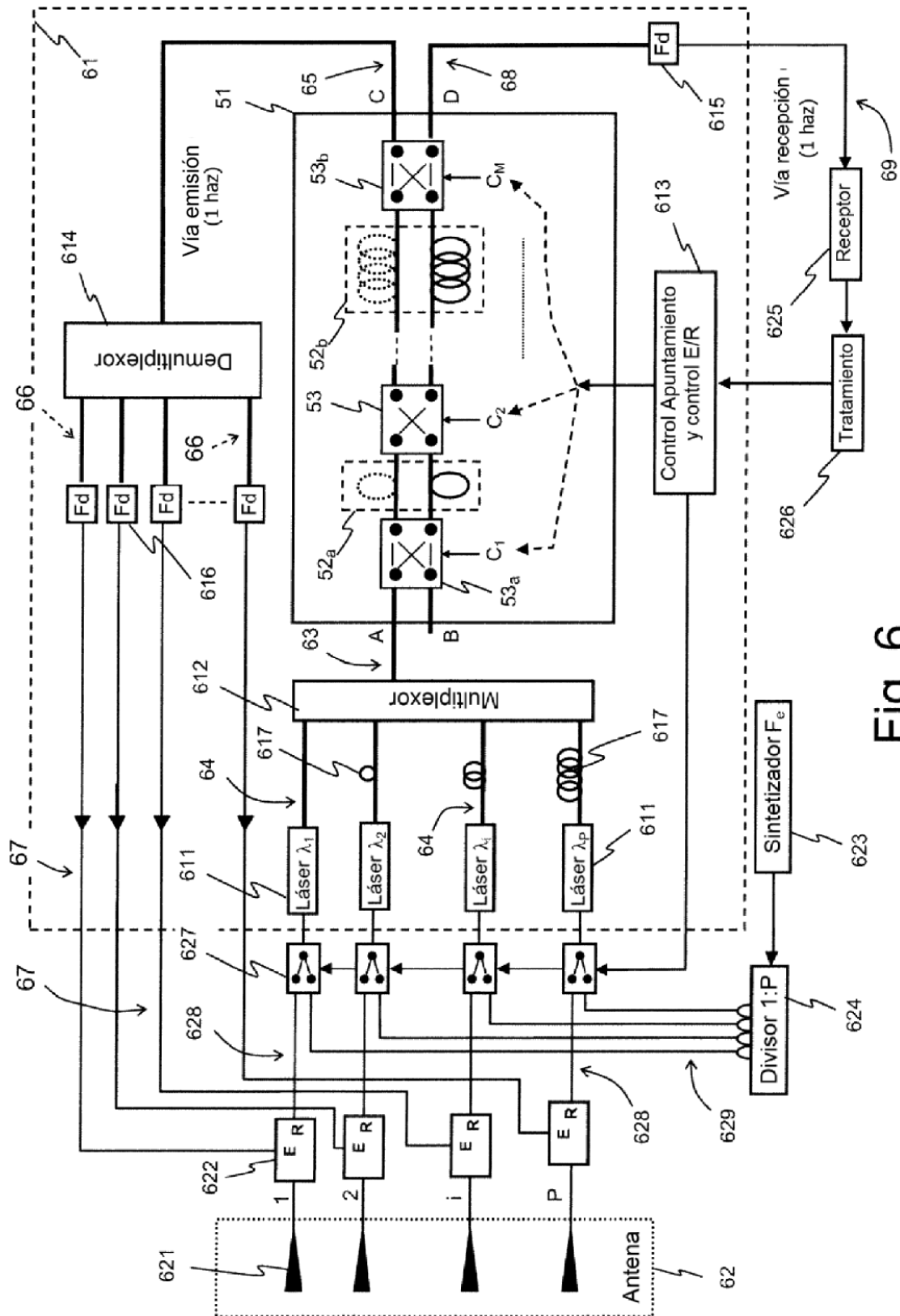
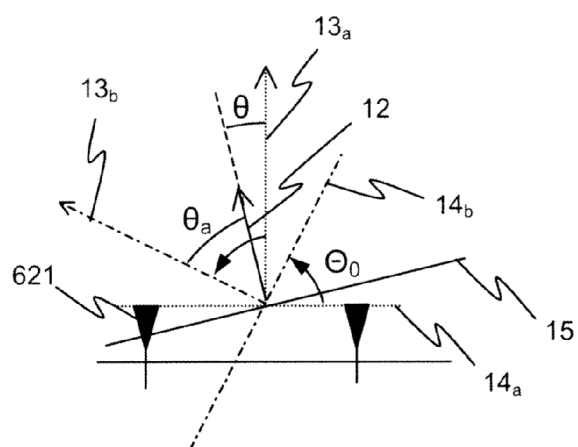
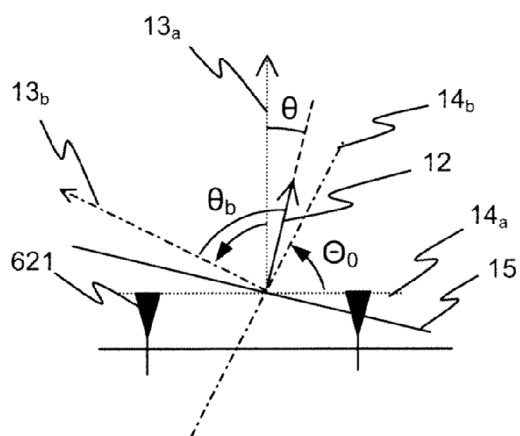


Fig. 6



7a



7b

Fig. 7

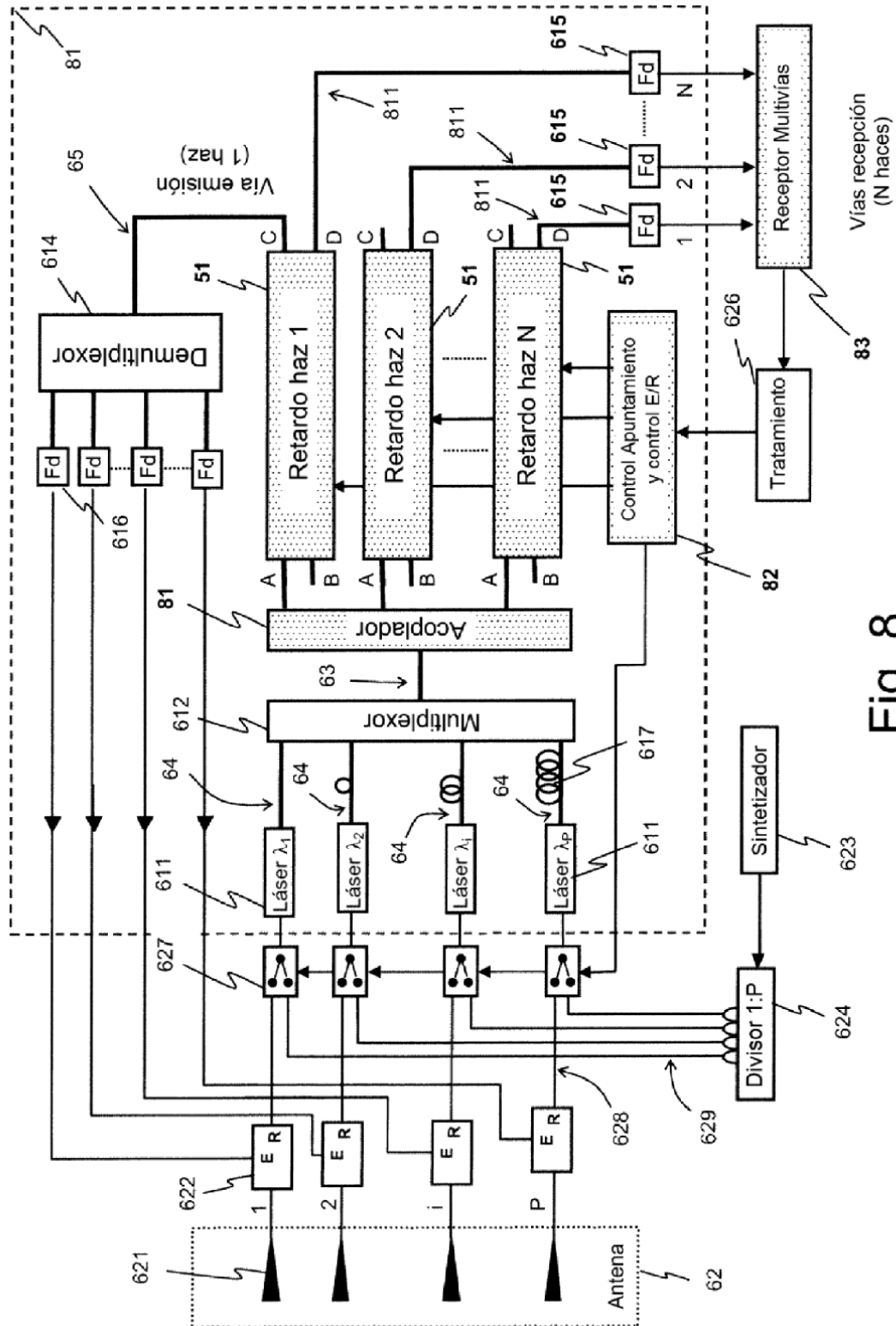


Fig. 8

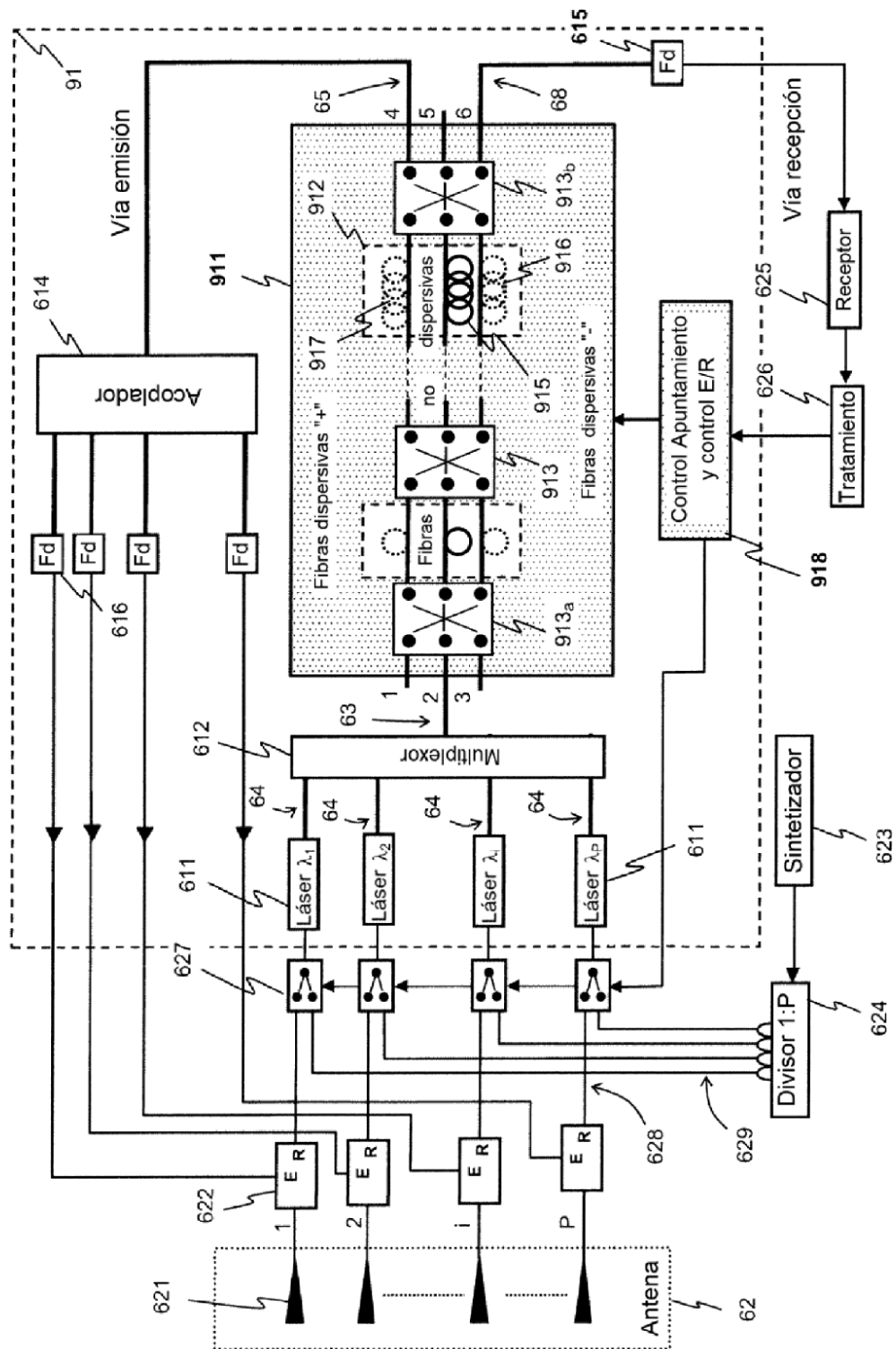


Fig. 9