



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 313 642**

(51) Int. Cl.:

H04J 14/02 (2006.01)

H04J 3/16 (2006.01)

H04J 7/00 (2006.01)

H04B 10/155 (2006.01)

H04B 10/18 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **06726303 .8**

(96) Fecha de presentación : **04.04.2006**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1867086**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **19.12.2007**

(54) Título: **Transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades conectadas entre ellas a través de una red de acceso óptico pasivo.**

(30) Prioridad: **05.04.2005 FR 05 03344**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2009

(73) Titular/es: **France Télécom**
6 place d'Alleray
75015 Paris, FR

(72) Inventor/es: **Pincemin, Erwan y**
Payoux, Franck

(74) Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

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

Transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades conectadas entre ellas a través de una red de acceso óptico pasivo.

Campo técnico de la invención

La invención se sitúa en el dominio de redes de acceso óptico de tipo pasivo o PON "Passive Optical Network", y más específicamente está relacionada con el campo de la transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades conectadas entre ellas a través de una red de acceso óptico pasivo.

Antecedentes de la invención

Actualmente, las redes de acceso de los operadores de telecomunicaciones emplean mayoritariamente el acceso por cable que posee tecnologías como la ADSL. La óptica es muy poco empleada, ya que el costo de las infraestructuras engendrado por la instalación de fibras ópticas entre las centrales y los abonados es prohibitivo.

El empleo de la óptica en las redes de acceso basadas en arquitecturas de tipo PON permite la realización de un enlace significativo en términos de capacidad, imposible de lograr por las tecnologías de acceso por cable y sin embargo inevitable en razón del aumento en el flujo de los servicios con destino al abonado.

De forma general, las redes de acceso de tipo PON pueden ser de dos tipos, las PON llamadas clásicas y las PON por multiplexado por división de longitudes de onda WDM.

Las PON clásicas emplean un acceso múltiple temporal y sólo necesitan un emisor al nivel de la central de transmisión. Se basan en la implementación de acopladores ópticos 1xN (siendo N un número de clientes o de abonados). En este caso, la información llevada por una señal emitida por el central de transmisión es enviada a todos los abonados y terminales específicos, ubicados en cada uno de ellos, permitiendo luego extraer la información destinada realmente a este último. De esta forma, los datos, vehiculados a partir de la central de transmisión por una longitud de onda única, son demultiplexados temporalmente a nivel de cada terminal cliente situado en el abonado.

Sin embargo, el terminal cliente es complejo y la atenuación de la señal por un acoplador 1xN no es nada despreciable. Asimismo, el hecho de que la información sea extraída al nivel de cada terminal cliente entraña una preocupación de seguridad.

En cuanto a las PON WDM, emplean una repartición de recursos en longitudes de onda. Dicho de otra forma, a cada cliente se le asigna una longitud de onda específica. Como en efecto, una longitud de onda es otorgada a cada abonado al nivel de la central de transmisión. Cada longitud de onda es posteriormente filtrada al nivel de un demultiplexor óptico y es enviada hacia el abonado correspondiente. Este tipo de red necesita entonces del empleo de un múltiplex de longitudes de onda, en igual cantidad que el número de abonados, y de un demultiplexor.

Así, la red de tipo PON WDM tiene la ventaja, con relación a la red PON clásica, de ser más simple, de que cada longitud de onda es otorgada a un abonado específico, y de la ejecución, un demultiplexor óptico que es claramente menos atenuante que un acople 1xN.

En cambio, es más costoso puesto que emplea un mayor número de longitudes de onda y un elemento de envío (demultiplexor óptico) más oneroso que el simple acople 1xN.

Se conoce también una central consistente en un láser compatible emitiendo, por conmutación, una pluralidad de longitudes de ondas diferentes. Así, este se dirige a los clientes uno detrás del otro de acuerdo a su longitud de onda. Sin embargo, el láser compatible debe funcionar a un flujo N veces superior al asignado a los clientes, y es necesario adicionar un tiempo de conmutación que, en el mejor de los casos, es de 50 ns lo que está lejos de ser despreciable en las comunicaciones de flujo muy alto.

Los documentos HATAMI-HANZA H Y OTROS: "A MULTILEVEL SOLITON COMMUNICATION SYSTEM", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NUEVA YORK, NY, EE.UU., vol. 15, n° 1, enero 1997, páginas 6-18, XP000642273, ISSN: 0733-8724 y US 2003/231885 A1 (KATO MASAO Y OTROS) 18 diciembre 2003 describen procedimientos de emisión de datos multiplexados en amplitudes y en tiempo, seguida de una conversión en una señal multiplexada en longitudes de ondas.

El documento JUNG D K Y OTROS: "Spectrum-sliced bidirectional passive optical network for simultaneous transmission of WDM and digital broadcast video signals", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol.37, n° 5, 1 marzo 2001, páginas 308-309, XP006016334, ISSN: 0013-5194 muestra un WDM PON bidireccional.

El documento KATO M Y OTROS: "Single-channel 800 Gbit/s asynchronous all-optical amplitude-division demultiplexing based on polarization-independent Ghz Raman soliton in fiber", POSTDEADLINE PAPERS. SUMMARIES OF PAPERS PRESENTED AT THE CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS. CONFERENCE

EDITION (IEEE CAT. n° 02CH37337), OPT.SOC. AMERICA WASHINGTON, DC, EE.UU, vol. 2, 2002, páginas CPDB4-1, XP009055596, ISBN: 1-55752-705-9 divulga un convertidor TDM-WDM.

Objeto y resumen de la invención

La invención tiene como objeto remediar estos inconvenientes, y simplificar la transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades.

Estos objetivos se logran gracias a un procedimiento de transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades, dichas primera y segundas unidades estando conectadas entre ellas a través de una red de acceso óptico pasivo, y a que dicha primera unidad envía datos llevados por una señal luminosa que posee una longitud de onda única y que son recibidos por dicha pluralidad de segundas unidades según una pluralidad de señales luminosas que poseen una pluralidad de longitudes de ondas diferentes de forma que cada una de las mencionadas segundas unidades recibe los datos asociados a la misma según al menos una longitud de onda específica.

De esta forma, se puede generar una pluralidad de señales con un solo emisor al nivel de la primera unidad emitiendo una señal que tiene una longitud de onda única siempre empleando una repartición de recursos con longitudes de onda, asignando al menos una longitud de onda específica a cada segunda unidad. Esto permite disminuir los costos (con relación a una PON WDM clásica) siempre aumentando el rendimiento, la seguridad y la simplicidad de la red óptica PON.

Según una particularidad de la presente invención, la señal luminosa enviada por dicha primera unidad es una señal luminosa multiplexada en amplitud que consta de una pluralidad de amplitudes de manera que al menos una amplitud determinada es atribuida a cada una de dichas segundas unidades.

De esta forma, la señal luminosa multiplexada en amplitud permite atribuir de manera simple e instantánea, en cada segunda unidad una amplitud bien determinada de los impulsos de esta señal que porta los datos.

De forma ventajosa, la longitud de onda única de dicha señal luminosa enviada por la citada primera unidad es transformada por un efecto no lineal de desfase espectral en una pluralidad de longitudes de onda según dicha pluralidad de amplitudes formando así una señal luminosa multiplexada por división de longitudes de onda.

Gracias a la conversión de un multiplexado temporal en un multiplexado por longitud de onda, se realiza una repartición espacial de las longitudes de onda a fin de que cada segunda unidad solo reciba la longitud de onda que está asociada a la misma. Esto permite aumentar la seguridad de los datos siempre simplificando la recepción de estos datos por las segundas unidades.

La invención expone también un sistema de transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades, dichas primera y segundas unidades estando conectadas entre ellas a través de una red óptica pasiva, y además la citada primera unidad consta de un emisor destinado a enviar datos llevados por una señal luminosa que posee una longitud de onda única y dicha pluralidad de segundas unidades consta de una pluralidad de receptores destinados a recibir los datos según una pluralidad de señales luminosas que posee una pluralidad de longitudes de ondas diferentes de forma que cada una de las citadas segundas unidades está destinada a recibir los datos que son asociados a la misma según al menos una longitud de onda específica.

Así, la arquitectura del sistema resulta muy simple, ya que la primera unidad solo consta de un solo emisor para emitir una señal que posee una longitud de onda única. Asimismo, el sistema presenta una seguridad óptima y un buen rendimiento ya que permite asociar al menos una longitud de onda específica en cada segunda unidad.

Según una particularidad de la presente invención, la señal luminosa enviada por el emisor de dicha primera unidad es una señal luminosa multiplexada en amplitud que consta de una pluralidad de amplitudes de forma que al menos una amplitud determinada es atribuida a cada una de las segundas unidades citadas.

Así, el multiplexado en amplitud de una señal luminosa permite hacer una correspondencia simple e instantánea entre las diferentes amplitudes y la pluralidad de segundas unidades.

De forma ventajosa, el sistema está compuesto de un medio no lineal destinado a transformar por desfase espectral, la longitud de onda única de dicha señal luminosa enviada por la primera unidad citada en una pluralidad de longitudes de onda según dicha pluralidad de amplitudes formando así una señal luminosa multiplexada por división de longitudes de onda.

Así, el medio no lineal permite realizar una conversión de un multiplexado temporal en un multiplexado por longitud de onda, permitiendo asociar al menos una longitud de onda específica en cada segunda unidad. Esto permite aumentar la seguridad siempre simplificando la arquitectura del sistema.

Según otra particularidad de la presente invención, el sistema está compuesto por un demultiplexor ubicado después de dicho medio no lineal destinado a demultiplexar dicha señal luminosa multiplexada por división de longitudes de onda en la citada pluralidad de señales luminosas para enviarlas hacia dicha pluralidad de segundas unidades.

ES 2 313 642 T3

Así, el demultiplexor permite asignar en cada segunda unidad una señal no atenuada y que posee una longitud de onda específica. En efecto, un demultiplexor ubicado después del medio no lineal permite al medio no lineal desfazar la longitud de onda de manera proporcional a la potencia de los datos destinados a cada segunda unidad.

El sistema, según la invención, comprende un terminal central que comprende la primera unidad y una pluralidad de terminales clientes que comprende cada uno una segunda unidad de la citada pluralidad de segundas unidades.

Así, el terminal central solo está compuesto por un emisor para emitir una señal que posee una longitud de onda única siempre asignando una longitud de onda específica en cada terminal cliente.

La invención se relaciona igualmente con un terminal central de transmisión óptica que está compuesto por un emisor destinado a enviar datos llevados por una señal luminosa multiplexada en amplitud y que posee una longitud de onda única, y un medio no lineal destinado a transformar por desfase espectral dicha señal luminosa multiplexada en amplitud en una señal luminosa multiplexada por división de longitudes de onda.

Así, la arquitectura del equipo es muy simple, puesto que es suficiente un solo emisor para emitir una señal luminosa que posee una longitud de onda única y un medio lineal para permitir una repartición espacial de las longitudes de ondas.

Según un primer modo de realización, el terminal central consta de un demultiplexor de recepción, una pluralidad de receptores cada uno vinculado a dicho demultiplexor de recepción, y un dispositivo de circulación ubicado entre el medio no lineal y dicho demultiplexor de recepción.

Así, el dispositivo de circulación permite guiar las señales luminosas emitidas y recibidas por el terminal central de manera adecuada.

Según un segundo modo de realización, el terminal central consta de otro medio no lineal, un receptor conectado al otro medio no lineal citado, y un dispositivo de circulación ubicado entre dicho medio no lineal y dicho otro medio no lineal.

Este segundo modo de realización tiene como ventaja que solo tiene un receptor al nivel de la terminal central.

Según un tercer modo de realización, el terminal central está compuesto por un receptor, y un dispositivo de circulación ubicado entre el emisor y el medio no lineal y está conectado a dicho receptor.

Este tercer modo de realización tiene como ventaja tener un solo medio no lineal y un solo receptor al nivel del terminal central.

La invención se relaciona igualmente con un terminal cliente de transmisión óptica, que consta de un receptor/emisor destinado a recibir o emitir datos llevados por una señal luminosa que posee una longitud de onda específica desde o hacia un terminal central con las características que aparecen debajo.

Así, el terminal cliente presenta una gran seguridad y una gran simplicidad puesto que no es necesario contar con un medio específico para extraer los datos que le son destinados.

Breve descripción de los dibujos

Se verán otras particularidades y ventajas de la invención con la lectura de la descripción hecha, a continuación, de modo indicativo pero no limitativo, con referencia a los diseños anexados, en los cuales:

- la figura 1 ilustra un ejemplo muy esquemático de un sistema de transmisión óptica entre una primera unidad y una pluralidad de segundas unidades, conectadas entre ellas a través de una red óptica pasiva;

- la figura 2 muestra un modo de realización del sistema de transmisión óptico de la figura 1;

- la figura 3 muestra un ejemplo según la invención de un sistema de transmisión óptico de la figura 1, entre un terminal central y una pluralidad de terminales clientes; y

- de las figuras 4 a la 6 se muestran varios modos de realización del terminal central de la figura 3.

Descripción detallada de modos de realización

Conforme a la invención, la figura 1 ilustra un ejemplo muy esquemático de un sistema de transmisión óptica entre una primera unidad 1 y una pluralidad de segundas unidades 3. Las primeras y segundas unidades están conectadas entre ellas a través de una red óptica pasiva 5 (PON).

La primera unidad 1 consta de un emisor 7 destinado a enviar datos llevados por una señal luminosa S que posee una longitud de onda única a la pluralidad de segundas unidades 3. En efecto, la pluralidad de segundas unidades

3 está compuesto de una pluralidad de receptores 9 destinados a recibir los datos según una pluralidad de señales luminosas $S_1, \dots, S_N$ que posee una pluralidad de longitudes de ondas diferentes. Se observará que según este ejemplo, N designa un número superior o igual a la pluralidad de segundas unidades 3, de forma que cada una de estas segundas unidades 3 está destinada a recibir los datos asociados a las mismas según al menos una longitud de onda específica.

Así, con una arquitectura óptima, una longitud de onda única es enviada al nivel de la primera unidad 1 siempre asignando al menos una longitud de onda específica en cada segunda unidad 3.

Asimismo, la señal luminosa S enviada por el emisor 7 de la primera unidad 1 es una señal luminosa multiplexada en amplitud que está compuesta por una pluralidad de amplitudes de manera que al menos una amplitud determinada es atribuida a cada una de dichas segundas unidades 3.

Así, el multiplexado en amplitud de la señal luminosa S permite atribuir de manera instantánea, en cada segunda unidad 3 una amplitud bien determinada de los impulsos de esta señal S que lleva los datos. Los datos destinados a cada segundo nudo 3 son multiplexados temporalmente pero cada tramo de datos es emitido con una potencia (amplitud) diferente.

La figura 2 muestra que la red óptica pasiva 5 del sistema de transmisión óptico está compuesta por un medio no lineal 11 destinado a transformar el multiplexado en amplitud en un multiplexado en longitud de onda.

Este medio no lineal 11 transforma por desfase espectral, la longitud de onda única de la señal luminosa S enviada por la primera unidad 1 en una pluralidad de longitudes de onda en función de la pluralidad de amplitudes. Cada tramo cambia de longitud de onda con una variación hacia las longitudes de onda más grandes que depende de la potencia óptica del tramo. Así, se forma a la salida del medio no lineal 11, una señal luminosa S' multiplexada por división de longitudes de onda (WDM).

La conversión de un multiplexado temporal (TDM) en un multiplexado por longitud de onda (WDM) permite realizar una repartición espacial de las longitudes de onda a fin de que cada segunda unidad reciba solamente la longitud de onda asociada a la misma.

En efecto, el sistema de transmisión óptico consta de un demultiplexor óptico 13 de poca pérdida ubicado después del medio no lineal 11. Este demultiplexor 13 está destinado a demultiplexar la señal luminosa S' multiplexada por división de longitudes de onda en una pluralidad de señales luminosas $S_1, \dots, S_N$ para enviarlas hacia la pluralidad de segundas unidades 3.

Así, el demultiplexor 13 permite asignar a cada segunda unidad 3 una señal débilmente atenuada (pérdidas independientes del número de canales) y con una longitud de onda específica. En efecto, un demultiplexor 13 ubicado después del medio no lineal 11 permite a este medio no lineal 11 desfasar la longitud de onda de manera proporcional a la potencia de los datos destinados a cada segunda unidad 3. Como consecuencia, cada segunda unidad 3 recibe solamente la longitud de onda asociada a la misma, lo que aumenta la seguridad de los datos y hace el sistema de recepción muy ligero.

En efecto, como los datos multiplexados temporalmente son igualmente multiplexados en amplitud (una amplitud dada correspondiente a una segunda unidad 3 bien determinada), el medio no lineal 11, situado justo delante del demultiplexor 13 óptico (con relación al sentido del flujo o señal S), desfasa la longitud de onda de la señal S proporcionalmente a la amplitud de los impulsos que tiene esta. Así, después del medio no lineal 11, justo delante del demultiplexor óptico 13, los datos multiplexados en amplitud son iguales en longitud de onda.

Desde luego, es necesario cuidar que al pasar a través del medio no lineal 11, el desfase espectral engendrado corresponda bien a la rejilla espectral del demultiplexor óptico 13.

Por otra parte, el efecto no lineal de desfase espectral realizado por el medio no lineal 11 puede ser de tipo "solitón de auto desfase frecuencial" (soliton self frequency shift) o del tipo "auto modulación de fase", o de otro tipo diferente que conduce a un mismo efecto de desfase espectral.

El fenómeno de "solitón de auto desfase frecuencial" (soliton self frequency shift) es un fenómeno físico descubierto por Mollenauer y Mitschke en una publicación titulada "Discovery of the soliton self-frequency shift", (Optics Letters, Vol. 11, N° 10, págs 659-661, octubre 1986).

En efecto, en una fibra óptica, un impulso (por ejemplo S) de tipo solitón (de perfil secante hiperbólico) de energía superior a la del solitón fundamental experimenta una compresión no lineal. Cuando la tasa de compresión es suficientemente grande, se genera un impulso de fuerte potencia cresta. La compresión temporal induce un fuerte alargamiento espectral, que va a permitir a una difusión Raman reaccionar ante el impulso. Así, el espectro del impulso experimenta por efecto Raman un desfase frecuencial, proporcional a los niveles de no linealidad del medio no lineal 11. El desfase espectral engendrado por el "soliton self frequency shift" del medio no lineal 11 es proporcional a la potencia cresta del impulso creado, o inversamente proporcional a su dimensión temporal. Mientras mayor es la potencia cresta, es decir mientras mayor es la tasa de compresión, mayor es el desfase frecuencial. Los impulsos iniciales, cuyas potencias

ES 2 313 642 T3

cresta son diferentes, van entonces a originar, impulsos de longitudes de onda diferentes, por compresión no lineal y después por “soliton self frequency shift”.

A modo de ejemplo, se considera un flujo de datos o señal S a 40 Gbit/s, emitido al nivel de la primera unidad 1, con impulsos τ de aproximadamente 8 ps y de dimensión temporal (relación de ciclo) de aproximadamente 33% y que posee una longitud de onda λ igual a 1550 nm.

Por otra parte, se considera un medio no lineal 11 constituido por un elemento de fibra de vidrio calcogenuro de índice no lineal n_2 igual a $2 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$ y de área efectiva A_{eff} igual a $50 \mu\text{m}^2$. Se observará que el índice no lineal n_2 de la fibra de vidrio calcogenuro es mucho más elevado que el de una fibra de vidrio estándar. Por otra parte, se puede seleccionar para esta fibra de vidrio un nivel de dispersión cromática D igual a 10 ps/nm/km.

Teniendo en cuenta la velocidad de la luz en el vacío c, la longitud de dispersión Z_D del solitón está dada por la siguiente relación siguiente:

$$Z_D = \frac{2\pi \cdot \tau^2}{1.763^2 \lambda^2 D} \quad (1)$$

Luego, según los datos debajo, la longitud de dispersión Z_D es igual a 1.6155 km. Por otra parte, el período solitón Z_0 está dado por:

$$Z_0 = \frac{\pi Z_D}{2} \quad (2)$$

o sea, según este ejemplo, el período solitón Z_0 es igual a 2.5377 km. La potencia media P_0 del solitón fundamental vale entonces:

$$P_0 = \frac{0.776 \lambda^3 A_{\text{eff}} D}{\pi^2 c n_2 \tau^2} \quad (3)$$

o sea, según este ejemplo, la potencia cresta P_0 vale 3.8124 mW. La potencia media del tren de impulsos correspondiente es entonces igual a -1.5991 dBm.

Asimismo, la longitud de dispersión L_D y la longitud no lineal L_{NL} correspondiente a la propagación de un impulso de amplitud 8ps y de potencia cresta P_c en la fibra no lineal de vidrio calcogenuro (medio no lineal 11) están dados por las relaciones siguientes:

$$L_D = \frac{2\pi \tau^2}{\lambda^2 D} \quad L_{NL} = \frac{\lambda A_{\text{eff}}}{2\pi n_2 P_c} \quad (4)$$

Se observará que los impulsos pueden ser considerados como muy cercanos a los solitones del orden N si su potencia cresta P_c obedece a la relación:

$$N^2 = \frac{L_D}{L_{NL}} = \frac{4\pi^2 n_2 c \tau^2 P_c}{\lambda^3 D A_{\text{eff}}} \Rightarrow P_c = \frac{\lambda^3 D A_{\text{eff}} N^2}{4\pi^2 n_2 c \tau^2} \quad (5)$$

A modo de ejemplo, para un orden $N=2$, la potencia cresta P_c correspondiente vale entonces 4,9 mW.

$$N = 2 \Rightarrow P_c = 4.9 \text{ mW} \quad (6)$$

Injectando ahora estos impulsos con las potencias crestas calculadas debajo en el medio no lineal 11, la tasa de compresión F_c de estos impulsos está dada luego por la relación:

$$F_c = 4.1N \quad (7)$$

ES 2 313 642 T3

La longitud de fibra L_{opt} necesaria para obtener esta compresión vale entonces:

$$L_{\text{opt}} = \frac{0.32}{N} + \frac{1.1}{N^2} \quad (8)$$

o sea para $N=2$:

$$N=2 \Rightarrow F_c = 8.2 \quad \text{y} \quad L_{\text{opt}} = 1100 \text{ m} \quad (9)$$

El factor de compresión es entonces de aproximadamente 8 (la dimensión de los impulsos después de la compresión es igual a 1 ps) y la longitud de la fibra de vidrio calcogenuro necesaria para obtener esta compresión es igual a 1100 m.

Después de esta fase de compresión no lineal de los impulsos, interviene luego, el desfase espectral de los impulsos por el efecto de "soliton self frequency shift". El desfase espectral por unidad de longitud $d\omega_0/dz$ generado por el "soliton self frequency shift", está dado por J.P. Gordon, en un documento titulado "Theory of the soliton self-frequency shift", (Optics Letters, Vol. 11, N° 10, págs. 662-664, octubre 1986) según la fórmula siguiente:

$$\frac{d\omega_0}{dz} = \frac{\pi}{8} \int_0^{\infty} \frac{\Omega^3 \alpha_R(\Omega)}{\sinh^2\left(\frac{\pi\Omega}{2}\right)} d\Omega \quad (10)$$

donde ω_0 es la frecuencia normalizada del solitón, α_R es el coeficiente de atenuación Raman de la fibra utilizada, Ω es la desviación espectral en unidades solitón. Este está ligado a la ganancia Raman g_R de la fibra por la relación siguiente:

$$\alpha_R(\Omega) = \frac{\lambda}{2\pi n_1} g_R \quad (\nu) \quad \text{con} \quad \nu = \frac{1.763\Omega}{2\pi\tau} \quad (11)$$

donde ν es el desfase frecuencial en terahertz (TH_z).

Se conoce que una fibra de vidrio calcogenuro (medio no lineal 11) tiene una eficacia Raman de aproximadamente 700 veces superior a la de una fibra de vidrio de sílice. El valor cresta de la ganancia Raman g_R de una fibra de sílice es de 1.10^{-13} m/W , el de una fibra de vidrio calcogenuro es entonces del orden de 7.10^{-11} m/W . En la cresta, el coeficiente de atenuación Raman α_R puede entonces escribirse como:

$$\alpha_{R}^{\text{Max}} = \frac{\lambda}{2\pi n_1} 7.10^{-11} \quad (12)$$

o sea, en valor numérico:

$$\alpha_R^{\text{Max}} = 8.634 \quad (13)$$

La relación (4) se forma luego, cuando se ve nuevamente en unidad real:

$$\frac{d\nu_0}{dz} = \frac{1.763^3}{\pi z_c \tau^3} \frac{d\omega_0}{dz} = \frac{1.763^3 \lambda^3 D}{16\pi c \tau^3} \int_0^{\infty} \frac{\Omega^3 \alpha_R(\Omega)}{\sinh^2\left(\frac{\pi\Omega}{2}\right)} d\Omega \quad (14)$$

como:

$$\alpha_R(\Omega) = 8.634 \cdot \left(\frac{\Omega}{\Delta\nu_{\text{Max}}} \right) \quad (15)$$

Se hace la hipótesis de que la cresta de ganancia Raman se encuentra en una frecuencia $\Delta\nu_{\text{Max}}$ igual a 13.2 TH_z de la bomba. La relación (8) puede entonces escribirse como:

$$\frac{dW}{dz} = \frac{1.763^4 \lambda^2 D}{16\pi c \tau^4} \frac{8.634}{2\pi \Delta\nu_{\text{Max}}} \int_0^\infty \frac{\Omega^4}{\sinh^2\left(\frac{\pi\Omega}{2}\right)} d\Omega \quad (16)$$

Como:

$$\int_0^\infty \frac{\Omega^4}{\sinh^2\left(\frac{\pi\Omega}{2}\right)} d\Omega = \frac{16}{15\pi} \quad (17)$$

La relación (10) pasa a ser entonces:

$$\frac{dW}{dz} = \frac{1.763^4 \lambda^2 D}{30\pi^3 c} \frac{8.634}{2\pi \Delta\nu_{\text{Max}}} \frac{1}{\tau^4} \quad (18)$$

Al expresar la longitud de onda λ en nm, la dispersión cromática D en ps/(nm.km), la velocidad de la luz c en m/s, $\Delta\nu_{\text{Max}}$ en TH_z, y τ en ps, la expresión (12) pasa a ser:

$$\frac{dW}{dz} \left(\text{THz/km} \right) = \frac{1.763^4 \lambda^2 D}{30\pi^3 c} \frac{8.634}{\Delta\nu_{\text{Max}}} \frac{1}{\tau^4} \cdot 10^3 = \frac{0.764}{\tau^4} \quad (19)$$

Para impulsos τ comprimidos de 1 ps (pero emitido al nivel de la primera unidad 1 con una longitud de 8 ps), se obtiene un desfase (shift) de 0.76 TH_z (aproximadamente 6 nm) por kilómetro de fibra. Al cabo de 6 km de fibra en total (en los cuales son incluidos los 1100 m necesarios en la compresión), se tendrá un desfase de 3.8 TH_z (o sea aproximadamente 30 nm).

A modo de ejemplo, la figura 3 muestra un sistema de transmisión óptico que comprende un terminal central 15 que incluye la primera unidad 1 y una pluralidad de terminales clientes (o abonados) 17 incluyendo cada uno una segunda unidad 3.

Por otra parte, se observará que una o varias segundas unidades 3 pueden estar comprendidas en un terminal central 15 y que una primera unidad 1 puede estar comprendida en un terminal cliente 17.

Considerando el caso donde el sistema en la red PON de la figura 3 conste de 40 terminales clientes (o abonados) 17 y que el flujo por terminal cliente 17 es de 1 Gbit/s, entonces considerando 40 valores de potencia (cresta) de tramo repartidos entre 3.8 y 4.9 mW, es posible repartir las 40 longitudes de onda que disminuyen (con destino a los 40 terminales clientes 17) sobre 30 nm de banda, o sea 1 longitud de onda todos los 100 GHz aproximadamente.

Se observará que, la fotodetección de impulsos de 1 ps no constituye un problema particular en la medida donde el flujo vehiculado después del multiplexor óptico 13 es solamente de 1 Gbit/s. Entonces, un detector ultra rápido no es necesario porque el objetivo aquí no es lograr solucionar el impulso si no distinguir un “1” de un “0”.

Por otro lado, una diafonía (crosstalk) entre canales WDM es sólo apreciable si el “self soliton frequency shift” no se ha acumulado suficientemente (dicho de otro modo si la longitud de fibra no lineal es muy débil).

Sin embargo, una propagación sin amplificación de los impulsos en la fibra estándar (longitud de dispersión igual a 14 m si los impulsos tienen una dimensión de 1 ps a la entrada de la fibra) sobre algunos cientos de metros conlleva al alargamiento de los impulsos (desestabilizando la propagación “solitón”) y la compresión del espectro, de forma que al nivel del demultiplexor 13, no se observa ninguna diafonía (crosstalk) o interferencia notable.

El ejemplo numérico de abajo muestra la eficacia del “self soliton frequency shift” a la hora de demultiplexar espectralmente un flujo de datos a 40 Gbit/s, con órdenes de dimensión totalmente razonables para los diferentes parámetros del demultiplexor 13.

Así, la invención reúne las ventajas de dos tipos de arquitectura de red PON. Es decir, al nivel del terminal central 15, una longitud de onda única es enviada, mientras que un demultiplexor óptico de poca pérdida es implementado en la red de forma que a cada abonado se le asocia una longitud de onda, bien específica para el mismo.

De las figuras 4 a la 6 se muestran diferentes modos de realización del terminal central de la figura 3.

ES 2 313 642 T3

Según estos modos de realizaciones el terminal central 115, 215, 315 de transmisión óptica consta de un emisor 7 destinado a enviar datos llevados por una señal luminosa S multiplexada en amplitud y con una longitud de onda única, y un medio no lineal 11 destinado a transformar por desfase espectral la señal luminosa S multiplexada en amplitud en una señal luminosa S' multiplexada por división de longitudes de onda.

Así, la arquitectura del equipo es muy simple, porque solamente un emisor 7 es suficiente para emitir una señal luminosa que tiene una longitud de onda única y un medio lineal 11 para permitir una repartición espacial de longitudes de ondas.

Asimismo, el terminal cliente 17 de transmisión óptica, consta de un receptor/emisor 19 destinado a recibir o emitir datos llevados por una señal luminosa S_i que tiene una longitud de onda específica desde o hacia el terminal central 115, 215, 315 de transmisión óptica. Así, cada terminal cliente 17 presenta una gran seguridad y una gran sencillez ya que no es necesario contar con un medio específico para extraer los datos destinados a las mismas.

La figura 4 muestra un primer modo de realización, donde el terminal central 115 consta de un demultiplexor de recepción 21, una pluralidad de receptores 109 vinculados al demultiplexor de recepción 21, y un dispositivo de circulación 23. El dispositivo de circulación 23 se ubica entre el medio no lineal 11 y el demultiplexor de recepción 19. Así, el dispositivo de circulación 21 permite guiar las señales luminosas emitidas y recibidas S' por el terminal central 115 de manera adecuada.

La conversión TDM-WDM del ejemplo de la figura 4 hace referencia a las señales luminosas en el sentido descendente (con destino a los terminales clientes 17). Para los datos que ascienden hacia el terminal central 115 (desde los terminales clientes 17), la red puede ser una red PON WDM clásica con multiplexado-demultiplexado en longitudes de onda. El dispositivo de circulación 21, situado entre el medio no lineal 11 y el demultiplexor óptico de recepción 19, permite guiar el tráfico descendente y ascendente de manera adecuada.

La figura 5 muestra un segundo modo de realización, donde la terminal central 215 consta de otro medio no lineal 211, un receptor 209 conectado a este otro medio no lineal 211, y un dispositivo de circulación 23 ubicado entre el medio no lineal 11 y el otro medio no lineal 211.

El segundo modo no lineal 211 sobre el flujo que asciende nuevamente permite utilizar solamente un receptor 209 al nivel del terminal central 215. Este segundo modo no lineal 211 acopla los diferentes canales sobre una longitud de onda única, cuyo valor es ligeramente superior al del canal haciendo mayor la longitud de onda. Naturalmente, al nivel de cada terminal cliente 17, es necesario emitir tramos de potencias como para que las longitudes de onda puedan acoplarse adecuadamente en frecuencia. La ventaja de este segundo modo es que tiene solamente un receptor 209 al nivel del terminal central 215 en condición de efectuar una sincronización fina en la emisión de señales ascendentes para que estas se intercalen correctamente al nivel temporal.

La figura 6 muestra un tercer modo de realización, donde la terminal central 315 consta de un receptor 309, y un dispositivo de circulación 23 conectado al receptor 309. En este caso, el dispositivo de circulación 23 está ubicado entre el emisor 7 y el medio no lineal 11.

Así, según este tercer modo de realización, se utiliza únicamente un solo medio no lineal 11, que va entonces a actuar a la vez sobre los flujos ascendentes y descendentes. Al nivel del terminal central 315 (para el flujo descendente), y terminales clientes 17 (para los flujos ascendentes), es necesario realizar el multiplexado en potencia de los diferentes tramos de manera precisa, a fin de que los desfases espectrales generados correspondan bien a la tabla del demultiplexor 13 (para el flujo ascendente), y a la longitud de onda única de transporte (para los flujos descendentes). La sincronización temporal, al nivel de los terminales clientes 17, de los tramos en aumento es igualmente necesaria.

Con los modos de realizaciones de las figuras 4 a la 6, se puede también recurrir al hecho de que las potencias de tramos son diferentes para conectar clientes situados a distancias diferentes. Los clientes cercanos al terminal central 115, 215, 315 van a estar asociados a longitudes de onda producidas de los tramos de potencia débil (bajas longitudes de onda). Los clientes más alejados van a estar conectados gracias a las longitudes de onda producidas de los tramos de fuerte potencia (alta longitud de onda). Todo esto puede ser controlado al nivel del terminal central 115, 215, 315 para el flujo descendente, y al nivel de los terminales clientes 17 para los flujos ascendentes.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de transmisión óptica que garantiza la transmisión de un tráfico de datos ascendentes y descendentes entre un terminal central (115; 215; 315) y una pluralidad de terminales clientes (17) estando conectadas entre ellas a través de una red de acceso óptico pasivo (5), **caracterizado** porque dicho procedimiento comprende las etapas siguientes:

- una emisión, por dicho terminal central, de datos llevados por una señal luminosa (S) multiplexada en amplitud que consta de una pluralidad de amplitudes y que posee una longitud de onda única hacia dicha pluralidad de terminales clientes (17);

- una transformación por desfase espectral, por dicho terminal central (115; 215; 315), de la longitud de onda única de dicha señal luminosa (S) enviada por dicho terminal central (115, 215, 315) en una pluralidad de longitudes de ondas, según dicha pluralidad de amplitudes que forma así una señal luminosa (S') multiplexada por división de longitudes de onda, de forma que dichos datos son recibidos por dicha pluralidad de terminales clientes (17) según una pluralidad de señales luminosas (S_1 , ..., S_N) que posee una pluralidad de longitudes de ondas diferentes, cada uno de dichos terminales clientes (17) recibiendo los datos que les son asociados según al menos una longitud de onda específica; y

- un envío de dicho tráfico descendente y ascendente entre dicho terminal central (115, 215, 315) y la pluralidad de terminales clientes (17).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha transformación por desfase espectral se realiza por un efecto no lineal del tipo solitón de auto-desfase frecuencial.

3. Terminal central de transmisión óptica (115; 215; 315) apta para garantizar un tráfico descendente y ascendente con una pluralidad de terminales clientes (17) conectadas al terminal central a través de una red de acceso óptico pasivo (5), dicho terminal central (115; 215; 315) **caracterizado** porque comprende:

- un emisor (7) destinado a enviar por el intermediario de una red óptica pasiva (5), hacia dicha pluralidad de terminales clientes (17), datos llevados por una señal luminosa (S) multiplexada en amplitud que consta de una pluralidad de amplitudes y que tiene una longitud de onda única;

- al menos un medio no lineal (11), destinado a transformar por desfase espectral la longitud de onda única de dicha señal luminosa (S) en una pluralidad de longitudes de ondas según dicha pluralidad de amplitudes formando así una señal luminosa (S') multiplexada por división de longitudes de ondas, de forma que dichos datos son recibidos por dicha pluralidad de terminales clientes (17) según una pluralidad de señales luminosas (S_1 , ..., S_N) que posee una pluralidad longitudes de ondas diferentes; y

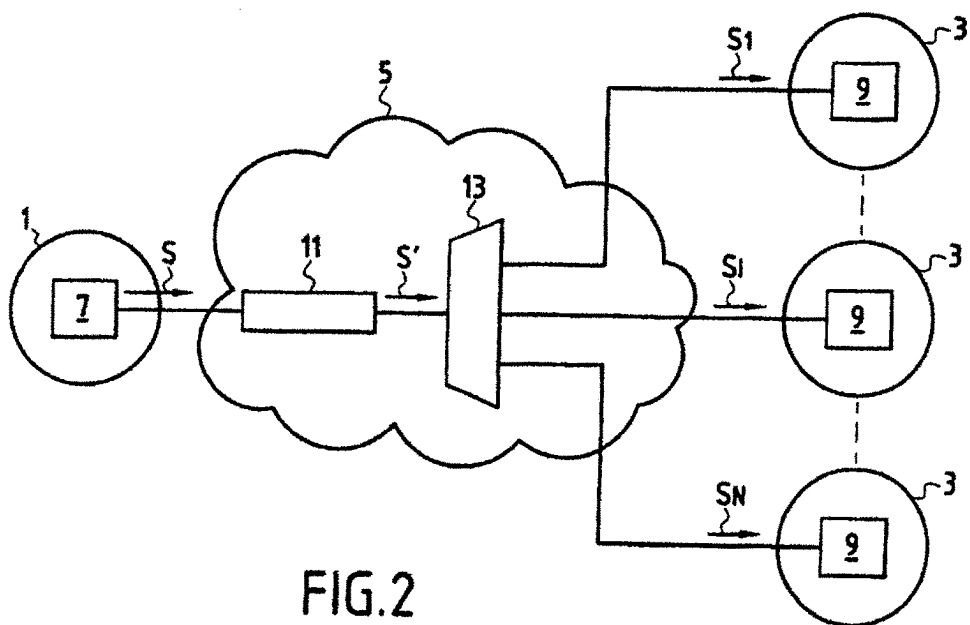
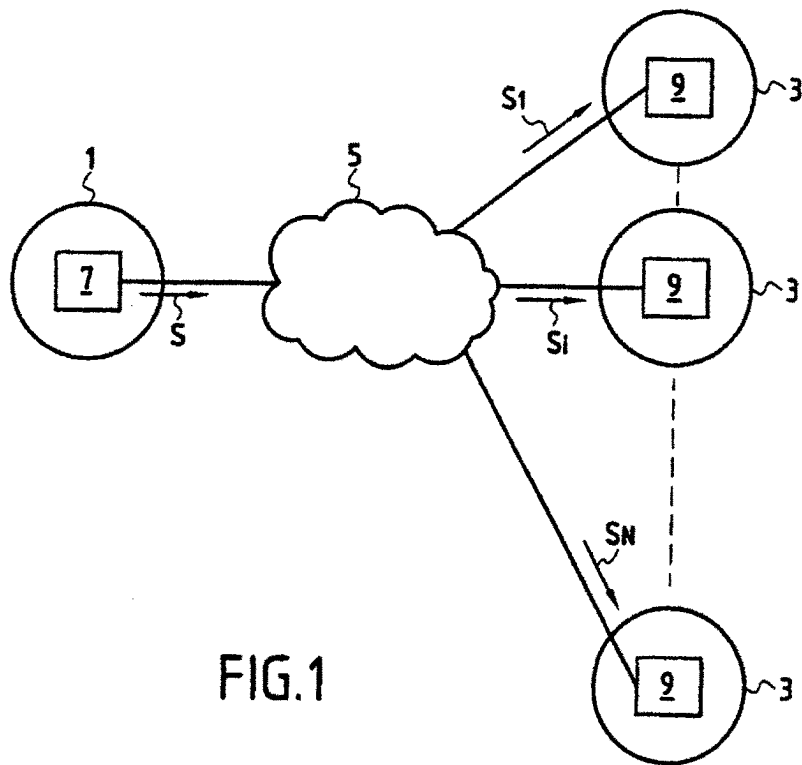
- un dispositivo de circulación (23) permitiendo guiar dicho tráfico ascendente y descendente entre dicho terminal central (115, 215, 315) y el dicha pluralidad de terminales clientes (17).

4. Terminal según la reivindicación 3, **caracterizada** porque dicho al menos un medio no lineal (11) está apto para transformar dicha señal luminosa (S) de longitud de onda única multiplexada en amplitud en dicha señal luminosa (S') multiplexada por división de longitudes de ondas, por un efecto no lineal del tipo solitón de auto-desfase frecuencial.

5. Terminal según una de las reivindicaciones 3 y 4, **caracterizado** porque está compuesto de un demultiplexor de recepción (21) y una pluralidad de receptores (109) y porque dicho dispositivo de circulación (23) está ubicado entre dicho al menos un medio no lineal (11) y el demultiplexor de recepción (21), dicho demultiplexor de recepción (21) estando vinculado a la pluralidad de receptores (109).

6. Terminal según una de las reivindicaciones 3 y 4, **caracterizado** porque está compuesto por dos medios no lineales (11, 211), y un receptor (209), el primer medio no lineal (11) estando situado entre dicho emisor (7) y dicho dispositivo de circulación (23), el segundo medio no lineal (211) estando situado entre dicho dispositivo de circulación (23) y el receptor (209).

7. Terminal según una de las reivindicaciones 3 y 4, **caracterizado** porque está compuesto de un receptor (309) y el citado dispositivo de circulación (23) está ubicado entre el emisor (7) y dicho al menos un medio no lineal (11) porque el citado dispositivo de circulación (23) está conectado al receptor (309).



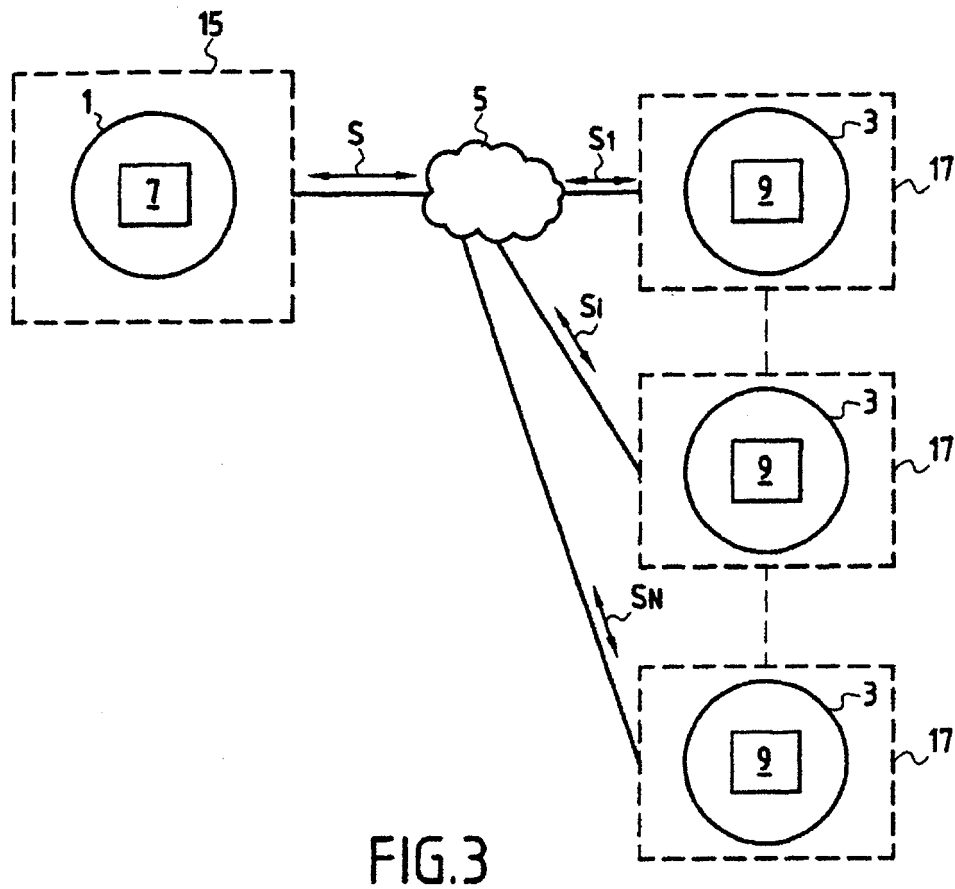


FIG. 3

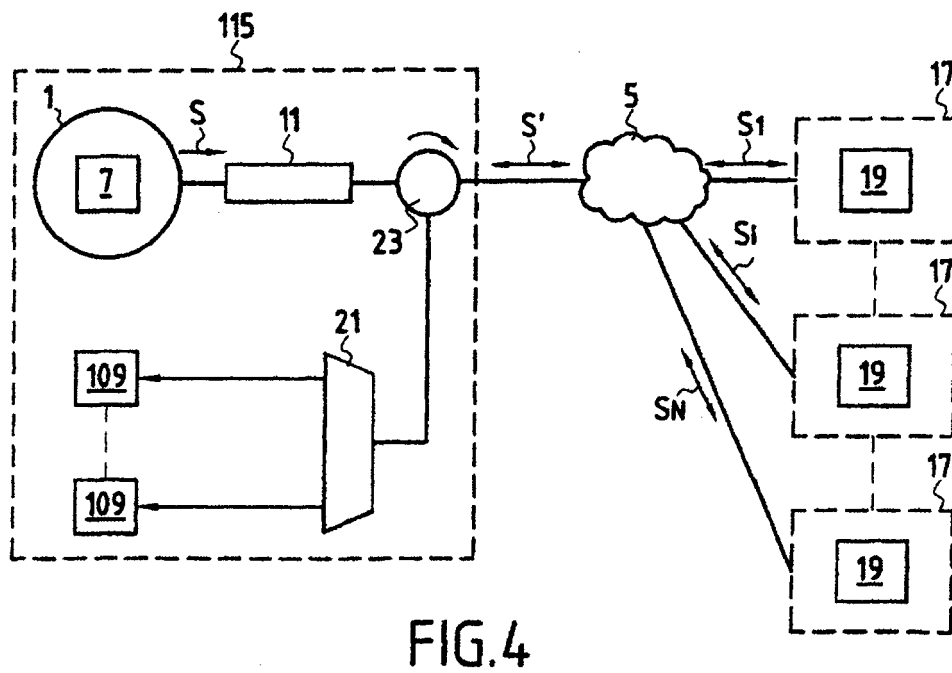


FIG. 4

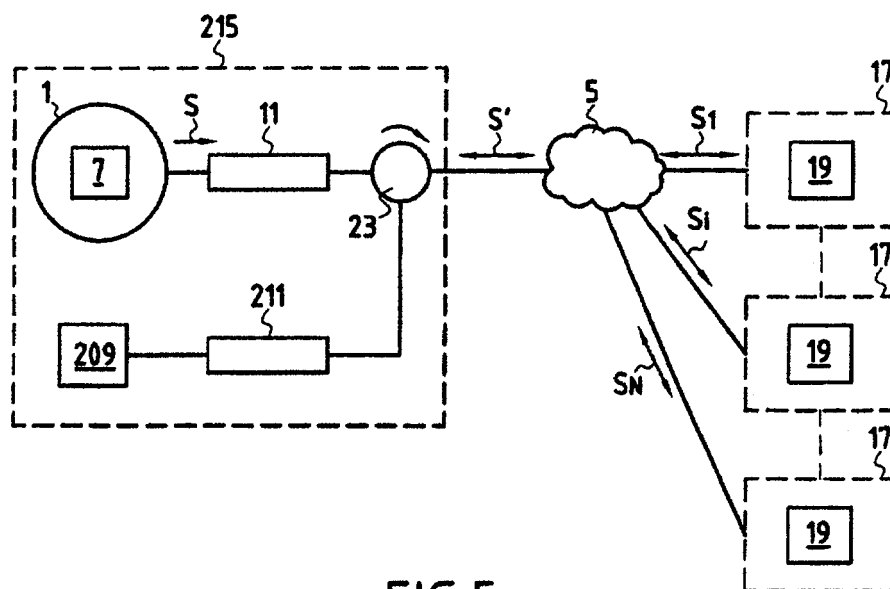


FIG. 5

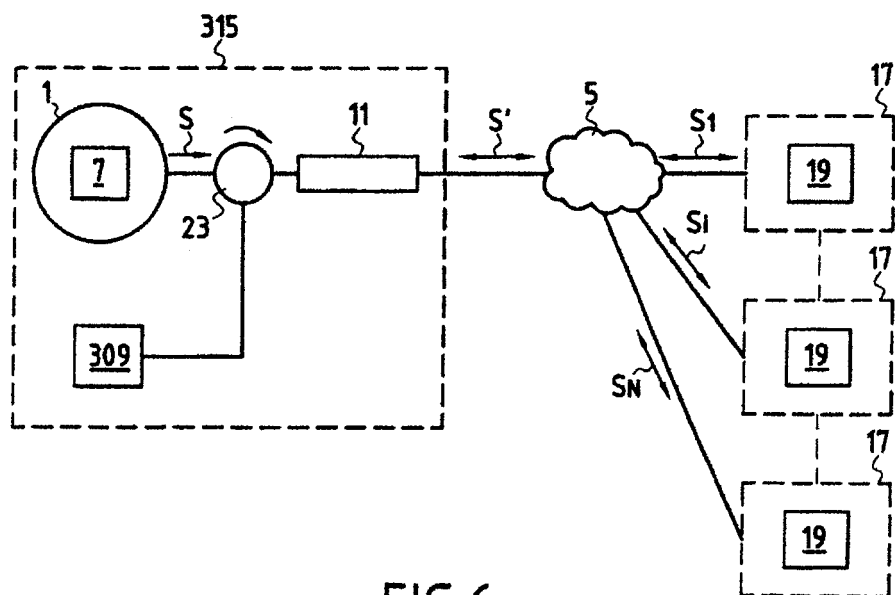


FIG. 6