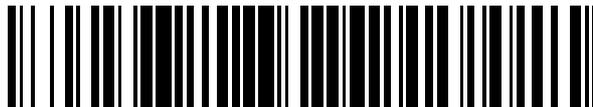


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 533**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/08** (2006.01)

**G01M 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2007 E 07016712 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2012 EP 1898537**

54 Título: **Procedimiento de diagnóstico y chip de diagnóstico para determinar el ancho de banda de fibras ópticas**

30 Prioridad:

**07.09.2006 DE 102006042525**

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

**07.03.2013**

73 Titular/es:

**PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG (100.0%)  
Flachsmarktstrasse 8  
32825 BLOMBERG, DE**

72 Inventor/es:

**PAPE, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 397 533 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de diagnóstico y chip de diagnóstico para determinar el ancho de banda de fibras ópticas.

La invención concierne en general a la transmisión óptica de datos y en particular a un procedimiento y un dispositivo de diagnóstico de fibras ópticas.

5 Para cableados troncales y en relación con la Ethernet rápida y la Ethernet de gigabits resultan ser cada vez más interesante los cableados a base de cables ópticos. La transmisión de señales en fibras ópticas, también denominadas conductores de ondas luminosas (LWL), se efectúa unidireccionalmente por medio de impulsos de luz, es decir, solamente en una dirección, por lo que se emplean típicamente al menos dos fibras ópticas por cada cable. Los impulsos de luz se acoplan generalmente con la fibra por medio de un diodo láser o un diodo de luminiscencia.

10 Las ventajas de la transmisión óptica de datos residen en la alta tasa de transmisión obtenible y en el elevado alcance, así como en la insensibilidad frente a radiación electromagnética, la seguridad contra escucha y la estabilidad frente al calor y las influencias climatológicas. A través de los delgados conductores interiores se pueden tender, además, cables ópticas en forma flexible.

15 Aparte de fibras puras de vidrio, han encontrado una gran difusión las fibras ópticas de polímeros debido a los menores costes. Las fibras ópticas de polímeros se denominan fibras POF (Plastic Optical Fiber - fibra óptica de plástico) y son fibras puras de plástico que constan de un núcleo y una envolvente transparentes, presentando la envolvente un menor índice de refracción que el material del núcleo. Como material del núcleo se utilizan polímeros tales como polimetilmetacrilato o policarbonato. Aparte de las fibras puramente polímeras, entre las fibras ópticas polímeras se cuentan también fibras híbridas que presentan una combinación de fibra de vidrio y envoltura de plástico, tal como, por ejemplo, la fibra HCS (Hard Polymer Cladded Silica - sílice revestida de polímero duro).

20 La distancia que se puede puentear directamente con conductores de ondas luminosas está limitada por diferentes efectos de dispersión y diseminación. Depende del ancho de banda a transmitir y, por tanto, se la indica típicamente como el producto de ancho de banda-longitud. Frente a fibras de vidrio, las fibras de polímero, tales como POF o HCS, presentan valores de atenuación netamente mayores. Los sistemas de fibras POF o HCS se hacen funcionar con longitudes de trayecto de 50 ó 100 m y tasas de datos de 100 Mbits/s o 125 MBd, ya en el borde de sus posibilidades técnicas. Para garantizar una transmisión de datos segura, un diagnóstico de las fibras ópticas del trayecto de transmisión es hoy en día un procedimiento usual.

25 Un procedimiento de diagnóstico de trayectos ópticos de conductores de ondas luminosas, especialmente para el diagnóstico óptico en el Interbus, es conocido, por ejemplo, por el documento DE 42 17 899 C2. El procedimiento allí descrito sirve para la optimización del sistema de trayectos de transmisión LWL durante la puesta en funcionamiento y prevé una variación de la potencia de emisión óptica de un receptor de emisión hasta que la señal óptica recibida en el lado contrario satisfaga los requisitos del sistema.

30 Se conoce por el documento EP 1 227 604 A2 un procedimiento en el que se determina para un trayecto óptico de transmisión su reserva de nivel actual hasta el límite de sensibilidad, es decir, entre la potencia de emisión actual del emisor y el límite de sensibilidad actual del receptor.

35 El diagnóstico óptico según este estado de la técnica se dirige al objetivo de diagnosticar la atenuación de trayectos ópticos de conexión para deducir de ello una transmisión segura. Esto es suficiente también en sistemas de baja tasa de bits. No obstante, a tasas de datos a partir de 100 Mbits/s en fibras (POF) y (HCS) de polímero el factor limitativo para una transmisión sin fallos ya no es la atenuación del cable, sino el ancho de banda del cable. Sin embargo, este ancho de banda no se puede comprobar automáticamente por medio de los procedimientos actualmente conocidos. Otra desventaja de sistemas conocidos reside en que no puede establecerse automáticamente el tipo de fibra empleado, tal como, por ejemplo, POF o HCS, que es apto para funcionar en la misma interfaz. Esto repercute también desventajosamente en el diagnóstico de atenuación, ya que tipos de fibras diferentes presentan también un comportamiento de atenuación diferente y, por tanto, se tienen que valorar de manera diferente los datos de diagnóstico. Típicamente, el tipo de fibra tiene que indicarse hoy en día manualmente en el software de diagnóstico.

40 La solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2, presentada el 18 de abril de 2005 por el mismo solicitante de la presente invención, respecto de la cual constituye un desarrollo adicional la presente invención, se basaba en el problema de indicar un modo referente a cómo se puede mejorar y/o simplificar el diagnóstico de fibras o cables ópticos. En particular, el problema consistía en indicar un procedimiento y un dispositivo para la determinación sencilla y barata del ancho de banda de fibras ópticas, así como indicar un modo de optimización del sistema de trayectos ópticos de transmisión de datos.

45 A este fin, se proponía un procedimiento para determinar el ancho de banda de al menos una fibra óptica con los pasos de acoplar luz de una primera potencia óptica y una primera frecuencia de modulación con la fibra óptica, medir un primer nivel de señal en función de la potencia óptica de la luz de la primera frecuencia de modulación conducida a través de la fibra óptica, acoplar luz de una segunda potencia óptica y una segunda frecuencia de modulación con la fibra óptica, medir un segundo nivel de señal en función de la potencia óptica de la luz de la

segunda frecuencia de modulación conducida a través de la fibra óptica, y obtener el ancho de banda de la fibra óptica en función de la primera y la segunda potencias ópticas acopladas y/o el primero y el segundo niveles ópticos medidos empleando una especificación predeterminada que describe el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia.

- 5 Siempre que no se indique otra cosa en lo que sigue, el término frecuencia se emplea en el sentido de una frecuencia de modulación de una señal óptica.

El principio del procedimiento según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 preveía sustancialmente determinar la atenuación de dos señales ópticas de frecuencia diferente y obtener a partir de ella el ancho de banda de la fibra óptica con ayuda de una respuesta de frecuencia característica ya conocida de la atenuación de dicha fibra.

Por atenuación han de entenderse las pérdidas de la luz que circula por la fibra óptica. La atenuación se expresa típicamente como diez veces el logaritmo de la relación de la potencia óptica en la entrada y la salida de la fibra óptica:

$$(1) \quad A = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{Eingang}}}{P_{\text{Ausgang}}} \text{ [dB]}$$

- 15 en donde Eingang significa entrada y Ausgang significa salida.

La atenuación es originada principalmente por los procesos físicos de absorción y dispersión, así como por deflexión mecánica.

En fibras ópticas que presentan una característica pasabajos, el ancho de banda corresponde a la frecuencia de modulación a la que la potencia luminosa, comparada con el valor a la frecuencia cero, ha caído ópticamente en 50% o 3 dB.

Para aumentar la exactitud del procedimiento según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2, las señales de la primera y la segunda frecuencias presentaban ventajosamente una atenuación fuertemente diferente dependiente de la frecuencia.

Ventajosamente, se había previsto que la primera frecuencia fuera más pequeña, especialmente al menos en el factor 10, especialmente al menos en el factor 100, que el ancho de banda de la fibra óptica y que la atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia fuera sustancialmente cero a la primera frecuencia, ya que en este supuesto se simplifica netamente la especificación de cálculo para obtener el ancho de banda.

La segunda frecuencia estaba ventajosamente en el dominio del ancho de banda de la fibra óptica, estando convenientemente la segunda frecuencia en el dominio del ancho de banda idealmente esperable de la fibra óptica y, por tanto, típicamente por encima del ancho de banda real, de modo que la señal de la segunda frecuencia experimenta una atenuación más fuerte que la señal de la primera frecuencia. En particular, se había previsto que la fibra óptica presentara una atenuación en función de la frecuencia para luz circulante de la segunda frecuencia, que estuviera entre 1 y 5 dB, especialmente entre 2 y 4 dB, más especialmente en alrededor de 3 dB, por encima de la atenuación en función de la frecuencia para luz circulante de la primera frecuencia.

Por tanto, la idea básica de la invención según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 residía en obtener el ancho de banda de una fibra óptica por medio de dos valores de medida, un primer valor de medida que sirviera de referencia y no fuera sustancialmente influido por la limitación de ancho de banda de la fibra óptica, y un segundo valor de medida en función del ancho de banda. La obtención del ancho de banda a partir de estos dos valores de medida es posibilitada aquí por el empleo de una especificación predeterminada que describe el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia.

El problema de medir el ancho de banda de una conexión óptica entre dos abonados se resuelve por la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 de tal manera que las mediciones de la potencia luminosa necesarias típicamente para la determinación del ancho de banda se realizan a dos frecuencias o tasas de datos diferentes, ya que como medición de referencia está prevista una medición a una frecuencia más baja. Estas soluciones descritas en la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 para fibras POF y HCS son típicamente 10 y 100 Mbits/s. Por tanto, se ha posibilitado ya ventajosamente de una manera especialmente sencilla una medición del ancho de banda con ayuda de un aparato de Ethernet estándar.

La conmutación de la tasa de datos está vinculada siempre forzosamente con una interrupción del enlace, lo que conduce a un fallo al menos de corta duración de la comunicación de datos, de modo que el procedimiento descrito en la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 no puede realizarse típicamente en línea durante el funcionamiento de comunicación en curso de una interfaz LWL.

Por tanto, la presente invención se basa en el problema de desarrollar adicionalmente el objeto de la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 de tal manera que se pueda simplificar aún más el diagnóstico de fibras o

cables ópticos. En particular, el problema consiste en indicar un procedimiento y un dispositivo para la determinación sencilla y barata del ancho de banda de fibras ópticas, por medio de los cuales se pueda realizar también una medición del ancho de banda en línea sin reflujos hacia la comunicación.

5 Otro procedimiento de diagnóstico para la determinación del ancho de banda de fibras ópticas es conocido por el documento EP-A-1018642.

El problema se resuelve mediante un procedimiento según la reivindicación 1 y un componente electrónico según la reivindicación 25. Formas de realización y perfeccionamientos ventajosos y/o preferidos son objeto de las respectivas reivindicaciones subordinadas.

10 Por tanto, se ha previsto según la invención que la primera y la segunda frecuencias de modulación presenten sustancialmente el mismo valor, de modo que se obtengan el primero y el segundo niveles de señal a sustancialmente la misma frecuencia de modulación. Por consiguiente, según la presente invención, se ha previsto obtener el valor de medida que sirve de referencia a la misma frecuencia de modulación a la que se obtiene también el valor de medida dependiente del ancho de banda.

15 Ventajosamente, la primera potencia óptica de la luz acoplada de la primera frecuencia de modulación y la segunda potencia óptica de la luz acoplada de la segunda frecuencia de modulación presentan aquí nuevamente valores predeterminados que, en particular, son de preferencia sustancialmente iguales.

20 Los inventores han descubierto sorprendentemente que a una misma potencia de entrada de la luz acoplada de la primera y la segunda frecuencias de modulación y con una especificación prefijada para describir el comportamiento de atenuación de la fibra en función de la frecuencia se puede obtener el ancho de banda a partir de la relación de los respectivos niveles de señal primero y segundo medidos aun cuando la primera y la segunda frecuencias de modulación sean sustancialmente iguales. Por tanto, puede preverse ventajosamente según la invención que la luz acoplada de la primera y la segunda frecuencias de modulación sea idéntica y que la medición del ancho de banda se base en la naturaleza diferente de los niveles de señal medidos.

25 Como alternativa, se ha previsto nuevamente de manera ventajosa detectar el rebasamiento de valores umbral prefijados. Por consiguiente, se varía ventajosamente la primera potencia óptica de la luz acoplada de la primera frecuencia de modulación hasta que el primer nivel de señal medido alcance un primer valor umbral predeterminado, y se varía la segunda potencia óptica de la luz acoplada de la segunda frecuencia de modulación hasta que el segundo nivel de señal medido alcance un segundo valor umbral predeterminado.

30 Ventajosamente, el primer valor umbral a la primera frecuencia de modulación y el segundo valor umbral a la segunda frecuencia de modulación son iguales, con lo que se puede obtener de manera sencilla el ancho de banda de la fibra a partir de las respectivas potencias ópticas de entrada o de magnitudes proporcionales a ellas.

La al menos una fibra óptica comprende preferiblemente un polímero y/o un vidrio y está configurada especialmente como una fibra POF o HCS. Sin embargo, las fibras puras de vidrio caen también dentro del ámbito de la invención.

35 Una especificación ventajosa que describe el comportamiento de atenuación en función de la frecuencia de una fibra óptica, especialmente una fibra POF o HCS, es una función pasabajos gaussiana que se define por la ecuación

$$(2) \quad P(f) = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{f^2}{f_0^2}\right)$$

En una forma de realización especialmente preferida de la invención la medición del primer nivel de señal comprende la determinación de una potencia luminosa media o promediada (AVG). Este valor de medida es sustancialmente independiente de las influencias del ancho de banda y, por tanto, sirve de valor de referencia.

40 La medición del segundo nivel de señal comprende de manera especialmente preferida la determinación de la amplitud de la señal óptica modulada según el procedimiento OMA (Optical Modulated Amplitude - amplitud óptica modulada), ya que la amplitud de la señal óptica modulada es influenciada por el ancho de banda de la fibra óptica.

45 La utilización de los diferentes procedimientos AVG y OMA de medición de la potencia luminosa hace posible una determinación del ancho de banda de la fibra óptica con ayuda de valores de medida que se obtienen a solamente una frecuencia de modulación o tasa de datos.

La primera y la segunda frecuencias de modulación, que son así sustancialmente iguales, están situadas de preferencia aproximadamente en el ancho de banda de la fibra óptica. Ventajosamente, pueden estar situadas también en el dominio del ancho de banda idealmente esperable de la fibra óptica y, por tanto, típicamente por encima del ancho de banda real.

50 Por tanto, esta forma de realización preferida de la presente invención se basa en el conocimiento de que, cuando se conoce el comportamiento teórico del ancho de banda de una conexión LWL o de una fibra óptica y se acogen a

una tasa de datos o frecuencia de modulación fija el valor de pico a pico o valor OMA de la potencia luminosa LW y también la potencia luminosa media (AVG; average), se puede obtener el ancho de banda de 3 dB incluso a solamente una tasa de datos o frecuencia de modulación. Por tanto, el procedimiento según la invención se puede realizar también en línea sin reflujos hacia la comunicación de una conexión óptica de comunicación.

5 Esto radica sustancialmente en el hecho de que la potencia luminosa media es independiente de las influencias del ancho de banda sobre las señales ópticas a través del cable o la fibra óptica, mientras que el valor de pico a pico, es decir, la amplitud de la señal óptica modulada, es muy influenciado por el ancho de banda del cable. Expresado de manera simplificada, la medición de la potencia luminosa promediada AVG tiene la función de una medición de referencia semejante a la medición de la potencia luminosa a la frecuencia de modulación más baja según el  
10 procedimiento ya descrito en la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2.

Ventajosamente, la medición del primero y/o el segundo niveles de señal se efectúa por medio de un transceptor óptico que presenta una interfaz DMI (Diagnostic Monitoring Interface - interfaz de vigilancia diagnóstica) según SFF-8472, ya que éste está concebido ventajosamente para medir la potencia luminosa media (AVG) y la amplitud de la señal óptica modulada (OMA).

15 La interfaz DMI (Diagnostic Monitoring Interface) es una interfaz serie ampliada que hace posible el acceso a parámetros de funcionamiento determinados de un transceptor óptico para fines de diagnóstico. Pertenecen a estos parámetros de funcionamiento, por ejemplo, la temperatura del transceptor, la potencia de salida y especialmente la potencia óptica recibida por el transceptor.

Ventajosamente, puede estar previsto también en el lado del receptor un transceptor óptico con el cual no se pueda obtener directamente la potencia óptica recibida, sino que solamente se puedan detectar valores umbral para una potencia luminosa determinada. Este transceptor óptico puede ser de construcción más sencilla y, por tanto, más barato. La detección de valores umbral para una potencia luminosa determinada es implementada, por ejemplo, en aparatos PSI-MOS de PSM.

20 En la forma de realización basada en la detección de valores umbral la determinación del ancho de banda se efectúa casi de la misma manera que en la forma de realización basada en la medición exacta de la potencia luminosa óptica recibida. Se varía para ello lo más exactamente posible la potencia de emisión óptica de la luz de la primera y la segunda frecuencias de modulación, mientras que en el lado de recepción se vigila la consecución de un valor umbral prefijado de la potencia luminosa óptica recibida. Esto se puede implementar en muchos casos de una manera técnicamente más sencilla que la de realizar una medición exacta de la potencia luminosa. Preferiblemente,  
25 la medición de la potencia luminosa óptica recibida comprende la medición de la potencia luminosa AVG y la potencia luminosa OMA, pudiendo estar previstos uno respectivos valores umbral diferentes para la potencia luminosa AVG y la potencia luminosa OMA.

Para determinar el ancho de banda, a una tasa de datos o frecuencia de modulación prefijada, que corresponde al mismo tiempo a la primera y la segunda frecuencias de modulación, se adapta la potencia luminosa del emisor hasta  
35 que se alcancen los valores umbral predeterminados en el receptor.

La forma de realización descrita, basada en la influenciación de la potencia de emisión, es también más sencilla en la implementación técnica por cuanto que casi siempre existe una correlación lineal bastante exacta entre la potencia de emisión y la corriente del emisor en LEDs y láseres y es técnicamente más sencillo ajustar exactamente corrientes en el intervalo de aproximadamente 1 a 100 mA que medir potencias luminosas en el receptor, ya que estas mediciones se basan típicamente en la evaluación de corrientes de diodos en el rango de  $\mu\text{A}$  o menos.

De manera especialmente preferida, la medición del primero y el segundo niveles de señal, por ejemplo con ayuda de la interfaz DMI de un transceptor, se efectúa para señales acopladas que presentan un modelo continuo de "10" bits, tal como el que está disponible, por ejemplo, con la señal IDLE (LIBRE) de una red, como, por ejemplo,  
45 10Base-FL o 100Base-FX.

El procedimiento según la invención comprende también ventajosamente los pasos de obtener la longitud de la fibra óptica por medio de una medición del tiempo de propagación y determinar el producto de ancho de banda-longitud de la fibra óptica a partir del ancho de banda obtenido y la longitud obtenida de la fibra óptica.

50 En función del producto de ancho de banda-longitud se puede obtener entonces de manera especialmente ventajosa el tipo de fibra óptica por medio de intervalos de valores archivados del producto de ancho de banda-longitud para diferentes tipos de fibras.

La invención prevé también un procedimiento para establecer una conexión de comunicación de datos entre un primero y un segundo terminales que están conectados uno con otro por medio de un trayecto óptico de transmisión de datos dotado de al menos una fibra óptica, cuyo procedimiento prevé ventajosamente una fase de inicialización dentro de la cual se obtiene el ancho de banda de la fibra óptica según el procedimiento anteriormente descrito para  
55 determinar el ancho de banda de una fibra óptica.

5 Ventajosamente, el trayecto óptico de transmisión de datos comprende un primer transceptor óptico en el primer extremo del trayecto y un segundo transceptor óptico en el segundo extremo del trayecto, los cuales están conectados uno con otro a través de una primera y una segunda fibras ópticas para las dos direcciones de transmisión. El procedimiento prevé preferiblemente para esta disposición la obtención del ancho de banda de la primera y la segunda fibras ópticas. La obtención del ancho de banda de la primera y la segunda fibras ópticas puede efectuarse sucesivamente o en paralelo.

10 La obtención del ancho de banda sirve especialmente para el diagnóstico de limitaciones de ancho de banda existentes que tengan influencia sobre la tasa máxima posible de transmisión de datos. Por consiguiente, el procedimiento prevé ventajosamente el paso de adaptar automáticamente la tasa de transmisión de la comunicación de datos en función del ancho de banda obtenido de la al menos una fibra óptica.

15 Dado que se hace posible de manera especialmente ventajosa mediante la presente invención un determinación del ancho de banda sin una conmutación de la tasa de datos, se ha previsto también un procedimiento de comunicación de datos entre un primero y un segundo terminales que están conectados uno con otro por medio de un trayecto óptico de transmisión de datos dotado de al menos una fibra óptica, en cuyo procedimiento se obtiene el ancho de banda de la manera anteriormente descrita, concretamente en una conexión de comunicación existente entre el primero y el segundo abonados.

20 Un componente electrónico para uso en un trayecto óptico de transmisión de datos con al menos una fibra óptica, que está configurado especialmente como un circuito de mando integrado y es adecuado para la realización del procedimiento anteriormente descrito de obtención del ancho de banda de una fibra óptica, comprende según la invención unos medios de cálculo de un valor para el ancho de banda de una fibra óptica en función de un primero y un segundo niveles de señal empleando un algoritmo que se basa en una especificación predeterminada, describiendo la prescripción el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia, y está configurado también para medir la potencia luminosa media (AVG) de una señal óptica y la amplitud de una señal óptica modulada (OMA; Optical Modulated Amplitude).

25 El primero o el segundo nivel de señal es preferiblemente proporcional a una primera o una segunda magnitud de medida de potencia luminosa que se obtiene, respectivamente, mediante un primero o un segundo procedimiento de medida de la potencia luminosa de luz que se acopla con la fibra óptica a una frecuencia de modulación prefijada y es recibida después de circular por la fibra óptica, comprendiendo el primer procedimiento de medida de la potencia luminosa la determinación de la potencia luminosa promediada de la luz recibida y comprendiendo el segundo procedimiento de medida de la potencia luminosa la determinación de la amplitud de la señal óptica modulada recibida.

30 Se describe seguidamente la invención con más detalle ayudándose de formas de realización preferidas y haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Los símbolos de referencia iguales designan partes iguales o semejantes en los dibujos.

35 Muestran:

La figura 1, esquemáticamente, un trayecto óptico de transmisión con dos transceptores ópticos que están conectados uno con otro a través de dos fibras ópticas,

La figura 2, una representación esquemática de una forma de realización preferida de un componente electrónico según la invención,

40 La figura 3, un diagrama esquemático del comportamiento de atenuación de una fibra POF en función de la frecuencia, y

La figura 4, esquemáticamente, la evolución temporal de una señal óptica en un conductor de ondas luminosas (LWL) o en una fibra óptica para ilustrar una forma de realización preferida de la presente invención.

45 La figura 1 muestra un trayecto óptico de transmisión de datos entre un primer terminal 10 y un segundo terminal 20. Los terminales 10 y 20 están equipados, respectivamente, con un primer transceptor óptico 12 y un segundo transceptor óptico 22 que están conectados uno con otro a través de una línea LWL dúplex con una primera fibra óptica 30 y una segunda fibra óptica 40 para las dos respectivas direcciones de datos.

50 En este ejemplo de realización se utilizan fibras POF en calidad de fibras ópticas y se realiza el ensayo de ancho de banda según la invención antes del establecimiento de la conexión como inicialización de las interfaces. Dado que se posibilita de manera especialmente ventajosa con la presente invención una determinación del ancho de banda sin una conmutación de la tasa de datos, el ensayo de ancho de banda según la invención puede realizarse alternativamente también después del establecimiento de la conexión. Asimismo, puede estar previsto ventajosamente repetir el ensayo de ancho de banda según la invención a intervalos de tiempo prefijados.

55 En lo que sigue se describe el desarrollo de principio de la determinación del ancho de banda según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2. En primer lugar, el transceptor 12 envía una señal con una potencia luminosa

predeterminada y con una primera frecuencia que en este ejemplo de realización está típicamente por debajo de 10 MHz, y el transceptor 22 mide la potencia luminosa OMA de la señal recibida. A continuación, el transceptor 12 envía una señal de igual potencia luminosa, pero con una segunda frecuencia que en este ejemplo de realización está típicamente entre 60 y 100 MHz, y el transceptor 22 mide nuevamente la potencia luminosa OMA de la señal recibida. Paralelamente se mide de la misma manera la segunda fibra de la línea LWL dúplex permutando los cometidos de los transceptores 12 y 22. En función de la longitud del cable, el acoplamiento de la luz (acoplamiento NA) con la fibra y eventualmente las deflexiones o daños de la fibra, la potencia luminosa recibida de la segunda señal es más pequeña que la de la primera señal. Cuando esta diferencia para un sistema de Ethernet rápida es mayor que 3 dB, se tiene que partir entonces del supuesto de que existen perturbaciones de transmisión a consecuencia de limitaciones del ancho de banda. En este caso, se puede generar un aviso de alarma correspondiente o se puede adaptar automáticamente la tasa de transmisión de datos.

Como alternativa a la medición exacta de la potencia luminosa recibida se puede variar también, como se ha descrito anteriormente, la potencia de emisión a una primera y una segunda frecuencias hasta que en lado de recepción se detecte un valor umbral prefijado para la potencia luminosa recibida.

Además, se puede obtener la longitud del trayecto óptico de transmisión entre los terminales 10 y 20 mediante una medición del tiempo de propagación, en el caso de Profinet, por ejemplo, mediante la medición del tiempo de transmisión para la sincronización de los relojes. Por tanto, se puede relacionar seguidamente todavía el ancho de banda obtenido con la longitud de cable y se puede evaluar esta relación. Resulta así posible la determinación automática del tipo de fibra, ya que, por ejemplo, una fibra POF presenta un producto de ancho de banda-longitud distinto del de una fibra HCS.

El procedimiento según la invención puede emplearse también para transceptores de Gbits y fibras de vidrio multimodo (50/135  $\mu\text{m}$ , 62,5/125  $\mu\text{m}$ ), ya que también en este caso está limitada en ancho de banda la distancia de transmisión posible entre dos transceptores. Se pueden adaptar allí las frecuencias a las condiciones reinantes en las fibras de vidrio.

La figura 2 muestra una representación esquemática de una forma de realización preferida de un componente electrónico 60 según la invención que está configurado como un chip de diagnóstico separado. El chip de diagnóstico 60 está conectado en la ruta de datos entre un transceptor PHY 50 asignado a la capa física de una red y un transceptor LWL óptico 12. Para la comunicación de datos están previstas en el componente 60 una primera y una segunda interfaces 641 y 642 a través de las cuales la interfaz PECL 124 del transceptor LWL 12 está conectada con la interfaz PECL 54 del transceptor PHY 50. De este modo, en el caso de la comunicación Ethernet normal, el componente 60 configurado como un chip de diagnóstico separado es transparente para las señales de datos Ethernet.

El componente 60 comprende también, especialmente para consultar la potencia luminosa recibida, una primera interfaz serie 662 para conexión a una interfaz DMI 126 del transceptor óptico 12. Además, está prevista una segunda interfaz serie 661 para conexión a una interfaz serie 56 del transceptor PHY 50.

En este ejemplo de realización las interfaces 126 y 662 emplean el protocolo de transmisión I<sup>2</sup>C y las interfaces 56 y 661 emplean el protocolo de transmisión SPI. Para la conversión entre estos dos protocolos de transmisión está integrado en el componente 60 un convertidor correspondiente, no representado.

La invención puede utilizarse ventajosamente en todas las interfaces ópticas para aparatos de Ethernet rápida con interfaces de fibras POF y HCS, así como para interfaces de fibra de vidrio, que son de interés especialmente para sistemas con tasas de transmisión de datos de 10 Gbits/s.

Especialmente en interfaces Profinet, el procedimiento ofrece ventajas adicionales frente a sistemas de diagnóstico convencionales, ya que no se basa directamente en el transceptor LWL empleado, sino que es un procedimiento digital. La única condición previa es que el transceptor LWL utilizado posea una interfaz DMI según SFF-8472 y mida la porción de CA de la potencia luminosa según el procedimiento OMA (Optical Modulated Amplitude) allí descrito y la potencia luminosa promediada según el procedimiento AVG allí descrito. Para calcular el ancho de banda a partir de los valores obtenidos por medio de un transceptor que domina los dos procedimientos diferentes OMA y AVG de medida de la potencia luminosa, se utiliza ventajosamente una unidad de evaluación que está configurada, por ejemplo, como un procesador de un aparato Ethernet.

El procedimiento según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2 se basa en principio en realizar, por ejemplo con ayuda de una interfaz DMI de un transceptor óptico, dos mediciones de atenuación a dos frecuencias diferentes. Las señales de frecuencia diferente se pueden representar de una manera especialmente sencilla por medio de un modelo continuo de "10" bits con una frecuencia correspondiente. Se puede utilizar para ello de manera especialmente ventajosa la señal IDLE (LIBRE) de una red.

En lo que sigue se describe con referencia a la figura 3 un ejemplo concreto de la obtención del ancho de banda según la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2. Las señales de unas frecuencias primera y segunda se forman aquí por medio de una señal IDLE según 10Base-FL para la primera frecuencia y por medio de una señal IDLE según 100Base-FX para la segunda frecuencia. La señal IDLE según 10Base-FL presenta una frecuencia de

0,5 MHz que resulta de señales "luz conectada" y "luz desconectada" cambiantes de 1 μs de duración cada una. La señal IDLE según 100Base-FX presenta una frecuencia de 62,5 MHz que se deriva de la tasa de datos de 100 Mbits/s, la codificación 4B/5B y un cambio en el código NRZI por cada tiempo de bit en la señal IDLE.

5 La primera medición se efectúa de manera correspondiente a una frecuencia de 0,5 MHz que está ampliamente por debajo del ancho de banda 84 de aproximadamente 90 MHz de la fibra POF empleada en este ejemplo de realización. A este fin, se excita el emisor del primer transceptor con esta frecuencia y se obtiene, a través de la interfaz DMI del segundo transceptor, la potencia luminosa promediada que llega al receptor de dicho segundo transceptor. A esta frecuencia, no tiene lugar ninguna atenuación dependiente de la frecuencia y la potencia luminosa recibida tiene el nivel designado con el símbolo de referencia 72 en la figura 3.

10 A continuación, se realiza una segunda medición con la frecuencia de 62,5 MHz, provista del símbolo de referencia 82 en la figura 3, la cual está dentro del orden de magnitud del ancho de banda 84 de 90 MHz de la fibra a medir, en la que la potencia luminosa recibida 76 ha caído a la mitad en comparación con la frecuencia de cero.

15 Debido a la característica pasabajos de la fibra, esta segunda potencia luminosa obtenida 74 es más pequeña que la primera 72. Partiendo de la característica pasabajos conocida de la fibra LWL empleada se pueden deducir ahora según la invención el ancho de banda de la conexión y también, a través de una medición automática de la longitud del trayecto, el tipo de fibra.

A este fin, como especificación que describe el comportamiento de atenuación de la fibra en función de la frecuencia se emplea una función pasabajos gaussiana correspondiente a la ecuación

$$(2) \quad P(f) = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{f^2}{f_0^2}\right)$$

20 En este ejemplo de realización se mide como nivel de señal eléctrica la potencia luminosa recibida a través de la interfaz DMI y resultan los valores de medida siguientes:

$$\begin{aligned} U(0,5 \text{ MHz}) &= 452 \text{ mV} = U_0 \\ U(62,5 \text{ MHz}) &= 324 \text{ mV} \\ \Rightarrow \frac{U}{U_0} &= 0,72 \end{aligned}$$

Dado que el nivel de señal obtenido por el procedimiento OMA y suministrado por la interfaz DMI es proporcional a la potencia luminosa recibida, resulta de la ecuación (2) anterior

$$(3) \quad U(f) = U_0 \cdot \exp\left(-\frac{f^2}{f_0^2}\right); \quad \text{con } U_0 = U(0,5 \text{ MHz})$$

25

$$(4) \quad \Rightarrow f_0 = \sqrt{-\frac{(62,5\text{MHz})^2}{\ln\left(\frac{U}{U_0}\right)}} = 109,05\text{MHz}$$

A partir de esto, se puede calcular ahora el ancho de banda de la fibra óptica como

$$f_{3\text{dB}} = \sqrt{-\ln(0,5)} \cdot f_0 = 90,8 \text{ MHz}$$

30 De manera análoga, se puede calcular el ancho de banda de la fibra óptica cuando se varía la potencia de emisión hasta que la potencia óptica recibida alcance un valor umbral prefijado, siendo igual el valor umbral para ambas frecuencias.

Resulta para esta variante

$$(5) \quad f_0 = \sqrt{\frac{(f_2)^2}{\ln\left(\frac{P_{0,f_1}}{P_{0,f_2}}\right)}} = \sqrt{\frac{(62,5\text{MHz})^2}{\ln\left(\frac{P_{0,0,5\text{MHz}}}{P_{0,62,5\text{MHz}}}\right)}}$$

en donde

$P_{0,f_1}$ : Potencia de emisión óptica para alcanzar el valor umbral a la primera frecuencia y  
 $P_{0,f_2}$ : Potencia de emisión óptica para alcanzar el valor umbral a la segunda frecuencia.

- 5 En caso de una correlación lineal entre la corriente de emisión I del LED empleado para la emisión o del láser empleado para la emisión y la potencia luminosa acoplada, resulta

$$(6) \quad f_0 = \sqrt{\frac{(f_2)^2}{\ln\left(\frac{I_{0,f_1}}{I_{0,f_2}}\right)}}$$

en donde

$I_{0,f_1}$ : Corriente del emisor para alcanzar el valor umbral a la primera frecuencia y  
 $I_{0,f_2}$ : Corriente del emisor para alcanzar el valor umbral a la segunda frecuencia.

- 10  
 15 En lo que sigue se describe con referencia a la figura 4 el modo en que, según una forma de realización especialmente preferida de la presente invención, se puede calcular el ancho de banda de una conexión LWL con un comportamiento físico conocido de la fibra LWL empleada a partir de la potencia luminosa media (AVG) y la potencia luminosa de pico a pico, es decir, la amplitud de la señal modulada (OMA), estando previstas en este ejemplo de realización fibras polímeras en calidad de fibras LWL o fibras ópticas. Los términos cable y fibra se emplean de manera sustancialmente sinónima en lo que sigue y designan en general una fibra óptica.

- 20 En la figura 4 se representa la evolución temporal de una señal óptica en un conductor de ondas luminosas (LWL), habiéndose registrado la potencia luminosa  $P_{opt}$  en función del tiempo t. La señal presenta una alta proporción de CC con una pequeña amplitud de señal modulada OMA 92, obteniéndose el valor para la amplitud de señal modulada OMA 92 a partir de la diferencia de la potencia luminosa máxima  $P_{max}$  y la potencia luminosa mínima  $P_{min}$ . Tales relaciones son típicas en el dominio de la limitación del ancho de banda de un trayecto óptico de transmisión.

Es conocido para una fibra polímera que la fibra se comporta como un pasabajos gaussiano. Por tanto, se puede describir la amplitud de señal 92 por medio de la relación siguiente:

$$(7) \quad OMA = A_0(l) \cdot \exp\left(-\frac{f^2}{f_0^2}\right) = A(l, f)$$

$A_0(l)$  es la amplitud original de la señal óptica al principio de la fibra, la cual se reduce todavía, después de una longitud de fibra l, en una medida igual a la atenuación normal del cable. Por tanto, resulta

$$A_0(l) = A_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot l).$$

$A_0$  es aquí la amplitud realmente acoplada y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción de la fibra.

- 30 La potencia luminosa media AVG 94 resulta ser como sigue según la figura 4:

$$AVG = P_{min}(l, f) + \frac{1}{2} \cdot A(l, f)$$

- 35 En este caso,  $P_{min}(l, f)$  es la potencia luminosa mínima en función de la longitud l del cable y de la frecuencia de transmisión empleada f. Este valor depende de la atenuación  $\alpha$  del cable en toda la longitud del cable y depende también del comportamiento del ancho de banda de la fibra empleada en toda la frecuencia f y en toda la longitud l del cable.

Sin embargo, el valor medio AVG 94 de la potencia luminosa depende ahora solamente de la atenuación del cable, puesto que la influencia del ancho de banda no conduce a una absorción de energía, sino únicamente a una redistribución de la energía óptica de la porción luminosa modulada (porción CA) a la porción luminosa continua (porción CC). Por tanto, esta consideración está justificada por el principio de la conservación de la energía de la potencia luminosa óptica.

5

Por tanto, esto significa matemáticamente lo siguiente:

$$(8) \quad \text{AVG} = P_{\text{min},0}(l) + \frac{1}{2} \cdot A_0(l)$$

Las ecuaciones (7) y (8) describen ahora un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, a saber, los valores  $A_0(l)$  y la frecuencia  $f_0$  a obtener, que describe el comportamiento del ancho de banda de la fibra. Los valores AVG 94 y OMA 92 resultan de la medición por el transceptor LWL empleado y  $P_{\text{min},0}(l)$  es conocida por el emisor empleado en el transceptor. Ventajosamente, el emisor empleado en el transceptor es tan rápido que la luz que se acopla al principio con la fibra empleada sale realmente por completo dentro de un tiempo de bit. En este caso,  $P_{\text{min},0} = 0$  y, por tanto, también  $P_{\text{min},0}(l) = 0$ .  $f$  es aquí la frecuencia a la que se realizan las mediciones. Para un sistema de Ethernet rápida con una tasa de símbolos de 125 MBd esta frecuencia es típicamente de 62,5 MHz.

10

15

Si se insertan ahora las ecuaciones (7) y (8) una dentro de otra y se transpone todo según la frecuencia  $f_0$  a establecer, se obtiene entonces:

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{\ln\left(2 \cdot \frac{\text{AVG} - P_{\text{min},0}(l)}{\text{OMA}}\right)}}$$

o para el caso de que  $P_{\text{min},0}(l) \approx 0$

$$f_0 = \frac{f}{\sqrt{\ln\left(2 \cdot \frac{\text{AVG}}{\text{OMA}}\right)}}$$

20

Usualmente, se indica como ancho de banda de una fibra no la frecuencia  $f_0$ , sino la frecuencia a la que se ha reducido la amplitud en 3 dB por efecto de la influencia del ancho de banda. Esta frecuencia se denomina  $f_{3\text{dB}}$  en lo que sigue. La correlación puede calcularse de manera sencilla a partir del pasabajos gaussiano y proporciona:

$$f_{3\text{dB}} = f_0 \cdot \sqrt{\ln(2)}$$

25

Se pone así de manifiesto que el ancho de banda de una conexión LWL en línea durante el funcionamiento de comunicación en curso, por ejemplo en aplicaciones de Ethernet rápida con fibras de polímero, se puede efectuar mediante una sencilla medición de la potencia luminosa media AVG y la amplitud de señal modulada OMA al final de un trayecto de cable. En este caso, ya no se tiene que conmutar entre al menos dos frecuencias diferentes, como se había propuesto aún en la solicitud de patente alemana 10 2005 016 522.2. Por tanto, este procedimiento representa una vez más una neta simplificación de la medición del ancho de banda.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para determinar el ancho de banda de al menos una fibra óptica, que comprende los pasos siguientes:
  - acoplar luz de una frecuencia de modulación prefijada y una potencia óptica prefijada con la fibra óptica,
  - medir un primer nivel de señal en función de la potencia óptica de la luz conducida a través de la fibra óptica,
  - 5 - medir un segundo nivel de señal en función de la potencia óptica de la luz conducida a través de la fibra óptica, y
  - obtener el ancho de banda de la fibra óptica en función de la potencia óptica prefijada y/o de los niveles de señal primero y segundo medidos empleando una especificación predeterminada que describe el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia,
- 10 presentando la luz acoplada sustancialmente la misma frecuencia de modulación al medir el primer nivel de señal y al medir el segundo nivel de señal.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el acoplamiento de luz con la fibra óptica comprende
  - el acoplamiento de una primera luz de una primera potencia óptica con la fibra óptica y
  - el acoplamiento de una segunda luz de una segunda potencia óptica con la fibra óptica, presentando la
  - 15 frecuencia de modulación de la primera luz y la frecuencia de modulación de la segunda luz sustancialmente el mismo valor, y
  - efectuándose la medición del primer nivel de señal en función de la potencia óptica de la primera luz conducida a través de la fibra óptica y
  - efectuándose la medición de segundo nivel de señal en función de la potencia óptica de la segunda luz
  - 20 conducida a través de la fibra óptica.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la primera potencia óptica y la segunda potencia óptica presentan valores predeterminados.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que la primera potencia óptica y la segunda potencia óptica son sustancialmente iguales.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que
  - se varía la primera potencia óptica hasta que el primer nivel de señal medido alcance un primer valor umbral predeterminado y
  - se varía la segunda potencia óptica hasta que el segundo nivel de señal medido alcance un segundo valor umbral predeterminado.
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que el primero y el segundo valores umbral son sustancialmente iguales.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la especificación predeterminada que describe el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia es una función pasabajos gaussiana.
- 35 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fibra óptica comprende un polímero y/o un vidrio, estando configurada especialmente como una fibra POF o HCS.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia de modulación está situada aproximadamente en el ancho de banda de la fibra óptica.
- 40 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia de modulación de la primera luz y la frecuencia de modulación de la segunda luz están situadas por encima del ancho de banda de la fibra óptica.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición del primer nivel de señal comprende la determinación de una potencia luminosa promediada (AVG).
- 45 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición del segundo nivel de señal comprende la medición de la amplitud de la señal óptica modulada según el procedimiento OMA (Optical Modulated Amplitude - amplitud óptica modulada).
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición de los niveles de señal primero y/o segundo se efectúa por medio de un transceptor óptico que presenta una interfaz DMI (Diagnostic Monitoring Interface - interfaz de vigilancia diagnóstica) según SFF-8472.

14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la luz conducida por la fibra óptica comprende una señal de datos que presenta alternativamente los valores de bit 1 y 0.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que la señal de datos es una señal IDLE (LIBRE) según el estándar de la red, especialmente según 10Base-FL o 100Base-FX.
- 5 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende también los pasos de
- obtener la longitud de la fibra óptica por medio de una medición del tiempo de propagación,
  - determinar el producto de ancho de banda-longitud de la fibra óptica a partir del ancho de banda obtenido y la longitud obtenida de la fibra óptica.
17. Procedimiento según la reivindicación 16, que comprende también
- 10 - determinar el tipo de fibra óptica en función del producto de ancho de banda-longitud por medio de intervalos de valores archivados del producto de ancho de banda-longitud para al menos dos tipos de fibra diferentes.
18. Procedimiento para establecer una conexión de comunicación de datos entre un primero y un segundo terminales que están conectados uno con otro por medio de un trayecto óptico de transmisión de datos dotado de al menos una fibra óptica, cuyo procedimiento comprende la inicialización de la conexión, comprendiendo la inicialización la obtención del ancho de banda de la al menos una fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17.
- 15
19. Procedimiento según la reivindicación 18, en el que el trayecto óptico de transmisión de datos comprende un primer transceptor óptico en el primer extremo del trayecto y un segundo transceptor óptico en el segundo extremo del trayecto, los cuales están conectados a través de una primera y una segunda fibras ópticas para las dos direcciones de transmisión, y en el que se obtiene el ancho de banda de la primera y la segunda fibras ópticas.
- 20
20. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que se efectúa sucesivamente la obtención del ancho de banda de la primera y la segunda fibras ópticas.
21. Procedimiento según la reivindicación 19, en el que se efectúa sustancialmente al mismo tiempo la obtención del ancho de banda de la primera y la segunda fibras ópticas.
- 25
22. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, en el que la inicialización de la conexión comprende el paso de adaptar automáticamente la tasa de transmisión de la comunicación de datos en función del ancho de banda obtenido de la al menos una fibra óptica.
23. Procedimiento de comunicación de datos entre un primero y un segundo terminales que están conectados uno con otro por medio de un trayecto óptico de transmisión de datos dotado de al menos una fibra óptica, cuyo procedimiento comprende la obtención del ancho de banda de la al menos una fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 en una conexión de comunicación existente entre el primero y el segundo abonados.
- 30
24. Procedimiento según la reivindicación 23, en el que se repite a intervalos de tiempo prefijados la obtención del ancho de banda de la al menos una fibra óptica.
25. Componente electrónico para uso en un trayecto óptico de transmisión de datos que presenta al menos una fibra óptica, especialmente configurado como un circuito de mando integrado, concebido para la realización de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuyo componente comprende unos medios de cálculo de un valor para el ancho de banda de una fibra óptica en función de un primero y un segundo niveles de señal empleando un algoritmo que se basa en una especificación predeterminada, describiendo la especificación el comportamiento de atenuación de la fibra óptica en función de la frecuencia, estando concebido el componente para medir la potencia luminosa media (AVG) de una señal óptica y la amplitud de una señal óptica modulada (OMA; Optical Modulated Amplitude - amplitud óptica modulada).
- 35
- 40

Fig. 1

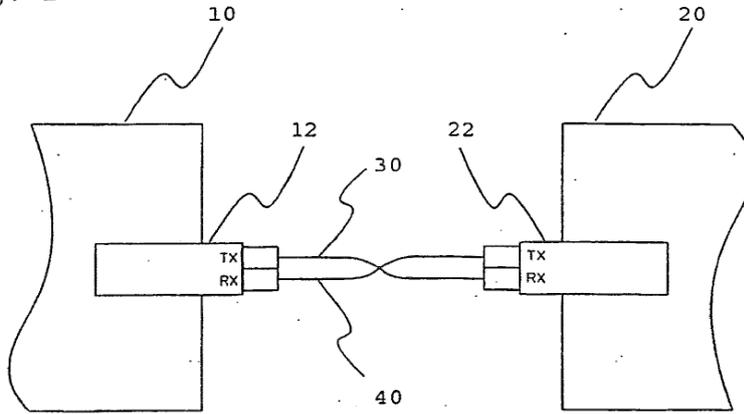


Fig. 2

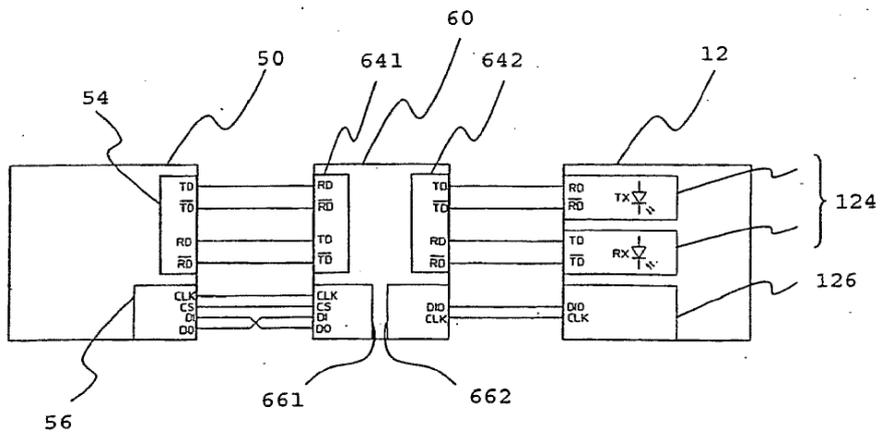


Fig. 3

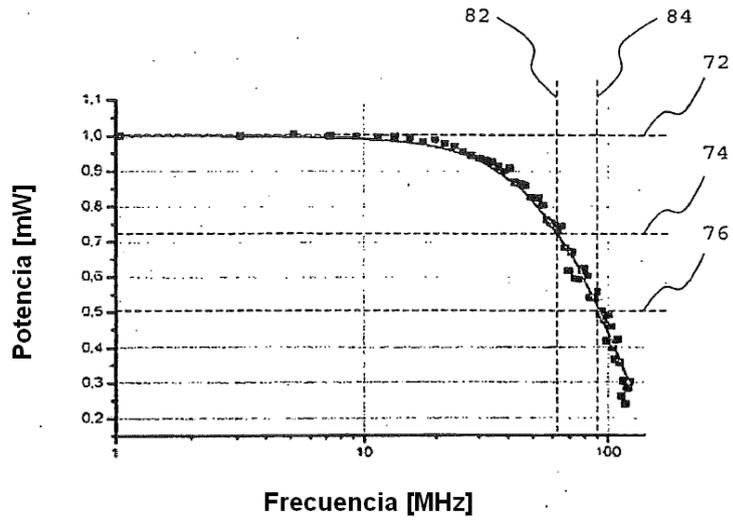


Fig. 4

