

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional  
19 de Febrero de 2009 (19.02.2009)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional  
**WO 2009/022040 A1**

(51) Clasificación Internacional de Patentes:  
*H04B 3/00* (2006.01) *H04L 5/20* (2006.01)

Charles Robert Darwin, 2, Parque Tecnológico, E-46980 Paterna (Valencia) (ES).

(21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2008/000496

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (*para US solamente*): **TORRES CANTÓN, Luis Manuel** [ES/ES]; Sierra Martes, 22- Puerta 20, E-46015 Valencia (ES). **IRANZO MOLINERO, Salvador** [ES/ES]; Juan Llorens 29, Puerta 8, E-46008 Valencia (ES). **BADENES CORELLA, Agustín** [ES/ES]; Gobernador, 21 - 1º, E-12003 Castellón (ES). **VILDAL ROS, José María** [ES/ES]; Instituto Obrero de Valencia, 7-28, E-46013 Valencia (ES). **BLASOC CLARET, José Vicente** [ES/ES]; Guardia Civil, nº23-2-38, E-46020 Valencia (ES). **GONZÁLEZ MORENO, José Luis** [ES/ES]; Avda. Camí Nou, nº 29-Puerta 8, E-46950 Xirivella (Valencia) (ES). **TORSTEN BERGER, Lars** [ES/ES]; Bocairent, 6 - 2, E-46980 Mas Tell-Rosari - Paterna (Valencia) (ES).

(22) Fecha de presentación internacional:  
14 de Julio de 2008 (14.07.2008)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:  
P200702256 9 de Agosto de 2007 (09.08.2007) ES

(71) Solicitante (*para todos los Estados designados salvo US*):  
**DISEÑO DE SISTEMAS EN SILICIO, S.A.** [ES/ES];

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR INCREASING THE PERFORMANCE OF A COMMUNICATIONS SYSTEM ON A MEDIUM FORMED BY MULTIPLE CONDUCTORS

(54) Título: PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES

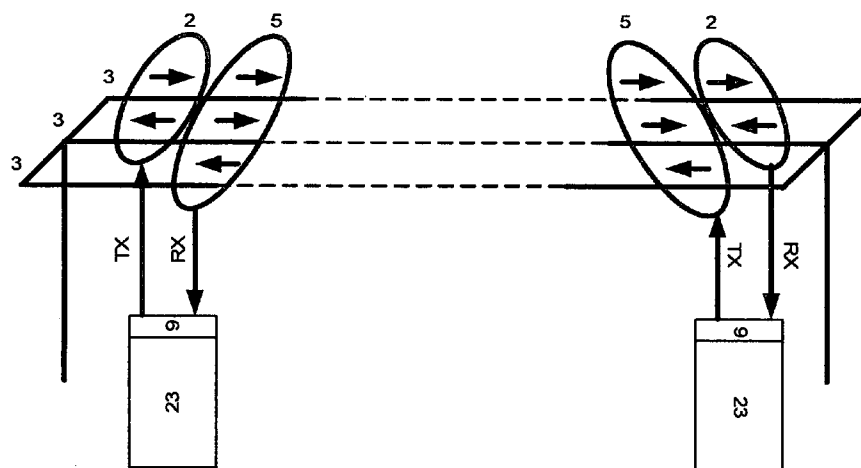


FIG. 8

(57) Abstract: Method for increasing the performance of a communications system on a medium formed by multiple conductors which increases the performance of a communications system by means of the creation of numerous communication channels with a high degree of isolation between each other on the same physical medium formed by multiple conductors. The method can be extended to be used in various applications, such as the reuse of frequencies on the same channel, the increase of the capacity of the point-to-point links in a network and the improvement of performance and reliability when used with digital processing of signals for transmission or reception, among others.

[Continúa en la página siguiente]

WO 2009/022040 A1



- (74) **Mandatario:** UNGRIA LÓPEZ, Javier; Avda Ramón y Cajal, 78, E-28043 MADRID (ES).
- (81) **Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Estados designados** (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publicada:**  
— *con informe de búsqueda internacional*

---

(57) **Resumen:** Procedimiento para aumentar las prestaciones de un sistema de comunicaciones sobre un medio formado por múltiples conductores que incrementa las prestaciones de un sistema de comunicaciones mediante la creación de múltiples canales de comunicación con un alto grado de aislamiento entre ellos sobre un mismo medio físico formado por múltiples conductores. El procedimiento puede ser extendido para ser usado en diversas aplicaciones, como la reutilización de frecuencias sobre un mismo canal, el aumento de la capacidad de los enlaces punto a punto en una red, la mejora de prestaciones y la fiabilidad al utilizarse con procesado digital de señales en transmisión o en recepción, entre otras.

**PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA  
DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES  
CONDUCTORES**

**OBJETO DE LA INVENCIÓN**

5           La presente invención, tal y como se expresa en el enunciado de esta memoria descriptiva, se refiere a un procedimiento para aumentar las prestaciones de un sistema de comunicaciones sobre un medio formado por múltiples conductores.

10           En cualquier sistema de comunicaciones se intenta aprovechar al máximo las características del medio de comunicación para conseguir la máxima capacidad de transmisión, fiabilidad, cobertura, etc. En el caso de que el medio de comunicaciones esté formado por múltiples  
15 conductores es posible utilizar dichos conductores para alcanzar uno o varios de estos objetivos.

          El procedimiento descrito en la presente invención se utiliza en un medio formado por múltiples conductores tanto para mejorar las prestaciones de la comunicación,  
20 como para incrementar la reutilización de frecuencias utilizadas, o mejorar la repetición, entre otras aplicaciones.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

          Los sistemas de comunicaciones necesitan un medio  
25 de transmisión de las señales que muchas veces está formado por múltiples conductores. La presencia de estos múltiples conductores puede ser aprovechada para mejorar diversas prestaciones del sistema de comunicaciones, tales como la capacidad de transmisión o la inmunidad al ruido, entre  
30 otras. Aunque este problema ha sido planteado y se han encontrado algunas soluciones más o menos válidas en el pasado, la presente invención presenta una nueva solución que aprovecha la multiplicidad de conductores de forma óptima para aumentar las prestaciones de la transmisión en  
35 el medio.

A continuación se describen los conceptos convencionales que se emplean en la presente invención. Se entiende "modo" como la inyección de tensión o corriente sobre una combinación selectiva de conductores, plano de referencia o ambos. Asimismo, se define la "multiinyección ortogonal" como una inyección de múltiples modos ortogonales entre sí. Los modos de inyección se dividen en modo común, modos diferenciales y modos pseudo-diferenciales. El modo común es aquél que provoca circulación de corrientes por el plano de referencia. Los modos diferenciales consisten en la inyección por un conductor y la toma del retorno por otro, mientras que los modos pseudo-diferenciales consisten en la inyección de tensión o corriente entre uno o más conductores y el retorno por uno o más conductores diferentes a los utilizados para la inyección, siendo el número de conductores utilizados en este caso más de dos.

En el estado del arte existen algunas patentes con conceptos relacionados, pero que no afectan ni a la novedad ni a la altura inventiva de la presente invención. Por ejemplo cabe citar la patente "Space time coded data transmission via inductive effect between adjacent power lines" (GB238372A) que describe la utilización de múltiples caminos para la señal de comunicaciones sobre la red eléctrica y en la aplicación de procesado digital para identificar en cada nodo los mejores periodos de tiempo y bandas de frecuencia para comunicarse. Además, en este documento, se trata el canal como un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas donde la señal se acopla entre los distintos conductores para llegar por varios caminos a los nodos. Este documento no resta novedad ni altura inventiva a la presente invención, puesto que no se realizan múltiples inyecciones ortogonales sobre un medio multiconductor, sino un método distinto para realizar las comunicaciones que busca aprovechar el acoplamiento entre

conductores en lugar de eliminarlo.

Por otro lado las publicaciones "A novel approach to the modeling of the indoor power line channel Part I: Circuit analysis and companion model" (IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 2, pp. 655-663, Apr. 2005) y "A novel approach to the modeling of the indoor power line channel Part II: Transfer function and channel properties" (IEEE Trans. Power Del., vol. 20, no. 3, Jul. 2005) analizan el canal formado por la red eléctrica como medio de transmisión dentro de las casas, asimilándolo a la teoría de líneas de transmisión en multiconductores (MTL), con el fin de conseguir un modelo realista para dicho canal. Esto no interfiere con la novedad ni altura inventiva de la presente invención puesto que la invención se basa en el aumento de prestaciones de un sistema de comunicaciones mediante la multiinyección ortogonal de señales, independientemente del modelo utilizado para el canal.

Otra publicación del estado del arte tiene como título "High-Frequency characteristics of overhead multiconductor power lines for broadband communication" (IEEE Jour. Communications, Vol. 24, no. 7, Jul. 2006), y presenta otro modelo avanzado para el canal formado por la red eléctrica como medio de transmisión en líneas aéreas de media tensión. Por las mismas razones que las indicadas anteriormente, este documento no interfiere con la novedad ni altura inventiva puesto que el procedimiento de la presente invención puede aplicarse independientemente del modelado que se realice sobre el canal de comunicaciones.

Por otro lado, la publicación "Characteristics of powerline channels in cargo ships" de Tsuzuki, Yoshida, Yamada, Kawasaki, Mrai, Matsuyam y Suzuli (IEEE 1-4244-1090-8/07) describe la forma de caracterizar la red eléctrica de los cables de un barco de carga, donde el cableado es de dos hilos con pantalla a tierra. Para ello se inyecta una misma señal en forma común y diferencial

(dual mode transmission), y se recibe de forma diferencial, con lo que se aprovecha la conversión de señales por acoplamiento (crosstalk) para conseguir una menor atenuación respecto a la utilización de sólo la transmisión diferencial. Esto es, a partir de un sistema de varios hilos, en esta publicación se busca tener un único canal de comunicaciones. La presente invención utiliza modos de inyección ortogonales en N cables buscando conseguir hasta N canales de comunicaciones independientes, aprovechando dicha ortogonalidad para aumentar las prestaciones de un sistema de comunicaciones evitando el crosstalk en lugar de potenciarlo, lo que no está anticipado ni resulta evidente para un experto medio en la materia a partir de esta publicación.

En el estado del arte previo a la presente patente también puede encontrarse la publicación "Vectored Transmission for Digital Subscriber Line Systems" (George Ginis, John M. Cioffi, IEEE Journal On Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 5, June 2002) en la que se describe la forma de incrementar la velocidad de transmisión en un mazo de pares trenzados, donde la inyección en dichos pares trenzados se hace de forma diferencial, coordinando las transmisiones y usando técnicas de entradas y salidas múltiples (MIMO) para cancelar el crosstalk. Tal y como ocurre con otros documentos del estado del arte, esto no anticipa la presente invención cuyo procedimiento se basa en inyecciones ortogonales sobre N conductores para conseguir aumentar las prestaciones de un sistema de comunicaciones.

Una patente del fondo tecnológico relacionada con la problemática a resolver es la denominada "Phantom Use in DSL systems" con número de publicación US 2006/0268966. Esta patente utiliza un modo común que se superpone a las señales que se envían en un mazo de pares trenzados (denominado phantom mode) donde la inyección en dichos

pares trenzados se hace de forma diferencial. Con ello se genera un nuevo camino para la comunicación utilizando la radiación producida por este modo. Nuestra patente utiliza multiinyecciones ortogonales para la creación de nuevos canales, por lo que no interfiere con esta patente.

Finalmente, también se puede relacionar con el estado del arte la contribución "Submission to Working Group T1E1.4" (GDSL, Gigabit DSL, J. Cioffi et al, T1E1.4/2003-487R1). En esta contribución se utilizan inyecciones diferenciales sobre pares trenzados utilizando un conductor escogido como referencia para la señal de retorno. Como en anteriores ocasiones, este documento no resta novedad ni altura inventiva, puesto que el procedimiento planteado en esta patente se basa en la multiinyección ortogonal sobre N conductores, y no en inyecciones diferenciales, para conseguir aumentar las prestaciones del sistema de comunicaciones.

#### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

Para lograr los objetivos y evitar los inconvenientes indicados en anteriores apartados, la invención consiste en un procedimiento para aumentar las prestaciones de un sistema de comunicaciones sobre un medio formado por múltiples conductores y un plano de referencia, donde el número de conductores será en general N. Dicho procedimiento se caracteriza porque se inyectan señales de comunicación en hasta N modos, siendo un modo la inyección de tensión o corriente sobre una combinación selectiva entre conductores, plano de referencia o ambos; de forma que dichos modos sean ortogonales entre sí.

Aunque se pueden utilizar hasta los N modos, existe un modo que provoca circulación de corrientes por el plano de referencia. Este modo es el denominado modo común. En casos concretos, por ejemplo cuando se desean reducir al mínimo las radiaciones, se puede evitar la utilización de la inyección que provoca la transmisión en modo común, por

lo que sólo se utilizarán modos diferenciales, pseudo-diferenciales y sus combinaciones.

En general, el procedimiento es adecuado para cualquier medio con múltiples conductores, siendo uno de esos medios la red eléctrica.

Una aplicación del procedimiento consiste en que el equipo transmisor inyecta simultáneamente en hasta N modos de entre los diferenciales, pseudo-diferenciales y modo común en el proceso de comunicación, de forma que se multiplica la capacidad de transmisión en el sistema de comunicaciones sin utilizar procesado digital extra.

En un caso particular, el equipo transmisor inyecta señal simultáneamente sobre el mismo ancho de banda o rango de frecuencias para conseguir la multiplicación de la capacidad de transmisión.

Otra aplicación posible del procedimiento de la invención es incrementar la atenuación entre redes de comunicaciones y mejorar la coexistencia de dichas redes en un mismo medio. Para ello cada una de las redes de comunicación coexistentes en un mismo medio físico utilizará un conjunto diferente de modos de inyección, de entre los N posibles, tal que los conjuntos de modos de inyección seleccionados por las distintas redes de comunicación sean disjuntos.

En múltiples sistemas de comunicaciones es necesario utilizar repetidores para que la señal de un equipo pueda llegar a otros equipos alejados (en cuanto a atenuación). Usualmente dichos repetidores son repetidores en frecuencia, esto es, se comunican con un grupo de nodos usando una banda de frecuencias y repiten la señal para otro grupo de nodos utilizando otra banda de frecuencias diferente. Este tipo de repetidores suelen utilizar filtros de coexistencia para anular la interferencia entre las distintas bandas de frecuencias utilizadas para repetir. Aplicando el procedimiento de la invención se puede hacer

que dichos repetidores utilicen modos de inyección distintos de entre los N posibles; de forma que se relajen las especificaciones de los filtros necesarios para reducir la interferencia entre las distintas bandas de frecuencias utilizadas por el repetidor, o incluso se elimine la necesidad de dichos filtros.

Otro caso de interferencia al utilizar repetidores en frecuencia se produce cuando los equipos que forman el sistema de comunicaciones reutilizan las mismas frecuencias en enlaces remotos. En este caso se producirá interferencia entre equipos que usen las mismas frecuencias, a menos que los equipos estén tan alejados (en términos de atenuación) que las señales enviadas por uno de los equipos no puedan distinguirse del suelo de ruido captado por el otro equipo. El procedimiento de la invención puede utilizarse para mejorar este caso, para lo que los equipos que forman el sistema de comunicaciones reutilizarán las mismas frecuencias sin producir interferencia entre sí, mediante la utilización de diferentes modos de inyección en los equipos de comunicación de los enlaces remotos; de forma que se permite una mayor flexibilidad en la reutilización de rangos de frecuencia en la planificación de redes de comunicaciones.

El procedimiento también puede utilizarse para mejorar la fiabilidad de la comunicación, para lo que se transmitirán múltiples versiones de la señal de comunicaciones en los modos de inyección utilizados para posteriormente combinarlos en recepción.

El uso de múltiples modos de inyección en transmisión y en recepción, permite que se apliquen técnicas de procesado digital de entrada y salida múltiple (MIMO) de las señales de comunicaciones, en los modos de inyección utilizados de entre los N posibles. Gracias a ello, es posible mejorar las prestaciones de la comunicación.

Una de las técnicas MIMO aplicables es la codificación espacio-temporal. En este caso el procedimiento se aplica junto con técnicas de codificación espacio-temporal consistentes en distribuir la señal de comunicaciones entre los modos de inyección utilizados; de forma que se explota al mismo tiempo la diversidad y la ganancia de codificación.

Otra posibilidad es que junto al procedimiento de invención se apliquen técnicas de transmisión a través de los autovectores del canal (eigenmode transmission) en transmisión y en recepción, para permitir al receptor decodificar las señales recibidas a través de cada uno de los modos de inyección utilizados.

Una tercera posibilidad es que el procedimiento incluya técnicas de procesamiento digital, que permitan en recepción la cancelación de la interferencia o acoplamiento (crosstalk) entre los modos de inyección utilizados; de forma que aumenta la relación señal a ruido (SNR) detectada en cada uno de dichos modos de inyección, y con ello las prestaciones de las comunicaciones.

Otra aplicación del procedimiento es conseguir comunicaciones bidireccionales. En caso de que el sistema de comunicaciones esté formado por dos equipos, estos equipos se comunican bidireccionalmente al mismo tiempo (full-duplex communication) para lo que un primer equipo utiliza un conjunto de modos de inyección de entre los N posibles para transmitir al segundo equipo y otro conjunto de modos de inyección diferentes para recibir las señales del segundo equipo, mientras que el segundo equipo utiliza el primer conjunto para recibir y el segundo para transmitir, donde dichos conjuntos son disjuntos.

En caso de que el sistema esté formado por múltiples equipos, el procedimiento se caracteriza porque un equipo transmite simultáneamente a otros equipos utilizando un conjunto de modos de inyección para la

transmisión a cada uno de los equipos receptores, donde dichos conjuntos son disjuntos.

Asimismo otra posible aplicación del procedimiento es que un equipo reciba simultáneamente de otros equipos  
5 utilizando un conjunto de modos de inyección para la recepción desde cada uno de los equipos transmisores, donde dichos conjuntos son disjuntos.

Usualmente, las transmisiones realizadas por distintos modos de inyección sufren de distinta forma las  
10 características del canal: atenuación, interferencia, suelo de ruido, etc. En un caso concreto, es posible utilizar únicamente los modos de inyección que presentan mejores características para la comunicación, de forma que se consigue aumentar la robustez y prestaciones del sistema de  
15 comunicaciones.

Existen múltiples formas de seleccionar qué modos de inyección son los adecuados. Algunos ejemplos de las características de la comunicación que permiten seleccionar los modos de inyección son: el ruido presente en el modo de  
20 inyección, la interferencia presente en el modo de inyección, la estabilidad del canal en el modo de inyección, la radiación provocada por el modo de inyección, la atenuación del canal en el modo de inyección o una combinación de las anteriores.

En el caso de que el sistema de comunicaciones utilice modulación OFDM y multiinyección ortogonal, pueden utilizarse técnicas de procesado digital diferentes, modos de inyección diferentes o una combinación de técnicas de procesado digital y modos de inyección, en grupos formados  
30 por una o varias portadoras de la modulación OFDM.

A continuación, para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompañan unas figuras en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha  
35 representado el objeto de la invención.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

**Figura 1.-** Muestra los modos de propagación por el medio de transmisión formado por dos conductores paralelos, utilizando modos de inyección ortogonales.

5 **Figura 2.-** Muestra los modos de propagación por el medio de transmisión formado por tres conductores paralelos, utilizando modos de inyección ortogonales.

10 **Figura 3.-** Representa los modos de inyección ortogonales admisibles en un medio formado por doce conductores paralelos.

**Figura 4.-** Muestra un esquema general, transmisor-medio de transmisión-receptor, donde se utilizan N modos de inyección ortogonales de forma simultánea en un enlace punto a punto.

15 **Figura 5.-** Representa un caso típico de interferencia entre dos redes que comparten el mismo medio físico donde deben coexistir.

20 **Figura 6.-** Muestra un esquema de interferencias entre enlaces en una red con división en frecuencia y la posición espectral de las señales y las funciones de transferencia de los filtros de coexistencia necesarios para evitar las interferencias.

**Figura 7.-** Muestra un esquema genérico de comunicación full-duplex entre dos equipos.

25 **Figura 8.-** Representa un esquema de comunicación full-duplex sobre línea eléctrica aérea de media tensión con tres fases, en las que se utiliza el procedimiento de multiinyección ortogonal.

30 **Figura 9.-** Muestra el esquema general, transmisor-medio de transmisión-receptor, en el que se utiliza procesado MIMO en transmisión y recepción.

35 **Figura 10.-** Muestra el esquema general, transmisor-medio de transmisión-receptor, en el que la misma señal se inyecta de forma ortogonal en el medio multiconductor y se reciben tantas señales como las inyectadas, propagadas por

modos distintos.

**Figura 11.-** Representa la particularización del esquema genérico de la figura anterior cuando se utilizan técnicas de codificación espacio-temporal.

5 **Figura 12.-** Representa la particularización del esquema genérico de la figura 10 cuando se utilizan técnicas de transmisión a través de los autovectores del canal.

10 **Figura 13.-** Representa la particularización del esquema genérico de la figura 10 cuando se intenta minimizar el acoplamiento entre los canales de multiinyección.

15 **Figura 14.-** Muestra el esquema general, transmisor-medio de transmisión-receptor, en el que el receptor selecciona qué inyección es más adecuada para la comunicación a partir de la señal recibida.

**Figura 15.-** Presenta un ejemplo de agrupación de portadoras de una modulación OFDM para el procedimiento de multiinyección ortogonal.

20 **DESCRIPCIÓN DE VARIOS EJEMPLOS DE REALIZACIÓN DE LA**  
**INVENCION**

Seguidamente se realiza la descripción de varios ejemplos de realización de la invención, haciendo referencia a la numeración adoptada en las figuras.

25 El problema que el procedimiento de la invención quiere resolver, desde un punto de vista teórico, consiste en cómo utilizar la propiedad de que el medio de transmisión esté formado por múltiples conductores para conseguir maximizar las prestaciones de un sistema de  
30 comunicaciones que utiliza dicho medio de transmisión.

Antes de presentar diversos ejemplos de realización de sistemas de comunicación utilizando el procedimiento de la invención, se analizará de forma teórica el medio multiconductor, lo que permite justificar la validez del  
35 procedimiento de la invención. Desde un punto de vista

teórico es posible describir matemáticamente un medio multiconductor con N conductores paralelos referidos a un plano de referencia que conducen señales entre una fuente y una carga mediante la teoría de MTL (multi-conductor transmission line). El modo dominante de propagación de estas señales es el modo electromagnético transversal (TEM ó Transverse ElectroMagnetic Mode), donde tanto el campo eléctrico como el magnético se propagan ortogonalmente en el plano perpendicular al eje de los conductores. Estas estructuras pueden propagar señales desde continua (frecuencia cero) hasta frecuencias de longitud de onda comparable a la dimensión de la sección transversal del conductor. La teoría MTL para conductores paralelos puede ser utilizada para el modelado de forma más fiable cuanto más sean dominantes los modos TEM. En el momento que se sube en frecuencia, empezarán a ser contributivos modos de mayor orden que el TEM y, por lo tanto, las aproximaciones realizadas por la teoría MTL dejarán de tener validez. Aún siendo dominante el modo TEM, en la realidad el medio no es homogéneo y no se mantiene la geometría espacial o las características intrínsecas del mismo, lo cual hace que hablemos de modos quasi-TEM, cuyas características de propagación y aislamiento entre inyecciones empeora. En cualquier caso, se usa la teoría MTL para describir la base en la que se sostiene el procedimiento de la invención.

Las señales que se inyectan en los diferentes conductores del medio, generan un campo electromagnético que produce acoplamiento de señal entre conductores, generándose el denominado acoplamiento o crosstalk. Uno de los principales fines de la teoría MTL es predecir dicho crosstalk.

La teoría MTL en el caso más simple de dos conductores, se reduce a tener dos modos de propagación espacial de la señal, el modo común y el modo diferencial. Normalmente es el modo diferencial el utilizado para

transportar la energía de las señales de datos que se transmiten en aplicaciones reales (por ejemplo, las comunicaciones a través de la red eléctrica). El modo común se inyecta en ambos conductores y el retorno se hace por el plano de referencia o tierra, mientras que el modo diferencial consiste en inyectar por un conductor y tomar el retorno por el otro. El modo común tiene pérdidas mayores y el inconveniente añadido de radiar más que el modo diferencial, lo cual hace que su uso esté más limitado a nivel de cumplimiento de estándares de regulación de emisiones. Aún tratando de evitar el modo común, toda señal diferencial que se propague por un canal, tendrá un factor de conversión a modo común, debido a asimetrías y desbalances del canal.

Cuando los modos de inyección utilizados son ortogonales, según la teoría MTL, no existirá interferencia entre ellos. Esto puede comprobarse matemáticamente planteando un sistema de ecuaciones de las corrientes por cada conductor o las tensiones en los mismos. Para N conductores y un plano de referencia habrá N modos de inyección ortogonales. Particularizando para las corrientes y considerando las corrientes en los N conductores se llega al siguiente sistema:

$$\begin{pmatrix} \tilde{I}_1 \\ \tilde{I}_2 \\ \cdot \\ \tilde{I}_N \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} I_c \\ I_{d1} \\ \cdot \\ I_{pd1} \\ \cdot \end{pmatrix}$$

donde  $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1N} \\ a_{21} & \cdot & \cdot & a_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{N1} & \cdot & \cdot & a_{NN} \end{pmatrix}$

Donde  $\tilde{I}_i$  ( $i=1..N$ ) es la corriente que pasa por el conductor  $i$ ,  $I_c$  es la corriente de modo común,  $I_{di}$  ( $i=1..k$ ) son las corrientes de modo diferencial,  $I_{pdi}$  ( $i=1..s$ ) son corrientes de modo pseudo-diferencial y  $a_{ij}$  ( $i=1..N$ ,  $j=1..N$ ) es el factor de contribución de la corriente de cada modo a la corriente por el conductor  $i$ . No es posible utilizar cualquier combinación para generar un modo diferencial o pseudo-diferencial adecuado; únicamente serán válidos aquellos que demuestren ortogonalidad frente al resto de modos utilizados (de acuerdo al sistema de ecuaciones arriba planteado).

Según la teoría MTL el sistema que relaciona las corrientes por los conductores con las corrientes de cada modo es ortogonal, es decir, es un sistema lineal independiente y además los vectores de corriente de cada modo son ortogonales. Por ser un sistema independiente, el rango de la matriz  $A$  es igual a  $N$ ; mientras que al ser los modos ortogonales el producto de la matriz  $A$  transpuesta por  $A$  es una matriz diagonal.

En la figura 1 puede observarse un ejemplo de los modos de propagación que existen sobre el caso concreto de la red eléctrica al inyectar en modo común (1) y en modo diferencial (2), cuando la red está formada por sólo dos conductores (3) y el plano de referencia o circuito de tierra (4). La corriente en modo común  $I_c$  se distribuye por los múltiples conductores y retorna por el plano de referencia, mientras que la corriente diferencial se inyecta por un conductor y retorna por el otro.

Cuando el medio de transmisión está compuesto de tres conductores los modos de propagación serán los mismos que con dos conductores, más un modo que denominaremos modo pseudo-diferencial, donde la corriente circula por dos de los conductores y retorna por el tercero. El modo pseudo-diferencial, al igual que el diferencial, presenta unas características óptimas para la propagación de señal, al

tener baja atenuación en el canal, y como puede demostrarse matemáticamente es ortogonal a los otros dos.

La figura 2 muestra los modos de inyección ortogonales para el caso de la red eléctrica formada por tres conductores (3) junto con el plano de referencia (4). En este caso, además del modo común (1) y el diferencial (2), puede realizarse la inyección de forma pseudo-diferencial (5).

A partir de estos valores es posible realizar una extrapolación de los modos de inyección para N conductores paralelos con plano de referencia aplicando la teoría MTL, donde habrá N posibles inyecciones de señales ortogonales. En la siguiente tabla puede encontrarse el número de modos de inyección de señales ortogonales agrupados por tipo (común, diferencial y pseudo-diferencial) en función del número de conductores:

	3 Conduc.	4 Conduc.	7 Conduc.	12 Conduc.	N Conduc. (N impar)	N Conduc. (N par)
N° inyecciones Modo común	1	1	1	1	1	1
N° inyecciones Modo diferencial	1	2	3	6	$\frac{N-1}{2}$	$\frac{N}{2}$
N° inyecciones Modo pseudo-diferencial	1	1	3	5	$\frac{N-1}{2}$	$\frac{N-2}{2}$

Para comprobar con un ejemplo las inyecciones ortogonales, supongamos un medio con doce conductores (3), como el presentado en la figura 3. En dicha figura se incluyen doce modos de inyección que deseamos saber si son ortogonales. Se comprobará la ortogonalidad de la matriz de corrientes planteando el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{pmatrix} \tilde{I}_1 \\ \tilde{I}_2 \\ \tilde{I}_3 \\ \tilde{I}_4 \\ \tilde{I}_5 \\ \tilde{I}_6 \\ \tilde{I}_7 \\ \tilde{I}_8 \\ \tilde{I}_9 \\ \tilde{I}_{10} \\ \tilde{I}_{11} \\ \tilde{I}_{12} \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} I_c \\ I_{d1} \\ I_{d2} \\ I_{d3} \\ I_{d4} \\ I_{d5} \\ I_{d6} \\ I_{pd1} \\ I_{pd2} \\ I_{pd3} \\ I_{pd4} \\ I_{pd5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/12 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/4 & 1/8 \\ 1/12 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & -1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & -1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -1/4 & 1/8 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & -1/4 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & -1/4 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -1/4 \\ 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & -1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_c \\ I_{d1} \\ I_{d2} \\ I_{d3} \\ I_{d4} \\ I_{d5} \\ I_{d6} \\ I_{pd1} \\ I_{pd2} \\ I_{pd3} \\ I_{pd4} \\ I_{pd5} \end{pmatrix}$$

Este sistema es lineal independiente (puesto que el rango de A es igual a doce), y el producto de la traspuesta ( $A^t$ ) de A por la matriz A es diagonal, con lo que las 5 inyecciones elegidas son ortogonales.

$$A^t \cdot A = \begin{pmatrix} 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3/8 & 0 \end{pmatrix}$$

En aplicaciones prácticas muchas veces es conveniente evitar la utilización de la inyección en modo común por motivos de interferencia electromagnética, por lo que es preferible utilizar, como máximo, un total de N-1 modos de inyección. Por otro lado, tanto el crosstalk entre modos como los desbalances del medio de transmisión hacen que el nivel de modo común aumente a medida que las

distintas señales se propagan por el medio, aumentando la radiación y con ella las pérdidas de señal diferencial y pseudo-diferencial. A pesar de la degradación de la señal, el procedimiento de invención permite, entre otras aplicaciones, mantener un nivel de señal útil suficiente para aprovechar la posibilidad de tener el ancho de banda del medio multiplicado por un factor de hasta  $N-1$  (sin utilizar el modo común), sin haber aumentado el espectro de frecuencias utilizado, es decir, inyectando diferentes señales aprovechando el mismo ancho de banda en el canal y mejorando por  $N-1$  el número de señales entre un emisor y un receptor o entre un emisor y varios receptores.

A continuación se explican diversos ejemplos de realizaciones de sistemas de comunicaciones en los que el procedimiento de invención se utiliza para aumentar las prestaciones de dichas comunicaciones.

Una aplicación inmediata del procedimiento de la invención es un sistema de comunicación en el que el transmisor inyecta simultáneamente hasta  $N$  modos diferentes de los posibles (diferenciales, pseudo-diferenciales y el modo común) para multiplicar la capacidad de transmisión del sistema con la ventaja de no necesitar ningún procesado digital extra y sin expandir el rango de frecuencias.

Un ejemplo de multi-transmisión ortogonal simultánea en un enlace punto a punto como el que se acaba de describir puede encontrarse en la figura 4, donde hay un nodo transmisor (11) y un nodo receptor (12) que se comunican por un medio de transmisión (10) formado por  $N$  conductores sobre un ancho de banda limitado por las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . El crosstalk o acoplamiento también se representa en esta figura mediante líneas discontinuas (30). La salida del modulador/demodulador (6) del transmisor consiste en  $N$  señales distintas que se convierten de forma digital a analógica ( $DAC_1$  a  $DAC_N$ ). Cada señal se amplifica de forma analógica (módulo AFE) (7) ( $S_1$  a

$S_N$ ) y se inyectan ( $TX_1$  a  $TX_N$ ) de forma ortogonal en el medio (10) a través del acoplador (8). Por tanto, la señal sobre el medio de transmisor es una señal formada por  $N$  señales sobre el mismo ancho de banda (9). En recepción se hace el  
5 proceso contrario, tomando las señales con el acoplador (8), que estarán afectadas por las características del canal de comunicaciones ( $S'_1$  a  $S'_N$ ), obteniendo  $N$  señales ( $RX_1$  a  $RX_N$ ), amplificándolas con un módulo AFE (7). Después las señales se pasan al dominio digital ( $ADC_1$  a  $ADC_N$ ), y  
10 finalmente se introducen en el modulador/demodulador (6) para recuperar la información transmitida.

El uso del procedimiento de la invención en este ejemplo de realización permite tener el ancho de banda de comunicación multiplicado por el número de inyecciones sin  
15 utilizar otras bandas de frecuencias distintas a las ya utilizadas para una única inyección.

Otro ejemplo de realización del procedimiento de la invención mejora la coexistencia de redes que comparten un mismo medio de transmisión. Todo sistema de comunicaciones  
20 tiene un rango máximo de funcionamiento, en cuanto a distancia máxima alcanzable debido a la atenuación del medio, interferencia de nodos de otras redes y ruido presente en el medio, entre otras degradaciones. Más allá de este rango, la comunicación entre nodos no se puede  
25 realizar. Cuando el elemento que limita el rango de funcionamiento de un nodo es la presencia de señal de otro nodo que pertenece a otra red de comunicaciones que comparte el medio, la señal experimentará una degradación de sus prestaciones debido a esta interferencia. Dichos  
30 nodos deben coexistir en el mismo medio, y sería deseable que dicha coexistencia se realizase con la menor pérdida posible de prestaciones.

Además, en ciertos sistemas de comunicaciones, es deseable que dos nodos situados dentro del rango de  
35 comunicación no se puedan comunicar entre ellos por

distintos motivos. En estos casos la coexistencia presenta aún más dificultades, puesto que la interferencia de señales es tan grande que hace posible la comunicación entre ambos nodos. En estos casos, es posible aplicar técnicas de intercambio de mensajes para compartir tiempo, frecuencia u otras magnitudes que permitan la transmisión de ambos nodos sin interferencia.

En este marco, la utilización del procedimiento de la invención permite a dos nodos dentro del rango de comunicación operar de manera independiente sin restarse prestaciones por interferencia entre ellos.

Hay diferentes técnicas que permiten a las redes coexistir, desde multiplexación en tiempo, en frecuencia, a diversas técnicas de codificación o encriptación. Por otro lado, cuanto menor es la potencia interferente de una red en otra con la que comparte el medio, más sencillo es coexistir y en cualquier caso, el perjuicio que se tendrá en las prestaciones de ambas redes será menor.

Aplicando el procedimiento sobre los sistemas de comunicaciones coexistentes se logrará que la atenuación entre redes presentes en un mismo medio sea mayor, siempre que cada una de ellas use un modo de inyección distinto, aun utilizando la misma banda de frecuencias.

En la figura 5 se muestran dos redes, cada una de las cuales tiene que dar cobertura a una zona, la Red 1 (13) da cobertura a la Zona 1 (14), mientras que la Red 2 (15) da cobertura a la Zona 2 (16). Ambas redes comparten el medio físico (10) y, por lo general, tendrán una zona de acción mayor que la zona que deben cubrir. Este es un factor determinante a la hora de interferencia entre redes. Cuanto mayor sea la potencia transmitida por una red, mayor será su cobertura o radio de acción y más posibilidades tiene de interferir a otras redes. En este caso aparece una zona de interferencia (17) donde se mezclan las señales de ambas redes. El hecho de disminuir la potencia transmitida

por la red mejoraría la coexistencia con otras redes pero, en la mayoría de los casos, empeoraría las prestaciones en su propia zona de cobertura, con lo que en realidad no es una solución factible.

5           En este caso, si usamos modos de inyección ortogonales entre las diferentes redes que deben coexistir, lograremos aumentar la atenuación entre los nodos que pertenecen a cada red, de forma que se disminuye la interferencia entre ellos sin necesidad de disminuir la  
10 potencia transmitida.

Por otro lado, en sistemas de comunicaciones con repetición de señal, el procedimiento de la invención también puede aplicarse para aumentar las prestaciones de los sistemas. En una red de comunicaciones formada por  
15 multi-conductores, es posible que la cobertura necesaria no se alcance y sea necesario el uso de repetidores que permitan aumentar la zona de cobertura de la red. Normalmente, los repetidores usan técnicas de división en el tiempo (TDD) o en la frecuencia (FDD). En el caso de  
20 técnicas TDD, con la multiinyección utilizada se consigue aumentar el ancho de banda del canal sin aumentar las frecuencias utilizadas, esto implica que la disminución de prestaciones que supone el TDD en una red se minimice si tenemos en cuenta las prestaciones del conjunto de la red.

25           En el caso de división en frecuencia (FDD) se plantean dos posibilidades. Por un lado, el problema principal del FDD es que muchas veces es necesaria la reutilización de bandas de frecuencia, lo cual implica tener sobre el mismo medio enlaces que utilizan las mismas  
30 frecuencias, con lo cual es posible que los equipos de estos enlaces se interfieran. La multiinyección descrita en la invención se puede utilizar para aumentar la atenuación entre estos enlaces remotos y con ello disminuir la posible interferencia. Utilizando modos de inyección ortogonales  
35 entre los enlaces remotos se disminuye la interferencia

entre los mismos y con ello se mejora las prestaciones de los enlaces individualmente y de la red en general.

Por otro lado, cuando se utilizan técnicas FDD, para evitar la interferencia en enlaces adyacentes que utilizan bandas de frecuencias distintas, se aplican filtros de coexistencia que evitan esta interferencia. El uso de técnicas de multiinyección como las descritas en la invención pueden ayudar a relajar las especificaciones de estos filtros e incluso a eliminar su necesidad, siempre que se utilicen modos de inyección distintos entre los enlaces adyacentes, dado que éstas inyecciones tienen una atenuación mayor entre ellas que si se utilizan en los dos enlaces el mismo modo de inyección.

Este ejemplo de realización puede observarse en la figura 6, donde hay equipos que utilizan la banda A (18) y otros que utilizan la banda B (19). Esto produce interferencia entre enlaces adyacentes (21), que puede solucionarse utilizando los filtros de coexistencia (20); e interferencia entre enlaces remotos (22). En la misma figura aparece una representación espectral (36) donde la banda A (37) ocupa el espectro de  $f_1$  a  $f_2$ , mientras que la banda B (38) ocupa el espectro de  $f_3$  a  $f_4$ . Asimismo se representan las funciones de transferencia de los filtros de coexistencia (20), en este caso el filtro (39) para tomar sólo la banda A (37) rechaza las frecuencias superiores a  $f_3$  mientras que el filtro (40) para tomar sólo la banda B (38) rechaza las frecuencias inferiores a  $f_2$ .

La utilización del procedimiento permite relajar las características de estos filtros de coexistencia en enlaces adyacentes e incluso la eliminación de los mismos bajo determinadas condiciones.

Con ello también se permite que los equipos que forman el sistema de comunicaciones y que reutilizan las mismas frecuencias, minimicen la interferencia entre sí mediante la utilización de modos de inyección ortogonales

diferentes en cada uno de los enlaces. De esta forma se pueden aumentar las prestaciones globales de los sistemas de comunicación y facilitar la planificación de la red.

Otra aplicación del procedimiento de la invención es la capacidad de conseguir comunicación full-duplex entre equipos, esto es transmitir y recibir información simultáneamente entre los equipos, utilizando la multiinyección ortogonal.

Cuando se tienen dos canales de comunicación en un mismo medio, es posible implementar una comunicación full-duplex entre dos equipos, siempre y cuando la interferencia entre canales permita mantener las prestaciones. Esto se puede observar en la figura 7 donde dos equipos (23) transmiten y reciben al mismo tiempo sobre un medio de transmisión (10).

En el caso de generar dos caminos de comunicación entre un transmisor y un receptor se tendrá esta posibilidad. Este es el caso de aplicar el procedimiento de la invención sobre tres conductores, donde se pueden utilizar el modo diferencial y el modo pseudo-diferencial, uno para transmitir/recibir en una dirección y el otro para transmitir/recibir en la otra dirección.

Un ejemplo puede ser una línea de media tensión de la red eléctrica con equipos de comunicación de banda ancha, como puede verse en la figura 8. Si la red es de tres fases, se puede hacer una multiinyección sobre tres conductores donde se inyecten un modo diferencial (2) y un modo pseudo-diferencial (5), con lo que se consigue tener un canal full-duplex utilizando la misma banda de frecuencias sobre el mismo canal de comunicaciones entre los equipos (23).

El procedimiento de la invención puede aplicarse junto con técnicas MIMO (multiple-input, multiple-output) para mejorar las prestaciones del sistema de comunicaciones que utilicen dichas técnicas. De hecho, un medio de

comunicación con varios hilos equivale a los esquemas MIMO (multiple-input, multiple-output) ( $N \times N$ ). Es posible conseguir una mayor efectividad y rendimiento aplicando técnicas de diversidad, codificación espacio-temporal, de autoconformación de haz (eigen-beamforming), u otras técnicas similares junto con el procedimiento de la invención. El uso de multiinyección ortogonal permite obtener matrices de canal mejor condicionadas con lo que la aplicación de técnicas MIMO será más eficiente.

10 La figura 9 muestra un ejemplo de realización en el que el sistema utiliza procesado digital MIMO y el procedimiento de la invención. Este ejemplo sigue el esquema general del sistema de comunicaciones presentado en anteriores figuras y en él se incluye un módulo de  
15 procesado digital de múltiples señales de entrada ( $a_1 \dots a_N$ ) y múltiples señales de salida (29). En este caso se ha marcado en la figura el acoplamiento o interferencia entre las señales inyectadas (30) que puede aprovecharse o reducirse utilizando el procesamiento digital MIMO.

20 Por un lado, las técnicas de diversidad en el ámbito de las telecomunicaciones, se refieren a una mejora de la fiabilidad de una señal que viaja por un medio, utilizando dos o más canales de comunicación con diferentes características. Estas técnicas explotan las diferentes  
25 características de los  $N$  canales de comunicación para incrementar la robustez del receptor, evitar errores de bits en cadena y combatir el desvanecimiento de señal. El método consiste en transmitir múltiples versiones de señal que son combinadas en el receptor para mejorar la  
30 fiabilidad de la comunicación. Se pueden incorporar técnicas de corrección de errores en las diferentes señales transmitidas en diferentes partes de cada mensaje de cada canal. En el ejemplo de realización de la figura 10 se muestra un sistema en que se utiliza el procedimiento de  
35 invención junto con la transmisión de múltiples versiones

de una misma señal de comunicaciones en los modos de inyección utilizados y se combina el resultado en recepción. De esta forma es posible mejorar la fiabilidad de la comunicación. En la figura 10 se muestra este ejemplo, en el que el símbolo a transmitir (27) se procesa digitalmente (6) se pasa al dominio analógico y se amplifica convenientemente (7) y finalmente se acopla (8) introduciendo la misma señal con cada uno de los modos de inyección ortogonales. En recepción se realiza el procedimiento opuesto, tomando la señal de cada inyección ortogonal, amplificándola y finalmente haciendo una combinación (28) de las señales obtenidas. Esta combinación consiste en multiplicar cada señal por un peso (dependiente, en este ejemplo de realización, de la relación señal a ruido percibida en el canal formado por la inyección ortogonal) y sumar los resultados para intentar obtener el símbolo enviado. La replica de la señal transmitida y su combinación en recepción permite aumentar la fiabilidad de la comunicación incluso en escenarios muy degradados por ruidos o interferencias.

Por otro lado, el método de multiinyección es aplicable a la diversidad espacial, donde la señal se transmite por diferentes caminos del mismo medio. Se pueden utilizar técnicas de combinación por diversidad (diversity combining) antes del procesado de señal, seleccionando la señal más potente que llega al receptor, cambiando el canal cuando la señal no tiene un mínimo de prestaciones; o sumando todas las recepciones de forma coherente, utilizando MRC (maximal-ratio combining) donde se aplican unos pesos a las señales recibidas en función de la relación señal a ruido (SNR) de cada una, antes de sumar las recepciones. Las técnicas anteriormente expuestas se pueden extender dando lugar a técnicas de codificación espacio-temporal (space-time coding). Mediante esta codificación, la información y la redundancia se distribuye

uniformemente entre los  $N$  caminos de comunicación para explotar al mismo tiempo la diversidad y la ganancia de codificación de determinados códigos. Un ejemplo concreto puede observarse en la figura 11, donde el módulo de procesado digital (29) de múltiples señales de entrada ( $a_1 \dots a_N$ ) y múltiples señales de salida ( $DAC_1 \dots DAC_N$ ) de la figura 9 se ha sustituido en transmisión por un codificador espacio temporal (32) al que llegan los símbolos a transmitir (31). En recepción, el procesado digital se sustituye por un módulo de demodulación y decodificación espacio temporal (33) que consigue obtener los símbolos (31) digitales enviados desde el transmisor.

Por otra parte, existen técnicas MIMO para maximizar la velocidad que pueden beneficiarse del aislamiento extra producido por las inyecciones ortogonales. Mediante la combinación de la inyección y el procesado digital, se puede conseguir resultados en situaciones reales cercanos a los resultados ideales. Si la respuesta de los  $N$  canales es conocida en el transmisor, se pueden utilizar técnicas de transmisión a través de los autovectores del canal (eigenmode transmission) junto con el procedimiento de la invención para conseguirlo. Estas técnicas aplican una transformación en transmisión y recepción que permite al receptor decodificar las señales recibidas de forma óptima. Si, por el contrario, el procesado se deja únicamente al receptor, se pueden usar técnicas de cancelación de la interferencia (crosstalk) entre los  $N$  canales para aumentar la relación señal a ruido (SNR) en cada uno de ellos. Es decir, se puede conseguir aumentar el aislamiento proporcionado por las inyecciones ortogonales por medio de procesado digital. Una realización concreta el procesado MIMO consistirá en técnicas de transmisión a través de los autovectores del canal que combinen linealmente las señales a transmitir en cada uno de los modos de inyección (mediante productos y sumas de

las señales obtenidas del procesado digital) y las señales recibidas en cada uno de los modos de inyección. En la figura 12 puede observarse este ejemplo de realización, donde se introducen N símbolos (31) en el procesado digital  
5 (6) y las salidas se combinan linealmente mediante multiplicadores (41) y sumadores (42) con unos pesos (en general diferentes para el transmisor (43) y (44) y para el receptor (45) y (46)) cuyo valor se calcula dependiendo del medio de transmisión concreto de la aplicación. En  
10 recepción el procesado es idéntico al realizado en transmisión.

Por otro lado, el procesado MIMO también puede utilizarse para reducir e incluso eliminar el acoplamiento entre canales (30). Para ello se puede utilizar el esquema  
15 que aparece en el ejemplo de la figura 13 donde el receptor incluye un cancelador de crosstalk (34) que reduce la interferencia de los otros modos de inyección sobre cada uno de los modos de inyección debido al acoplamiento.

Otro ejemplo de realización de la invención  
20 consiste en aplicar el procedimiento de la invención en un sistema de comunicaciones de tal forma que se transmite la misma señal por los N conductores utilizando los modos de inyección ortogonales, y en recepción se aprovechan únicamente los modos de inyección que presentan mejores  
25 características para la comunicación. En un ejemplo de realización concreto, que puede observarse en la figura 14, se seleccionan como adecuados aquellos modos de inyección que presentan menor ruido, mayor SNR, menor interferencia, etc. Esta selección se realiza mediante un módulo (35) en  
30 recepción que analiza la característica elegida de las señales que llegan por los diferentes modos de inyección y con ella selecciona qué acoplador (8) va a activarse en recepción. Este módulo también puede enviar una señal de control al transmisor (11) de forma que sólo se realice la  
35 multiinyección ortogonal en los canales seleccionados por

el bloque selector (35), lo cual comunica al acoplador (8) del transmisor (11).

Finalmente, otro ejemplo de aplicación es la inclusión del procedimiento de invención en sistemas de comunicaciones que utilizan modulación OFDM. En este caso se pueden utilizar técnicas de procesado digital o modos de inyección diferentes dependiendo de los grupos de portadoras que se decidan realizar. En una realización concreta como la mostrada la figura 15, las portadoras de la modulación OFDM se han repartido en tres grupos. Se puede observar asimismo que las portadoras del primer grupo (24) no son consecutivas en frecuencia. En este ejemplo concreto de realización se utiliza un modo de inyección pseudo-diferencial en un primer grupo (24), y no se utiliza ningún procesado de señal extra. En el segundo grupo (25) se inyecta simultáneamente en modo diferencial y pseudo-diferencial y tampoco se utiliza ningún procesado de señal extra, siendo el aislamiento proporcionado por la inyección entre los modos ortogonales suficiente para separar las señales en recepción. En las portadoras del tercer grupo (26) se inyecta simultáneamente en modo diferencial y pseudo-diferencial, y se aplican técnicas MIMO. La asignación de las diferentes portadoras a cada uno de los grupos (24), (25) ó (26) se realiza en base a las características del canal en la frecuencia de cada portadora o en base a otros criterios dependientes de la aplicación.

**REIVINDICACIONES**

1. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, donde dicho medio de transmisión está formado por N conductores y un plano de referencia, caracterizado porque comprende inyectar señales de comunicación en hasta N modos, siendo un modo la inyección selectiva de tensión o corriente sobre una combinación selectiva entre conductores, plano de referencia y combinación de ambos; de forma que dichos modos sean ortogonales entre sí.  
5
2. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, caracterizado porque comprende realizar la inyección únicamente en modos seleccionados entre modos diferenciales, pseudo-diferenciales y combinación de los mismos.  
10
3. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, caracterizado porque el medio de transmisión es la red eléctrica.  
15
4. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, caracterizado porque el equipo transmisor inyecta simultáneamente en hasta N modos de los diferenciales, pseudo-diferenciales y modo común en el proceso de comunicación, para multiplicar la capacidad de transmisión en el sistema de comunicaciones sin utilizar procesado digital extra.  
20
5. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN**  
25  
30

- 5 SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES, según reivindicación 4, caracterizado porque el equipo transmisor inyecta simultáneamente sobre el mismo ancho de banda o rango de frecuencias.
- 10 6. PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES, según reivindicación 1, caracterizado porque cada una de las redes de comunicación coexistentes en un mismo medio físico utiliza un conjunto diferente de modos de inyección, de entre los N posibles, tal que los conjuntos de modos de inyección seleccionados por las distintas redes de comunicación son disjuntos; para incrementar la atenuación entre redes y mejorar la coexistencia de redes en un mismo medio.
- 15 7. PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES, según reivindicación 1 donde el sistema de comunicaciones utiliza repetidores en frecuencia que utilizan filtros para anular interferencias entre las distintas bandas, caracterizado porque dichos repetidores utilizan modos de inyección distintos de entre los N posibles; para relajar las especificaciones de los filtros o eliminar su uso y para reducir la interferencia entre las señales transmitidas por los distintos repetidores.
- 20 25 8. PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES, según reivindicación 1, caracterizado porque los equipos que forman el sistema de comunicaciones reutilizan las mismas frecuencias sin producir interferencia entre sí mediante la utilización de diferentes modos de inyección; para obtener mayor flexibilidad en la reutilización de
- 30 35

rangos de frecuencia en la planificación de redes de comunicaciones.

- 5 9. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 5, caracterizado porque se transmiten múltiples versiones de la señal de comunicaciones en los modos de inyección utilizados que se combinan en recepción; para mejorar la fiabilidad de la comunicación.
- 10 10. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 5, caracterizado porque se aplica procesado digital de entrada y salida múltiple (MIMO) de las señales de comunicaciones en los modos de inyección utilizados, de entre los N posibles; para mejorar las prestaciones de la comunicación.
- 15 11. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 10, caracterizado porque se aplican técnicas de codificación espacio-temporal consistentes en distribuir la señal de comunicaciones entre los modos de inyección utilizados; para explotar al mismo tiempo la diversidad y la ganancia de codificación.
- 20 12. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 10, caracterizado porque se aplican técnicas de transmisión a través de los autovectores del canal (eigenmode transmission) en transmisión y recepción para permitir al receptor decodificar las señales recibidas a través de cada uno de los modos de inyección utilizados.
- 30 13. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE**
- 35

- UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES, según reivindicación 10, caracterizado porque se aplican en recepción técnicas de cancelación de la interferencia (o crosstalk) entre los modos de inyección utilizados; para aumentar la relación señal a ruido (SNR) detectada en cada uno de dichos modos de inyección.
- 5
14. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, donde el sistema de comunicaciones está formado por dos equipos, caracterizado porque los equipos se comunican bidireccionalmente al mismo tiempo (full-duplex communication) para lo que un primer equipo utiliza un conjunto de modos de inyección de entre los N posibles para transmitir al segundo equipo y otro conjunto de modos de inyección diferentes para recibir las señales del segundo equipo, mientras que el segundo equipo utiliza el primer conjunto para recibir y el segundo para transmitir, donde dichos conjuntos son disjuntos.
- 10
- 15
- 20
15. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, donde el sistema de comunicaciones está formado por múltiples equipos, caracterizado porque un equipo transmite simultáneamente a otros equipos utilizando un conjunto de modos de inyección para la transmisión a cada uno de los equipos receptores, donde dichos conjuntos son disjuntos.
- 25
- 30
16. **PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES SOBRE UN MEDIO FORMADO POR MÚLTIPLES CONDUCTORES**, según reivindicación 1, donde el sistema de comunicaciones está formado por múltiples equipos, caracterizado porque un equipo
- 35



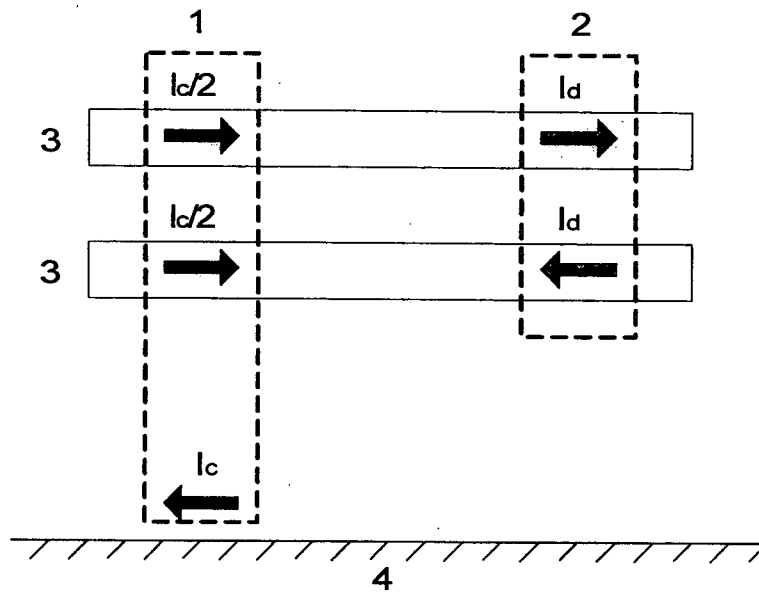


FIG. 1

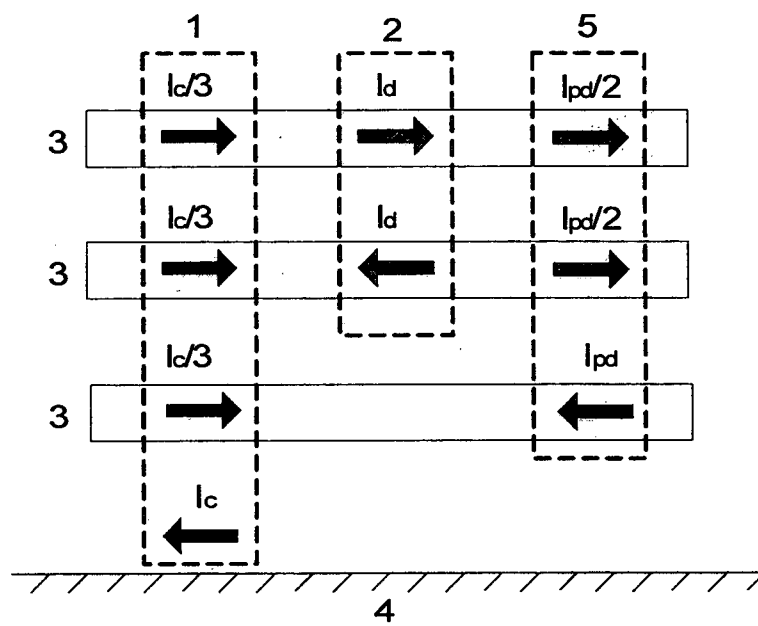


FIG. 2

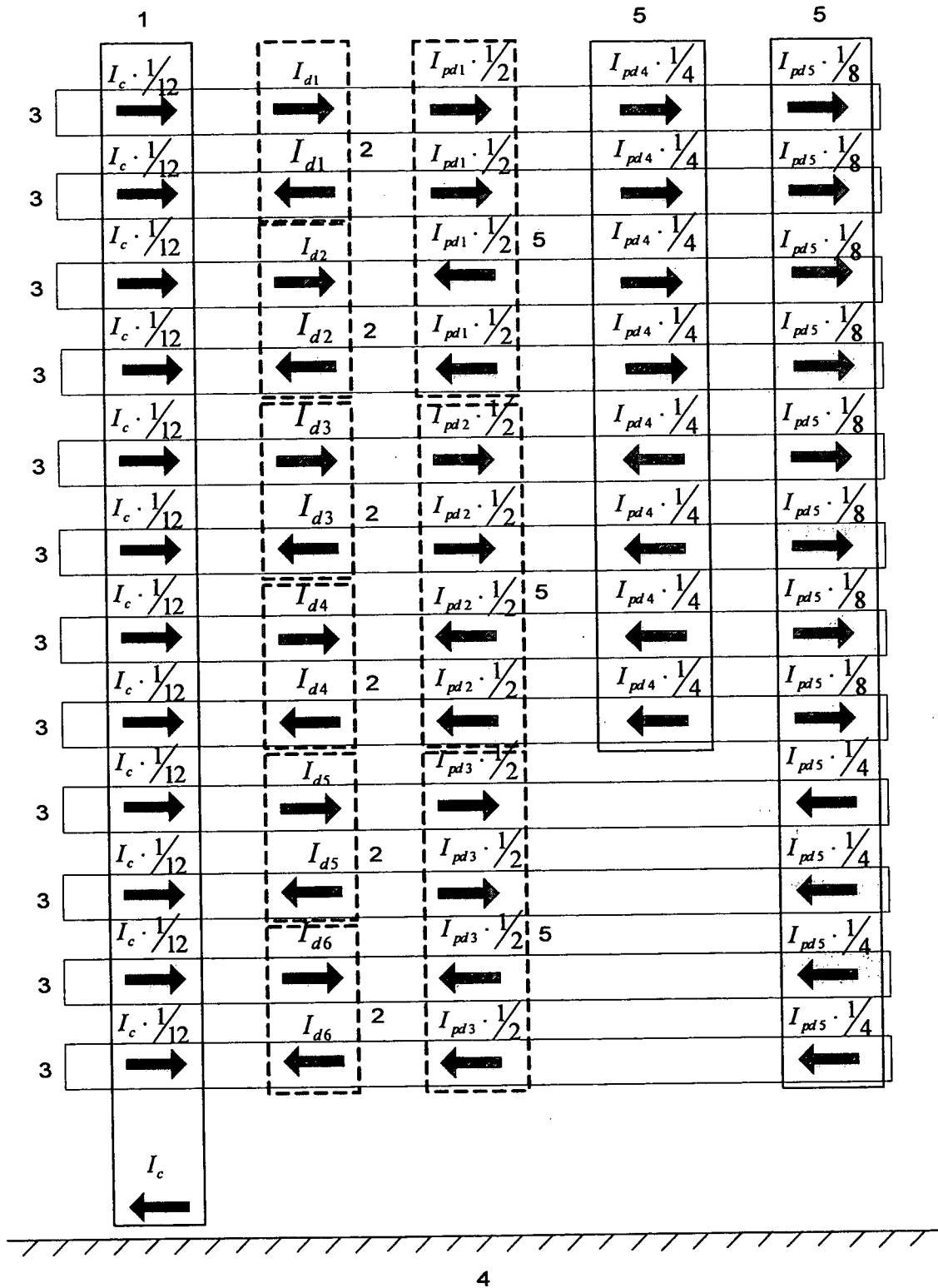


FIG. 3

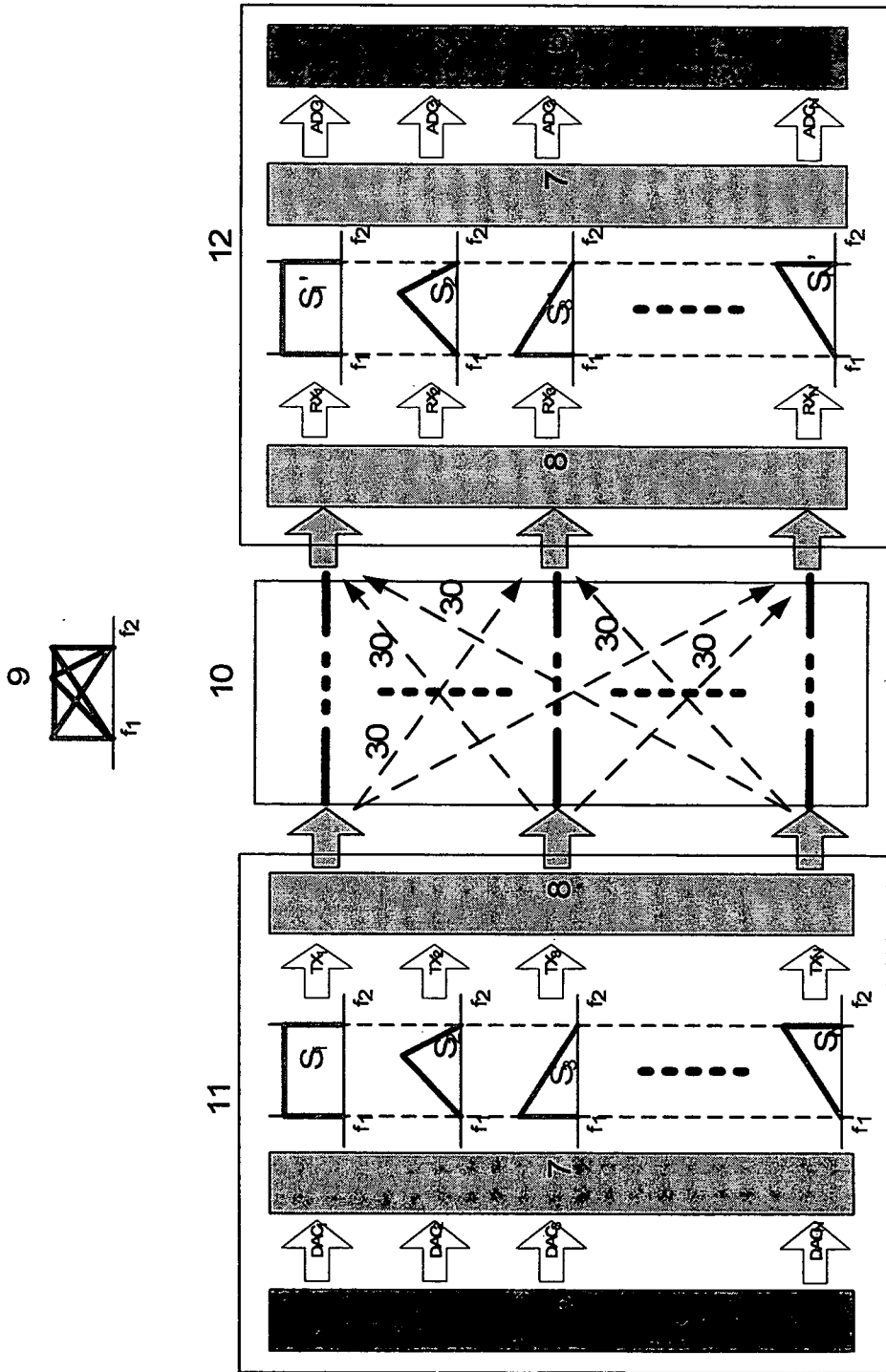


FIG. 4

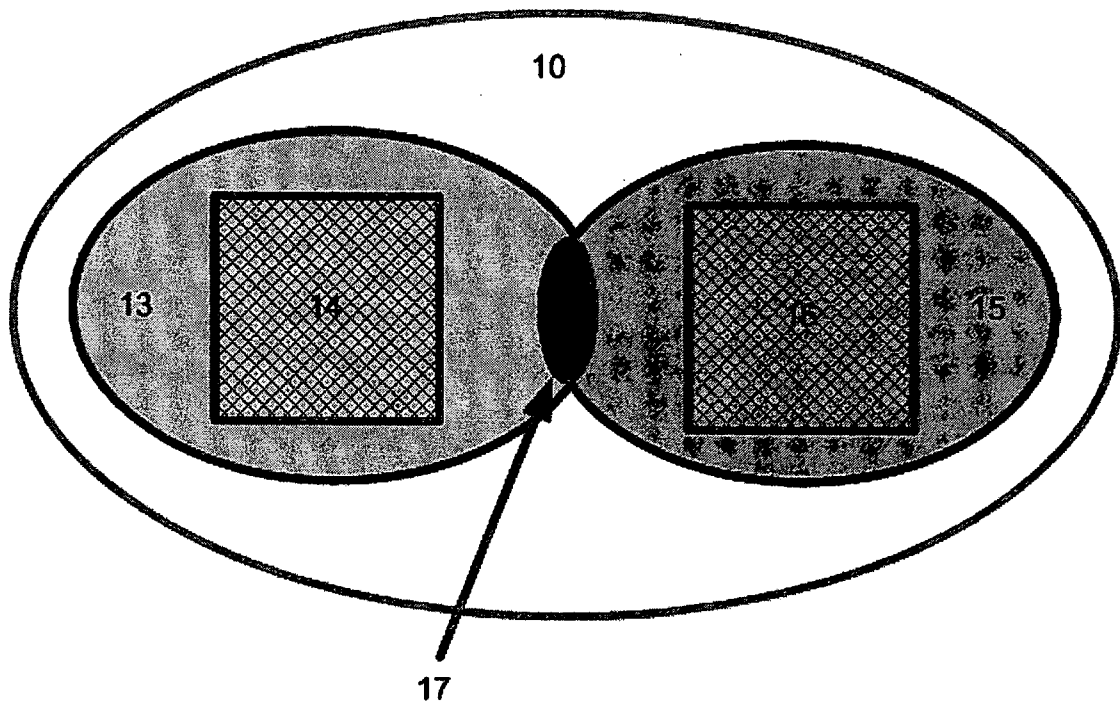


FIG. 5

6/14

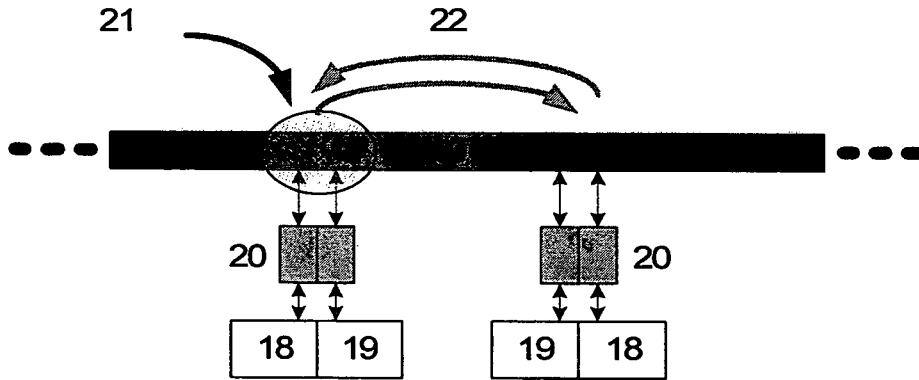
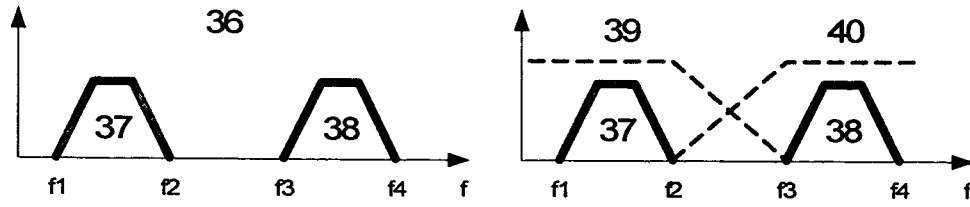


FIG. 6

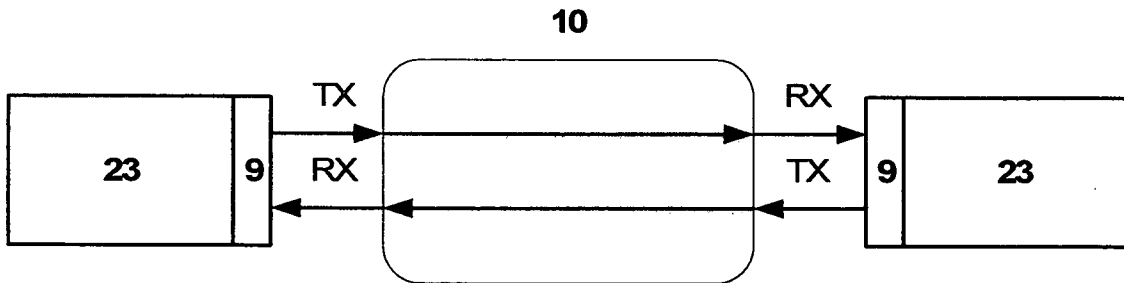


FIG. 7

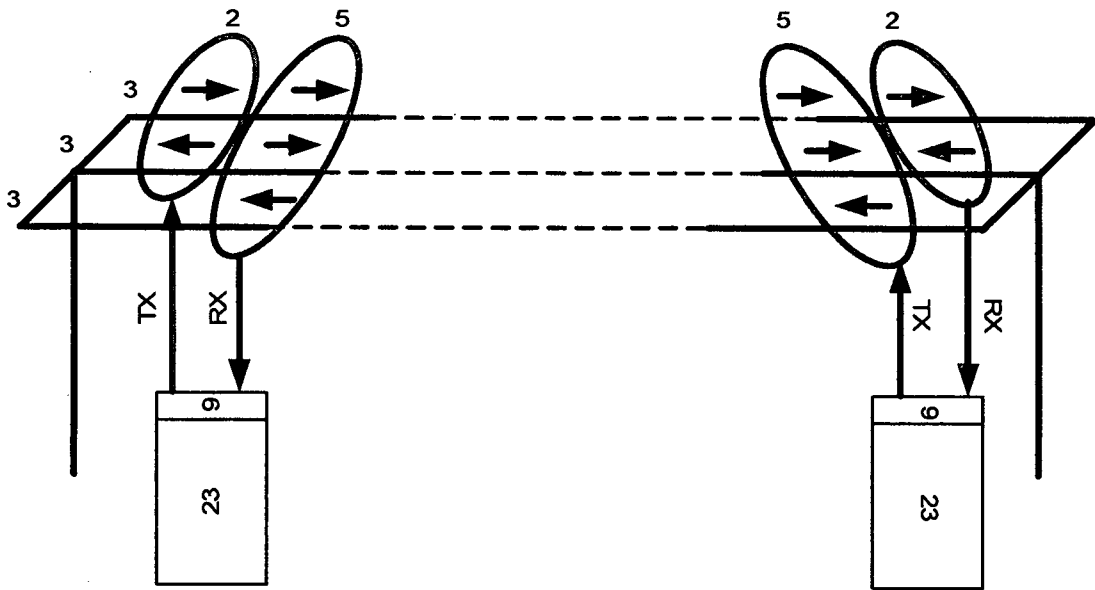


FIG. 8

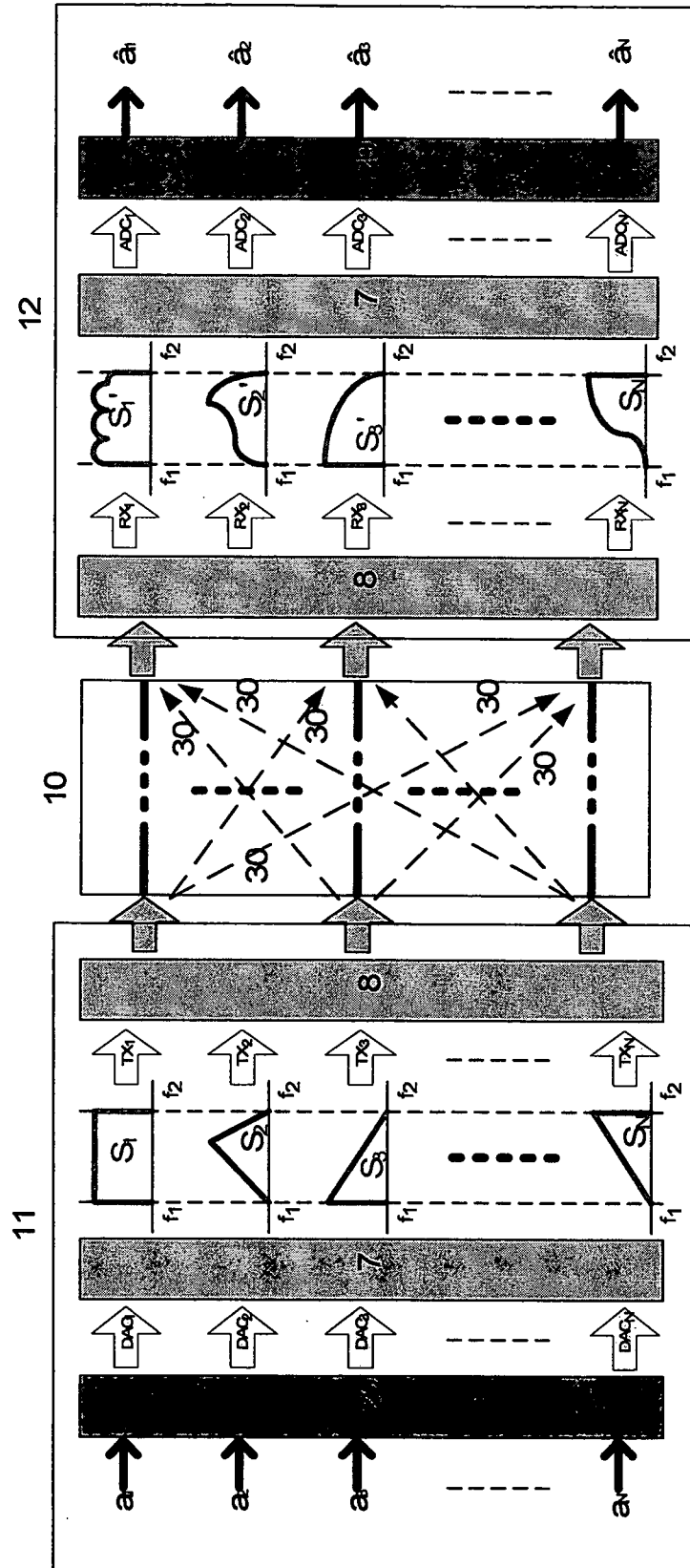


FIG. 9

9/14

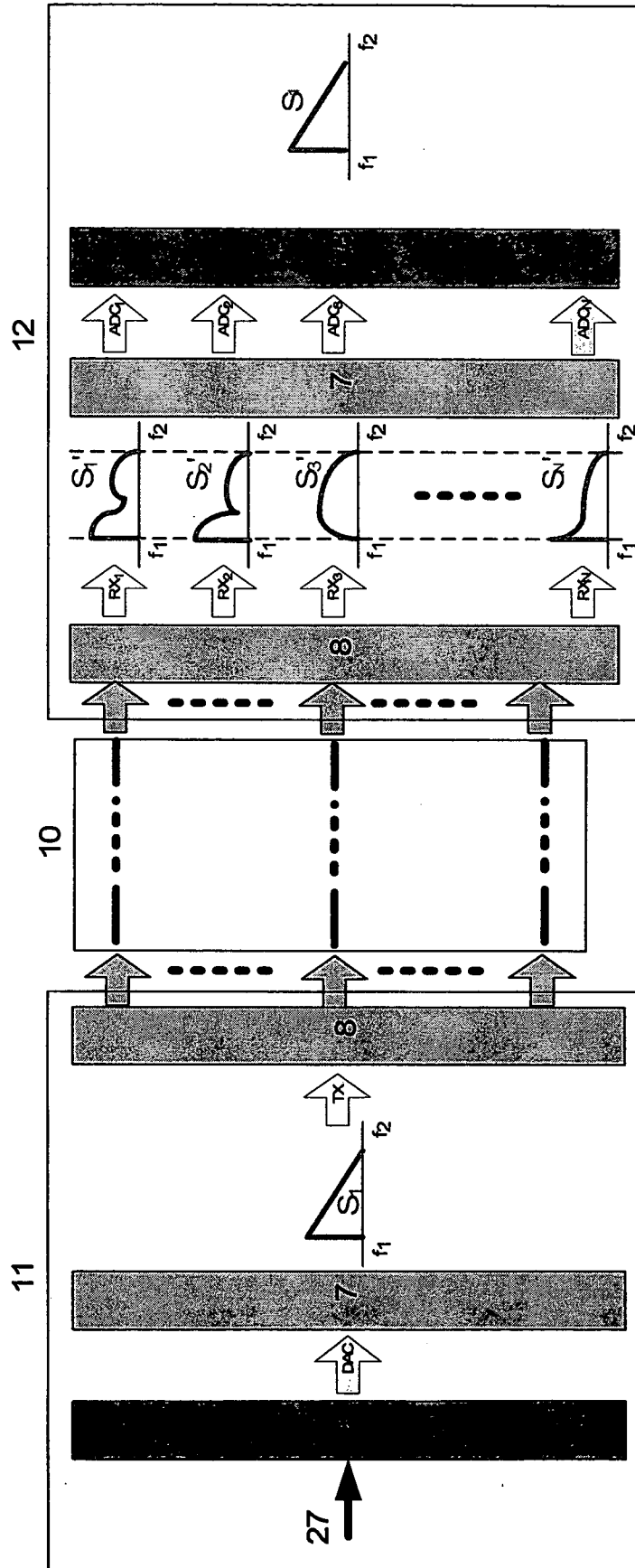


FIG. 10

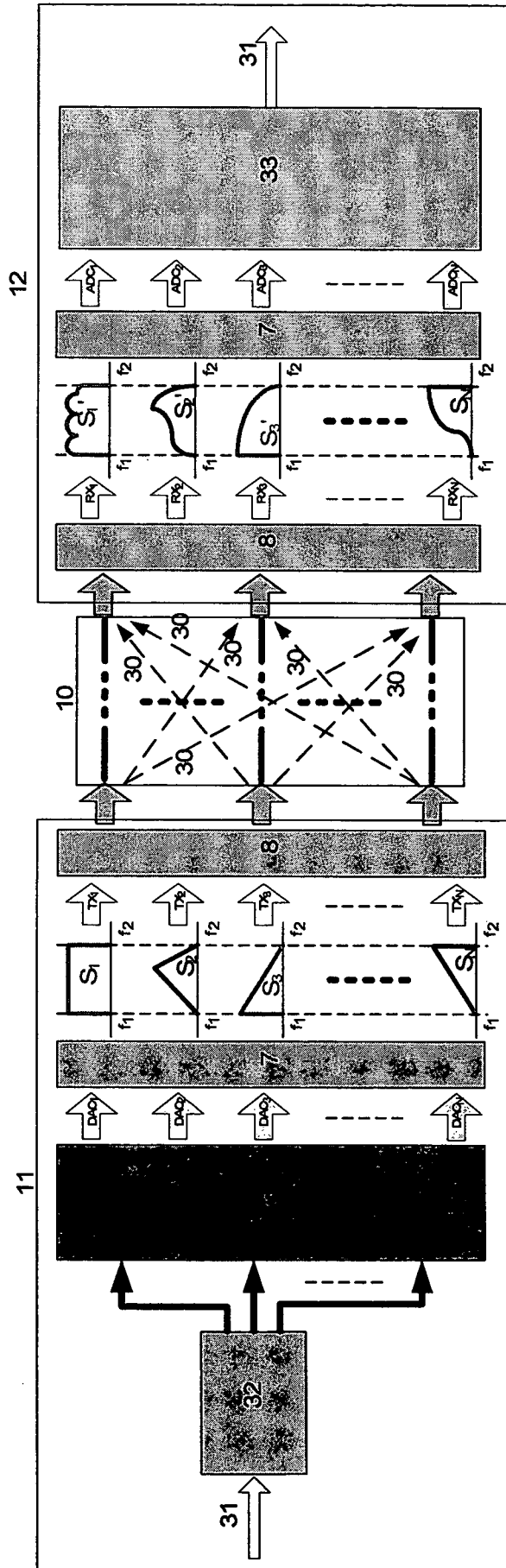


FIG. 11

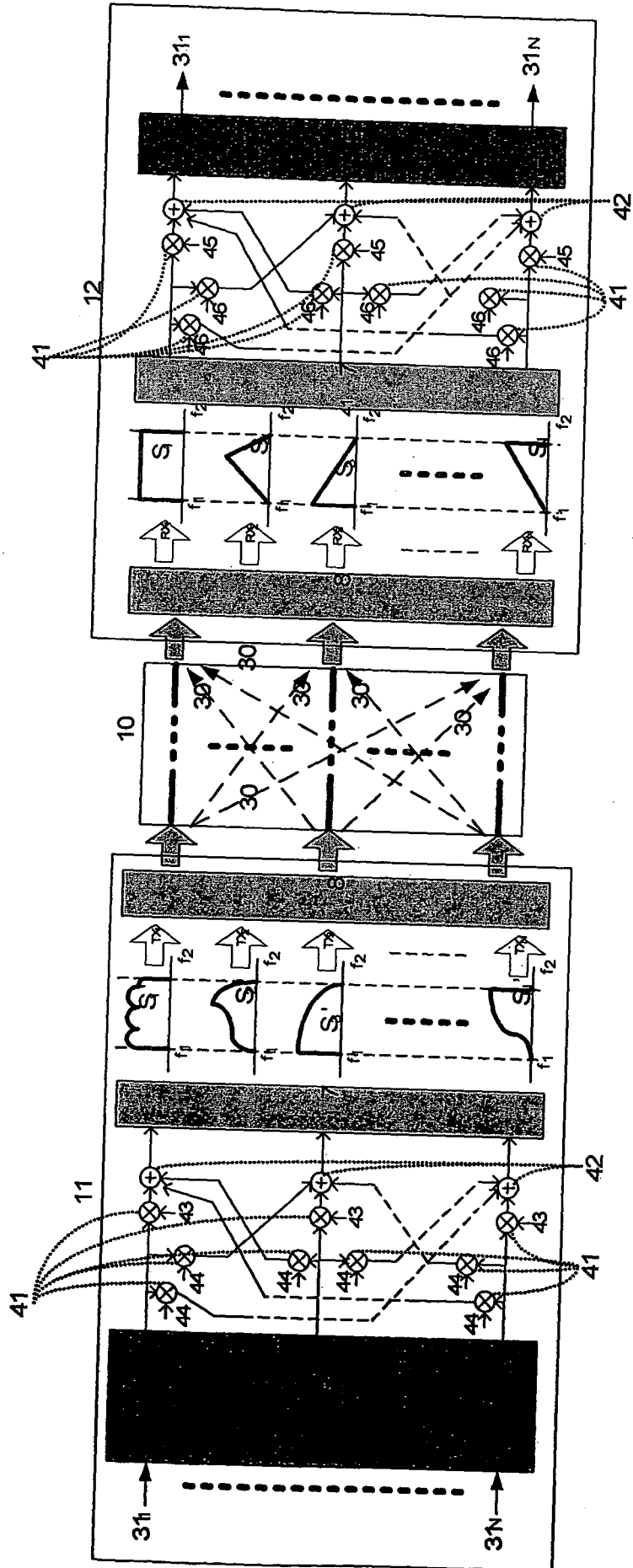


FIG. 12

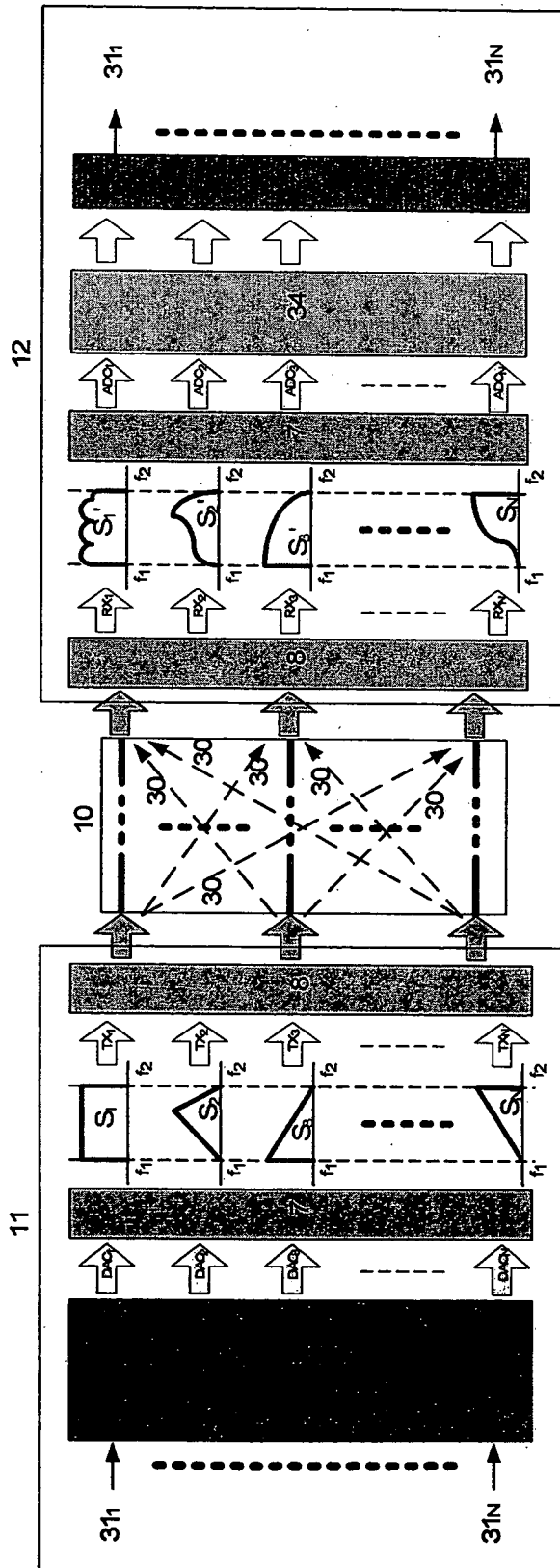


FIG. 13

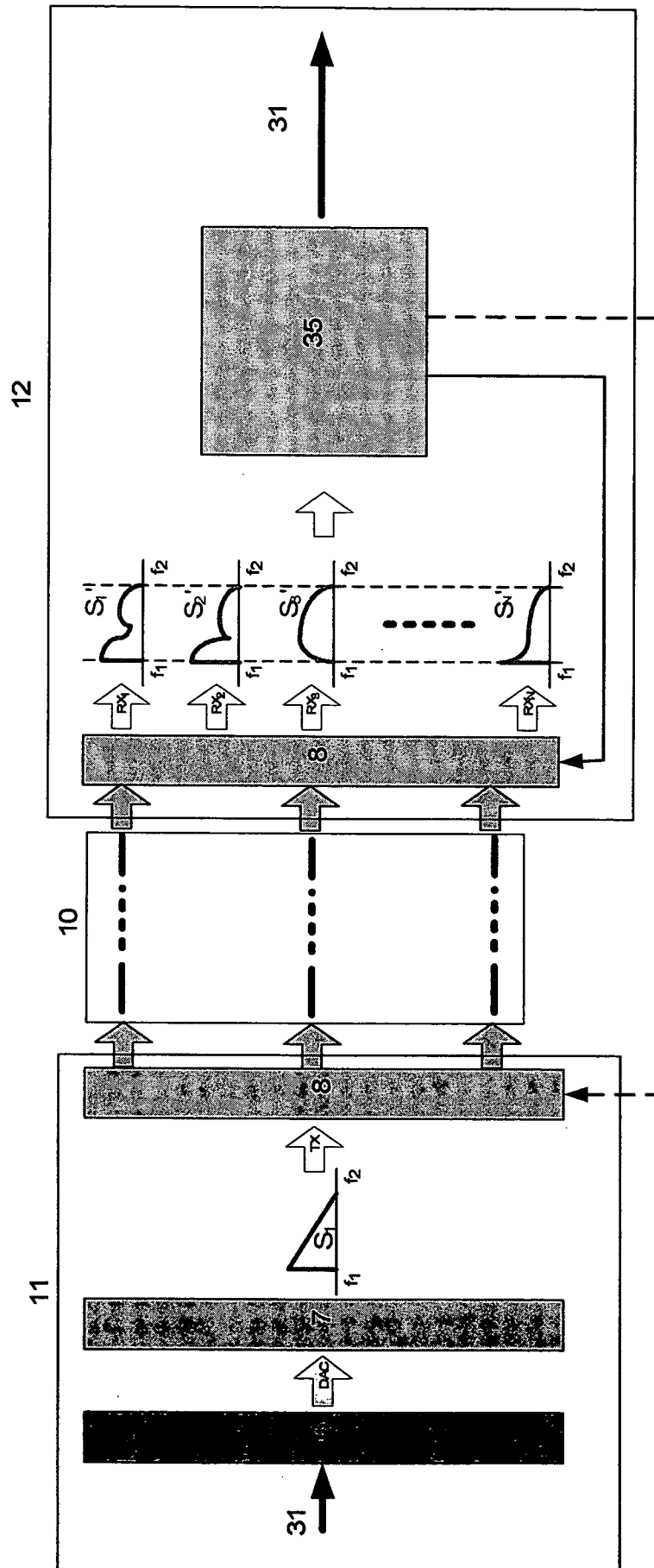


FIG. 14

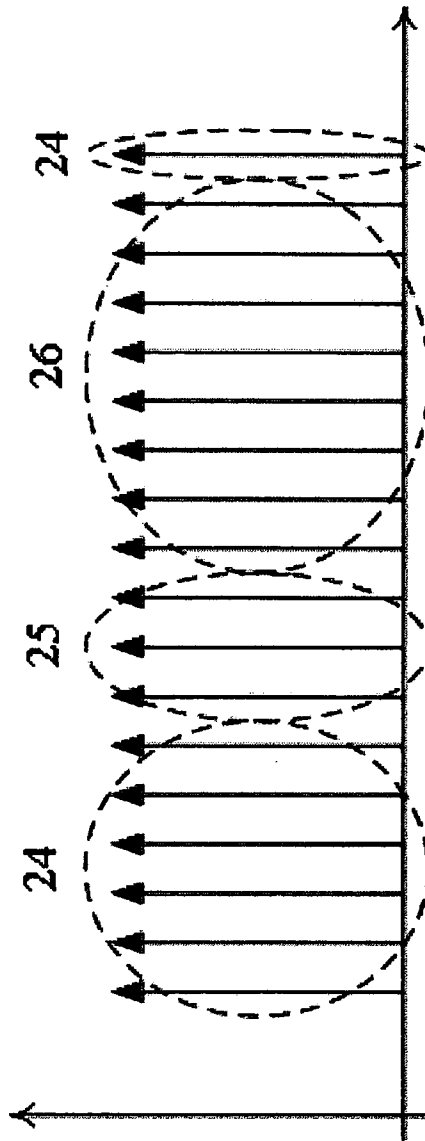


FIG. 15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ ES 2008/000496

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B3/00, H04L5/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6226330 B1 (MANSUR) 01.05.2001, the whole document.	1, 2, 4, 5, 10, 12, 14
X	EP 0352869 A2 (SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V.) 31.01.1990, the whole document.	1, 4
X	US 5553097 A (DAGHER) 03.09.1996, the whole document.	1, 4

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>“E” earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	--

Date of the actual completion of the international search

21 November 2008 (21.11.2008)

Date of mailing of the international search report

**(02/12/2008)**

Name and mailing address of the ISA/  
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.  
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

**J. Botella Maldonado**

Telephone No. +34 91 349 53 82

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2008/000496

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6226330 B	01.05.2001	NONE	-----
US 5553097 A	03.09.1996	NONE	-----
EP 0352869 A	31.01.1990	NO 893068 A EP 19890201991 AU 3903589 A CN 1039869 A JP 2079626 A	30.01.1990 27.07.1989 01.02.1990 21.02.1990 20.03.1990

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2008/000496

## CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**H04B 3/00** (2006.01)

**H04L 5/20** (2006.01)

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°  
PCT/ ES 2008/000496

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04B3/00, H04L5/20

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	US 6226330 B1 (MANSUR) 01.05.2001, todo el documento.	1, 2, 4, 5, 10, 12, 14
X	EP 0352869 A2 (SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V.) 31.01.1990, todo el documento.	1, 4
X	US 5553097 A (DAGHER) 03.09.1996, todo el documento.	1, 4

En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos  Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

<p>* Categorías especiales de documentos citados:</p> <p>“A” documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.</p> <p>“E” solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.</p> <p>“L” documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).</p> <p>“O” documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.</p> <p>“P” documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.</p>	<p>“T” documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.</p> <p>“X” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.</p> <p>“Y” documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.</p> <p>“&amp;” documento que forma parte de la misma familia de patentes.</p>
--	--

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 21 Noviembre 2008 (21.11.2008)	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional <b>02 de Diciembre de 2008 (02/12/2008)</b>
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M. Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España. N° de fax 34 91 3495304	Funcionario autorizado <b>J. Botella Maldonado</b> N° de teléfono +34 91 349 53 82

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2008/000496

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 6226330 B	01.05.2001	NINGUNO	-----
US 5553097 A	03.09.1996	NINGUNO	-----
EP 0352869 A	31.01.1990	NO 893068 A EP 19890201991 AU 3903589 A CN 1039869 A JP 2079626 A	30.01.1990 27.07.1989 01.02.1990 21.02.1990 20.03.1990

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

**H04B 3/00** (2006.01)

**H04L 5/20** (2006.01)