



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 290 323**

51 Int. Cl.:
H04B 10/155 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02754641 .5**

86 Fecha de presentación : **07.05.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1391064**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **25.02.2004**

54 Título: **Control de longitud de onda usando modulación de vibración y retroalimentación.**

30 Prioridad: **25.05.2001 US 865256**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.02.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.02.2008

73 Titular/es:
**International Business Machines Corporation
New Orchard Road
Armonk, New York 10504, US**

72 Inventor/es: **Decusatis, Casimer, M. y
Jacobowitz, Lawrence**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 290 323 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

Control de longitud de onda usando modulación de vibración y retroalimentación.

5 Campo del invento

El presente invento se refiere generalmente a sistemas que generan y procesan señales electromagnéticas en los espectros de frecuencia de radio, de microondas y de frecuencia óptica, y particularmente a un nuevo circuito de servo control para tales sistemas que emplean tales señales electromagnéticas que enseñan el principio de bucles de longitud de onda bloqueada para optimizar la energía de señal y el ancho de banda de transmisión a través de tales sistemas.

Descripción de la técnica anterior

El Multiplexado de División de Longitud de Onda (WDM) y el Multiplexado de División de Longitud de Onda Densa (DWDM) son tecnologías de aplicación de onda de luz que permiten que múltiples longitudes de onda (colores de luz) sean puestas en paralelo en la misma fibra óptica con cada longitud de onda potencialmente asignada a sus propios diagnósticos de datos. Actualmente, los productos WDM y DWDM combinan muchos enlaces de datos diferentes sobre un único par de fibras ópticas por remodelación de los datos sobre un conjunto de láseres, que son sintonizados a una longitud de onda muy específica (dentro de una tolerancia de 0,8 nm, siguiendo los estándares de la industria). En productos actuales, hasta 32 longitudes de onda de luz pueden ser combinadas sobre un único enlace de fibra con más longitudes de onda consideradas para futuras aplicaciones. Las longitudes de onda son combinadas haciendo pasar luz a través de una serie de filtros de diafonía de película delgada, que consisten de revestimientos multicapa sobre un sustrato de cristal, trenzado con fibras ópticas. Los filtros combinan múltiples longitudes de onda en un único trayecto de fibra, y también las separan de nuevo en el extremo lejano del enlace multiplexado. Los filtros pueden ser usados también en puntos intermedios para añadir o reducir los canales de longitud de onda desde la red óptica.

Idealmente, un láser WDM produciría un espectro de ancho de línea muy estrecho que consiste de una única longitud de onda, y un filtro ideal tendría una característica de paso de banda cuadrado de aproximadamente 0,4 nm de anchura, por ejemplo, en el dominio de frecuencia. En la práctica, sin embargo, cada láser tiene una anchura espectral finita, que es una dispersión Gaussiana de aproximadamente 1 a 3 nm de ancho, por ejemplo, y todos los filtros reales tienen una función de paso de banda Gaussiano. Es por ello deseable alinear la longitud de onda del centro del láser con el centro del paso de banda de filtro para facilitar la reducción de la diafonía entre longitudes de onda, ya que la separación entre longitudes de onda WDM es bastante estrecha. En sistemas comerciales usados hoy en día, sin embargo, es muy difícil realizar esta alineación - los láseres y los filtros son hechos por diferentes compañías, y es tan difícil como caro crear componentes ópticos sintonizados con precisión. Como resultado, los sistemas en uso hoy en día están lejos de ser óptimos; las pérdidas ópticas en un filtro WDM pueden ser tan altas como 4 db debido a la desalineación con la longitud de onda del centro del láser (la energía óptica del láser es perdida si no puede pasar a través del filtro). Esto tiene un serio impacto sobre los presupuestos de enlace óptico y distancia soportadas, especialmente ya que muchos filtros deben ser colocados en cascada juntos en series (hasta 8 filtros en diseños actuales, posiblemente más en el futuro). Si cada filtro estuviera funcionando en su caso de peor condición (peor pérdida), no sería posible construir un sistema práctico. Además, las longitudes de onda del centro del láser se desplazan con la tensión, temperatura, y envejecen a lo largo de su vida, y las características del filtro pueden también cambiar con la temperatura y la edad. La longitud de onda del centro del láser y el ancho de banda del filtro pueden también depender de la polarización. Este problema coloca un límite fundamental en el diseño de futuros sistemas de red WDM.

Un segundo problema, relacionado resulta del hecho de que la modulación actual directa de datos sobre un diodo láser semiconductor provoca dos efectos, que pueden inducir desplazamientos rápidos en la longitud de onda central del láser inmediatamente después del comienzo del impulso del láser. Hay (1) parásitos de frecuencia y (2) oscilaciones de relajación. Ambos efectos son más pronunciados a energías de salida y tensiones de excitación del láser más elevadas, o a mayores tasas de bits de modulación. No sólo pueden estos efectos provocar que las longitudes de onda del centro del láser cambien rápida e impredeciblemente, también causan un ensanchamiento del ancho de línea del láser, que puede ser una fuente de pérdidas cuando interactúa con filtros ópticos o puede provocar diafonía óptica. Evitar estos dos efectos requiere o bien láseres caros, no estándares, moduladores externos (que tienen más pérdidas y añaden coste), o excitar el láser a menos de su capacidad máxima de energía (lo que reduce el presupuesto del enlace y la distancia). Reducir la tasa de modulación de datos puede también ayudar, pero no es a menudo una opción en enlaces de láser de múltiples gigabits.

La patente norteamericana nº 5.068.864 ilustra una solución de la técnica anterior en que las modulaciones de frecuencia son estabilizadas en un rayo láser que usa una etapa de estabilización de frecuencia que incluye un modulador para hacer vibrar la frecuencia del rayo láser, y la celda de resonancia de absorción que tiene una resonancia en un ancho de línea predeterminado al que es aplicado el rayo en que se ha hecho vibrar la frecuencia. Un desmodulador sincrónico sincronizado a la acción vibratoria produce una señal de corrección que representa las fluctuaciones de frecuencia con respecto a una frecuencia de referencia dentro del ancho de línea por desmodulación de la salida de la celda de absorción. La señal de corrección es usada en una configuración que corrige las fluctuaciones de frecuencia y produce como una salida de la etapa un rayo estabilizado en frecuencia, sin acción vibratoria.

Sería así muy deseable proporcionar un nuevo método para proporcionar alineación óptima, estable entre una longitud de onda central de láser y el centro de un filtro de paso de banda Gaussiano con el fin de optimizar la transmisión de energía a través de tales sistemas de fibra óptica y reducir la interferencia de diafonía óptica en redes ópticas.

5

Resumen del invento

Es un objeto del presente invento proporcionar un circuito de “bucle de longitud de onda bloqueada” de servo control que permite la alineación mutua en tiempo real de una señal electromagnética que tiene una función de espectro máxima o de pico que incluye una longitud de onda central y un dispositivo selector de longitud de onda que pone en práctica una función de paso de banda máximo que incluye una longitud de onda central, en un sistema que emplea ondas electromagnéticas.

10

Es otro objeto del presente invento proporcionar un sistema de servo control y metodología para sistemas WDM y DWDM y aplicaciones que están diseñadas para optimizar energía a través de sistemas de láser/ópticos de múltiples gigabits.

15

Es aún otro objeto del presente invento proporcionar un bucle de longitud de onda bloqueada para un sistema óptico que permite la alineación y el seguimiento en tiempo real de cualquier dispositivo espectral que selecciona una longitud de onda, tal como una rejilla de Bragg, en fibras ópticas y guías de onda, etc., para usar en sistemas WDM.

20

Es aún otro objeto del presente invento proporcionar un bucle de servo/realimentación para un sistema óptico, denominado como un “bucle de longitud de onda bloqueada”, que permite la alineación en tiempo real de atenuadores ópticos variables desplazando un filtro óptico a partir de una transmisión conocida en fibras ópticas y guías de onda, etc.

25

Es aún otro objeto del presente invento proporcionar un bucle de servo/realimentación para un sistema óptico, denominado como un “bucle de longitud de onda bloqueada”, que permite la alineación y el seguimiento en tiempo real de longitudes de onda centrales del láser y longitudes de onda centrales de paso de banda de filtro en sistemas de láser/ópticos de múltiples gigabits de tal modo que la pérdida óptica de una combinación de filtro de WDM/láser es muy reducida, permitiendo por ello presupuestos de enlace significativamente mayores y distancias soportadas mayores.

30

Es aún otro objeto del presente invento proporcionar un bucle de servo/realimentación para un sistema óptico, denominado como un “bucle de longitud de onda bloqueada”, que permite la alineación y el seguimiento en tiempo real de las longitudes de onda del centro del láser y las longitudes de onda del centro de paso de banda del filtro en sistemas de láser/ópticos de múltiples gigabits de tal modo que pueden ser usados láseres y filtros de menor coste que proporcionan una reducción de coste significativa en el equipamiento de WDM.

35

Así, de acuerdo con los principios del invento, se ha creado un circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada y la metodología que permite la alineación mutua en tiempo real de una señal electromagnética que tiene una función de espectro máximo o de pico que incluye una longitud de onda central y un dispositivo selector de longitud de onda que pone en práctica una función de paso de banda máximo que incluye una longitud de onda central, en un sistema que emplea ondas electromagnéticas. El sistema y método emplean las operaciones de: a) aplicar una señal de modulación de acción vibratoria a una frecuencia de modulación de acción vibratoria a una señal electromagnética que funciona a una longitud de onda específica, e introducir la señal electromagnética modulada de acción vibratoria al dispositivo selector de longitud de onda que tiene una respuesta de frecuencia de pico a una longitud de onda deseada; b) convertir una parte de la señal electromagnética modulada de acción vibratoria en una señal de realimentación eléctrica; c) comparar continuamente la señal de realimentación con la señal de modulación de acción vibratoria y generar una señal de error que representa una diferencia entre una característica de frecuencia de la señal de realimentación y una frecuencia de modulación de acción vibratoria; y d) ajustar la función de espectro de pico de la señal electromagnética de acuerdo con la señal de error, en que la longitud de onda central de la señal electromagnética y la longitud de onda central del dispositivo selector de longitud de onda resultan alineadas cuando la característica de frecuencia de la señal de realimentación es dos veces la frecuencia de modulación de acción vibratoria.

55

Los sistemas que emplean el bucle de longitud de onda bloqueada pueden ser sistemas de transporte o control de información que emplean ondas electromagnéticas que incluyen aquellas ondas en partes de frecuencia de radio, frecuencia de microonda y frecuencia óptica de un espectro de frecuencia electromagnética. Así, las señales electromagnéticas pueden comprender señales de frecuencia de radio, señales de microonda, y señales ópticas.

60

Cuando se ha empleado en redes de láser/ópticas, el sistema y método del presente invento pueden ser usados para sintonizar los dispositivos de diodo láser, y/o compensar cualquier tipo de elemento selector de longitud de onda en la red, incluyendo filtros selectores de longitud de onda, atenuadores, y conmutadores, en rejillas de Bragg de fibra, resonadores de anillo en amplificadores ópticos, moduladores externos tales como filtros sintonizables acústico-ópticos, o una disposición de rejillas de guía de onda. Esto se aplica a muchos otros componentes ópticos en la red también (por ejemplo, amplificadores ópticos que pueden actuar como filtros cuando funcionan en el régimen no lineal). Además, el sistema y el método del invento pueden ser usados para implantar dispositivos menos caros para todas las áreas de aplicación anteriores.

65

Alternativamente, el sistema y método del invento pueden ser puestos en práctica para sintonizar tales dispositivos para aplicaciones de red óptica y de WDM, en tiempo real, durante la fabricación, por ejemplo, sintonizando todos los láseres a una longitud de onda específica. Esto incrementaría significativamente mucho los rendimientos de dispositivos láser que de lo contrario pueden ser descartados cuando no satisfacen especificaciones de longitud de onda como un resultado de variaciones del proceso de fabricación, por ejemplo.

Breve descripción de los dibujos

Otras características, aspectos y ventajas del aparato y métodos del presente invento resultarán mejor comprendidos con respecto a la descripción siguiente, reivindicaciones adjuntas, y los dibujos adjuntos en los que:

Las figs. 1(a) y 1(b) representan la arquitectura del sistema subyacente para emplear la técnica del bucle de longitud de onda bloqueada de acuerdo con los principios del presente invento;

Las figs. 2(a)-2(c) son diagramas de forma de onda de señal que representan la relación entre la energía óptica del láser como una función de la longitud de onda para tres casos de señales de láser óptico;

Las figs. 3(a)-3(c) son diagramas de forma de onda de señal que representan la modulación de acción vibratoria de tensión de alimentación del diodo láser (una senoide) para cada uno de los tres diagramas de forma de onda de las figs. 2(a)-2(c);

Las figs. 4(a)-4(c) son diagramas de forma de onda de señal que representan la salida de señal de error de realimentación resultante del diodo PIN para cada uno de los tres diagramas de forma de onda de las figs. 2(a)-2(c);

Las figs. 5(a)-5(c) son diagramas de forma de onda de señal que representan la señal de producto cruzado resultante de la mezcla del error de realimentación amplificado con la senoide de acción vibratoria original;

Las figs. 6(a)-6(c) son diagramas de forma de onda de señal que representan las señales de tensión de carga del láser de salida rectificadas que son realimentadas para ajustar la corriente del láser y la frecuencia central;

La fig. 7 es un diagrama de circuito generalizado que representa cómo es implantada la acción vibratoria en el sistema WLL del presente invento;

La fig. 8 es un diagrama de bloques general que representa la arquitectura del sistema subyacente para emplear la técnica del bucle de longitud de onda bloqueada en un sistema óptico que emplea dos filtros pasabanda de acuerdo con el presente invento;

La fig. 9 es un diagrama de forma de onda de señal que representa la relación entre la energía óptica del láser como una función de longitud de onda para el caso de alineación de una señal láser a través del sistema que incluye dos filtros pasabanda en serie, como se ha representado en la fig. 8;

La fig. 10 es un diagrama de bloques general que representa la arquitectura del sistema subyacente para sintonizar dispositivos selectores de frecuencia sintonizables tales como un filtro pasabanda de acuerdo con los principios del presente invento;

La fig. 11 es un diagrama de bloques general que representa la arquitectura del sistema subyacente del presente invento que emplea un termopar o elemento transductor de temperatura similar para ajustar la longitud de onda del láser variando la temperatura del elemento de diodo láser de acuerdo con la señal de error.

La fig. 12 es un diagrama de bloque genérico que representa la arquitectura del sistema subyacente para implantar el principio del bucle de longitud de onda bloqueada.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

El presente invento es un nuevo sistema de servo control implantado para sistemas ópticos que incluyen fuentes de luz, tales como láseres, y dispositivos selectores de frecuencia, tales como filtros pasabanda. El sistema de servo control, denominado aquí como el “bucle de longitud de onda bloqueada” o “bucle de lambda bloqueada” (ya que el símbolo lambda es corrientemente usado para indicar longitud de onda), pone en práctica una modulación de acción vibratoria para ajustar continuamente una fuente de señal electromagnética caracterizada como que tiene un espectro de frecuencia máximo o de pico o una longitud de onda central máxima o de pico, por ejemplo, luz de láser, así como para seguir el centro de un dispositivo selector de frecuencia, por ejemplo un filtro pasabanda. De esta manera, la energía óptica de la señal es transmitida y se hace un uso óptimo del ancho de banda de transmisión del sistema.

El principio de funcionamiento básico del bucle de longitud de onda bloqueada (WLL) es ahora descrito con referencia a la fig. 1(a), que representa un ejemplo de sistema óptico 10 que incluye una fuente de luz tal como el diodo láser 12 excitado tanto con una tensión de carga 15 desde un circuito 14 de carga de tensión, como con datos modulados 18 desde una fuente de datos (no mostrada). El diodo láser genera una señal 20 óptica (luz de láser) que es recibida por un filtro pasabanda 25, o cualquier dispositivo selector de frecuencia que incluye pero no está limitado a:

filtros de interferencia óptica de película delgada, filtros acústico-ópticos, filtros electro-ópticos, rejillas de difracción, prismas, rejillas de Bragg de fibra, interferómetros ópticos integrados, filtros de electroabsorción, y cristales líquidos. El propio diodo láser puede comprender un Fabry Perot estándar o cualquier otro tipo (por ejemplo, Emisor Superficial de Cavity Vertical (VCSEL)), diodos emisores de luz, o, puede comprender un diodo láser semiconductor de Realimentación Distribuida (DFB) tal como el usado comúnmente para multiplexar longitud de onda. Preferiblemente, el diodo láser emite luz en el intervalo de longitud de onda de 850 nm a 1550 nm. Como se ha mencionado, el filtro pasabanda puede comprender un filtro de interferencia de película delgada que comprende múltiples capas de índices de refracción alternativos sobre un substrato transparente, por ejemplo, vidrio. Como se ha mostrado además en la fig. 1(a), de acuerdo con el invento, hay un circuito de modulación de acción vibratoria u oscilador 22 añadido para generar una señal 27 de modulación de acción vibratoria sinusoidal que modula la tensión de carga del láser. La señal de acción vibratoria sinusoidal puede ser producida electrónicamente, por ejemplo, variando la corriente para un láser, o mecánicamente, variando el espejo del sistema micro-electromecánico (MEMS) para variar la longitud de onda. La frecuencia de modulación de acción vibratoria es del orden de unos pocos Kilohercios (Khz) pero puede variar al intervalo de Megahercios. Preferiblemente, la frecuencia de modulación de acción vibratoria es mucho menor que la tasa de datos que es típicamente del orden de 1-10 GHz. La modulación de la corriente 15 de carga del diodo láser provoca de esta manera una acción vibratoria correspondiente en la longitud de onda central del láser. Los datos modulados son impuestos a continuación en el láser, y la salida óptica pasa a través del filtro pasabanda 25. Preferiblemente el filtro 25 está diseñado para extraer una pequeña cantidad de luz 29, por ejemplo, que es incidente sobre un dispositivo receptor fotodetector, por ejemplo, el diodo P-I-N 30, y convertida a una señal 32 de realimentación eléctrica. La cantidad de luz que puede ser extraída puede oscilar entre el uno por ciento (1%) al cinco por ciento (5%) de la señal de salida óptica, por ejemplo, sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán cualquier cantidad de luz de láser por encima del nivel de ruido que retiene la integridad de la señal de la salida incluyendo la característica de modulación de acción vibratoria, que pueda ser extraída. La luz del láser restante pasa a través del filtro 25 a la red óptica (no mostrada). Como la salida 32 de diodo PIN es una señal eléctrica relativamente débil, la señal de realimentación resultante es amplificada por el dispositivo amplificador 35 para aumentar la intensidad de la señal. La señal 37 de realimentación eléctrica amplificada es introducida en un dispositivo multiplicador 40 donde es combinada con la señal 35 de modulación de acción vibratoria original. La señal 42 de producto cruzado que resulta de la multiplicación de la salida 37 de diodo PIN amplificada (señal de realimentación) y la señal 35 de acción vibratoria incluyen términos en la suma y diferencia de las frecuencias de acción vibratoria. El resultado es así introducido en un dispositivo 45 de filtro pasabajos donde es filtrado en pasabajos y a continuación promediada por el circuito integrador 48 para producir una señal de error 50 que es positiva o negativa dependiendo de si la longitud de onda central del láser es respectivamente menor o mayor que el punto central del filtro pasabanda. La señal de error 50 es introducida en el dispositivo 15 de tensión de carga de láser donde puede ser añadida (por ejemplo, por un dispositivo sumador, no mostrado) con el fin de corregir la corriente 15 de carga del láser en la dirección apropiada. De esta manera, la corriente de carga (y la longitud de onda del láser) aumentarán o disminuirán hasta que coincidan exactamente con el centro del filtro pasabanda. Alternativamente, la señal de error 50 puede ser primero convertida a una forma digital, antes de introducirla al dispositivo de tensión de carga.

De acuerdo con un aspecto del invento, el WLL mantendrá automáticamente el seguimiento de la longitud de onda central del láser al pico del filtro óptico. Sin embargo, en algunos casos, puede no ser deseable permitir la alineación del láser con el pico del filtro, por ejemplo, en un atenuador óptico. Así, como se ha mostrado en la realización representada en la fig. 1(b), hay previsto un circuito de sintonización externa opcional, denominado aquí como un dispositivo 51 desplazador de longitud de onda, que recibe la señal de error y varía o la desplaza de manera que la longitud de onda central del láser puede ser desplazada de una manera predeterminada de acuerdo con una aplicación de red particular. Es decir, el desplazador 51 de longitud de onda permite alguna entrada externa, por ejemplo, un elemento de control manual tal como un botón, para introducir un desplazamiento arbitrario, fijo entre la longitud de onda central del láser y el pico del filtro.

Una descripción generalizada de como ha de ser implantada la acción vibratoria para proporcionar un WLL en el presente invento es ahora proporcionada a la vista de la fig. 7. Como se ha mostrado en la fig. 7, el generador 22 acción vibratoria sinusoidal (oscilador armónico) produce una señal 27 de acción vibratoria que hace que la longitud de onda central del láser oscile con una pequeña amplitud alrededor de su posición nominal. Después de pasar a través del filtro pasabanda óptico, la variación de longitud de onda del láser es convertida en variación de intensidad que es detectada por el circuito fotodetector 30 (por ejemplo, un fotodiodo). El servo bucle realimenta la señal S de salida del fotodiodo, y toma un vector de producto cruzado con la acción vibratoria sinusoidal original, I. El resultado del producto cruzado es promediado (integrado) sobre un periodo de tiempo T y puede ser muestreado y digitalizado para producir el equivalente de una señal de detección de error, R, que es bipolar y proporcional a la cantidad en la que la longitud de onda central del láser y la longitud de onda central del filtro están desalineadas. Opcionalmente, las señales pueden ser normalizadas para tener en cuenta variaciones en la salida de energía del láser desde el filtro. Opcionalmente, un circuito de sintonización externa puede ser implantado para recibir la señal de error y permitir el desplazamiento de longitud de onda central del láser para variar a un valor arbitrario. Finalmente, la señal de error R es realimentada y añadida a la tensión de carga del láser para producir un desplazamiento de c.c., en la tensión de carga que a su vez ajusta la longitud de onda central del láser en la dirección apropiada para alinearse mejor con la longitud de onda central del filtro. Esta es la técnica que es explotada para crear un láser sintonizable, filtros sintonizables, atenuadores variables, etc.

El principio de funcionamiento está ilustrado adicionalmente en los diagramas de tiempo y señal de las figs. 2-6. Las figs. 2(a)-2(c) representan particularmente la relación entre la energía óptica del láser en función de la longitud

de onda para tres casos de señales del láser ópticas: un primer caso (fig. 2(a)) donde el punto central 21 de frecuencia de la señal láser es menor que el punto central de la función de pasabanda como se ha indicado por la función 60 pasabanda de filtro que tiene el punto central 62 como se ha mostrado superpuesto en las figuras; un segundo caso (fig. 2(b)) donde el punto central 21 de la frecuencia de láser está alineado con el punto central 62 de la función pasabanda; y, un tercer caso (fig. 2(c)) donde el punto central 21 de la frecuencia de láser es mayor que el punto central 62 de la función pasabanda. En cada caso, como se ha representado en las figs. 3(a)-3(c) correspondientes, la señal 15 de tensión de excitación del diodo láser es mostrada vibrada (una senoide) que da como resultado la longitud de onda del láser que vibra de la misma manera. El espectro del diodo láser de acción vibratoria pasa a través del filtro, y es convertido a forma eléctrica por el diodo PIN 30. En cada caso de las señales de láser representadas en las figs. 2(a) y 2(c) que tienen puntos centrales de frecuencia respectivamente menores y mayores que el punto central del filtro pasabanda, es el caso de que el espectro armónico de acción vibratoria no pasa a través del pico o punto central de frecuencia del filtro pasabanda. Por consiguiente, la salida resultante del diodo PIN es una señal sinusoidal eléctrica de la misma frecuencia que la frecuencia de acción vibratoria tal como se ha representado en las figs. 4(a) y 4(c) correspondientes. Se ha observado que para las señales láser a frecuencias por debajo del pico (fig. 2(a)) la señal 32 de error de realimentación corresponde en frecuencia y fase a la señal de acción vibratoria (fig. 4(a)), sin embargo para las señales de láser a frecuencias por encima del pico (fig. 2(c)) la señal 32 de error de realimentación corresponde en frecuencia pero está a 180° opuesta en fase de la señal de acción vibratoria (fig. 4(c)). Debido a la naturaleza bipolar de la señal de realimentación (señal de error) para casos cuando el punto central de la señal láser está desalineado con el punto central del filtro pasabanda, es así conocido en qué dirección para hacer conducir al diodo láser (magnitud y dirección), cuyos fenómenos pueden ser explotados en muchas aplicaciones diferentes. Para la señal láser representada en la fig. 2(b) que tiene el punto central de frecuencia del láser alineado con el punto central de función pasabanda, el espectro armónico de acción vibratoria está alineado con el pico de frecuencia (máximo) del filtro pasabanda y pasa a través del mismo dos veces. Es decir, durante un ciclo (un viaje completo de la señal de la acción vibratoria sinusoidal), la señal de acción vibratoria pasa a través del punto central dos veces. Esto da como resultado una frecuencia que es el doble de la frecuencia de acción vibratoria de la señal 32 de realimentación, es decir, una frecuencia única que es el doble de la frecuencia de acción vibratoria de la señal 32' del diodo PIN en la fig. 4(b) que muestra una señal de error de realimentación a dos veces la frecuencia de la frecuencia de acción vibratoria.

Así, en cada caso, como se ha representado en la fig. 4(b) correspondiente, la señal de realimentación resultante exhibe el doble de frecuencia si la longitud de onda central del láser está alineada con la longitud de onda central del filtro; de lo contrario genera una señal con la misma frecuencia de acción vibratoria, que está o bien en fase (fig. 4(a)) o fuera de fase (fig. 4(c)) con la modulación de acción vibratoria original. Debería comprenderse que, para el caso en que la frecuencia central del láser está desalineada con el pico del filtro pasabanda y aún queda exhibido un solapamiento parcial del espectro de acción vibratoria a través del pico del filtro pasabanda (es decir, el pico del punto central es atravesado dos veces en un ciclo de acción vibratoria), el diodo PIN detectará que la frecuencia parcial es el doble en fases opuestas dependiendo de si la frecuencia del centro del láser está dentro o fuera de la frecuencia del centro del filtro. Así, incluso aunque se detecte una frecuencia parcial doble, puede aún ser detectada a partir de la señal de realimentación en qué dirección y magnitud la señal del láser debería ser excitada para la alineación.

Así, con referencia ahora a las figs. 5(a) y 5(c), para el caso en que el láser y el filtro no están alineados, la señal 42 de producto cruzado que resulta de la mezcla del error de realimentación amplificado con la senoide de acción vibratoria original es una señal de error firmada bien en una primera polaridad (para las señales láser a frecuencias por debajo del punto central del filtro pasabanda), tal como se ha mostrado en la fig. 5(a) o, a una segunda polaridad (para las señales láser a frecuencias por encima del punto central del filtro pasabanda), tal como se ha mostrado en la fig. 5(c). Cada una de estas señales puede ser rectificadas y convertida en una señal 48 de tensión de carga de láser de salida digital como se ha mostrado en las figs. 6(a) y 6(c) respectivas que son realimentadas para aumentar o disminuir respectivamente la corriente (longitud de onda) del láser de tal modo que la longitud de onda central del láser se mueve más próxima al punto central del filtro pasabanda. Para el caso en que el láser y el filtro están alineados, el producto cruzado generado es la señal de doble frecuencia (dos veces la frecuencia de la acción vibratoria) como se ha mostrado en las figuras. Consiguientemente, esto da como resultado una tensión de carga de c.c., de 0 V (fig. 6(b)) que mantendrá el punto central de frecuencia del láser en su valor de longitud de onda actual.

Con el fin de describir otros beneficios del invento, se ha observado en primer lugar que aunque pueda parecer que si un filtro pasabanda es mayor que el ancho de línea del láser, entonces el impulso óptico completo pasará a través del filtro sin resultar afectado. Sin embargo, este no es claramente el caso; el espectro de láser y la función de filtro son ambos Gaussianos, tanto en tiempo como en frecuencia. Así, hacer pasar el espectro del láser a través del filtro da como resultado una complicación entre las funciones del espectro y del filtro. Poniendo en práctica un tratamiento de señal analógica, un espectro óptico de salida es producido que es realmente más estrecho que el espectro de entrada (es decir, algo de la luz es perdido durante el filtrado). En un sistema WDM real puede haber al menos dos (2) dispositivos de filtro pasabanda en un enlace para realizar funciones de multiplexado/desmultiplexado en cualquier extremo: en la práctica, puede haber muchos filtros pasabanda configurados en serie. Esto conduce a un problema secundario: cuando dos filtros están en serie y sus centros pasabanda no están alineados, la señal original debe ser circunvolucionada con ambas funciones de filtro; esto estrecha el espectro de señal incluso más, con el coste de reducir la energía óptica descartando los bordes del espectro de luz. Una sucesión de filtros no alineados entre sí puede ser mostrada que tiene las mismas características que un filtro único, mucho más estrecho. Esto además reduce el margen de desalineación entre los filtros del láser y múltiple. Por ejemplo, incluso si la separación de longitud de onda ideal de centro a centro, de un sistema WDM es 0,8 nm, debido a la desalineación entre los filtros de multiplexado y desmultiplexado esta ventana puede ser reducida a aproximadamente 0,4 nm o menos. Esto requeriría una precisión y estabilidad extremas

ES 2 290 323 T3

para la longitud de onda del láser, dando como resultado un transmisor de láser muy caro. Así, hay realmente dos problemas que han de ser resueltos: (1) alineación láser a filtro; y, (2) alineación filtro a filtro. Obsérvese que cuando las señales se propagan a través de una red de fibra óptica y atraviesan filtros múltiples la longitud de onda puede desplazarse debido estos efectos combinados con efectos de temperatura y medio ambiente. Es un problema real,
5 práctico, mantener una misma longitud de onda de entrada a lo largo de toda la red, de manera que las arquitecturas de red tales como la malla de anillo, reutilización de la longitud de onda, y la conversión de longitud de onda puedan trabajar apropiadamente, es decir, este es llamado referencia de frecuencia.

El presente invento accede a la frecuencia de referencia cuando puede manejar ambos de estos casos. Por ejemplo,
10 como se ha mostrado en la fig. 8, se ha representado un diagrama de bloques general que representa la arquitectura del sistema subyacente que emplea la técnica de bucle de longitud de onda bloqueada en un sistema óptico 10' que emplea una conexión en serie de dos filtros pasabanda 25a, 25b. La fig. 9 representa cada una de las respuestas de filtro individual 67 y 68 para los dos filtros pasabanda 25a, 25b de la fig. 8 y la respuesta compuesta 69 de filtros correspondiente que tiene un punto central o pico 70. Cuando se realiza la alineación filtro a filtro o filtro múltiple, la
15 técnica del invento representada en la fig. 8 puede ser puesta en práctica para sintonizar que la señal de láser 55 tenga una frecuencia central tal que la transferencia de energía máxima ocurrirá a través de la conexión en serie de dos filtros pasabanda como se ha representado por su respuesta compuesta 69 de filtros (fig. 9). Generalmente, una cascada de filtros pasabanda da como resultado un estrechamiento efectivo de la banda de paso total, como la respuesta de filtro neto es una circunvolución de las respuestas de filtro de componente. El WLL puede alinear la longitud de onda central
20 del láser con el centro de esta banda de paso compuesta.

El sistema y método del presente invento pueden ser usados para sintonizar una longitud de onda de láser para compensar cualquier tipo de elemento selector de longitud de onda en una red, incluyendo conmutadores selectores de longitud de onda, filtros sintonizables, en rejillas de Bragg de fibra, resonadores de anillo en amplificadores ópticos,
25 moduladores externos tales como filtros sintonizables acústico-ópticos, o disposición de rejillas de guía de onda. Esto se aplica a muchos otros componentes ópticos en la red también (por ejemplo, amplificadores ópticos que pueden actuar como filtros cuando funcionan en el régimen no lineal). Este método puede ser usado adicionalmente para poner en práctica dispositivos menos caros para todas las áreas de aplicación anteriores. Como la pérdida óptica de una combinación filtro de WDM/láser es muy reducida implantando la técnica del invento, pueden ser soportados
30 presupuestos de enlace significativamente mayores y mayores distancias. Además, el invento permite que se usen láseres y filtros de coste mucho menor; ya que éstos son las partes más caras de un dispositivo de WDM hoy, hay una reducción de costes significativa en el equipamiento de WDM.

Como ejemplo hay representada en la fig. 10 la puesta en práctica del sistema 100 de servo control WLL para sintonizar dispositivos selectores de frecuencia sintonizables tales como un filtro pasabanda para una variedad de
35 aplicaciones de red óptica, por ejemplo, atenuadores ópticos, circuitos de control de ganancia óptica, etc. Como se ha mostrado en la fig. 10, un dispositivo 140 de tensión de carga aplica una señal de carga al diodo láser 120 para generar una señal óptica 200 que tiene una función de espectro máxima o de pico. Esta señal de luz es introducida a un dispositivo 250 selector de frecuencia sintonizable, por ejemplo, un filtro pasabanda sintonizable. Como se ha
40 mostrado en la fig. 10, sin embargo, un dispositivo 220 de acción vibratoria/excitador sinusoidal es implantado para modular la frecuencia central de pico de la banda de paso del filtro con una pequeña señal de acción vibratoria 270. Una cantidad pequeña de luz 290 es extraída de la salida del filtro 250 para introducir en el dispositivo fotodetector, por ejemplo, el diodo PIN 300, donde la señal óptica es convertida a señal eléctrica 320, amplificada por el dispositivo
45 amplificador 350, e introducida en el dispositivo mezclador 400 que recibe adicionalmente la señal de acción vibratoria 270. El dispositivo mezclador genera el vector de producto cruzado 420 de la señal 370 de realimentación amplificada con la señal de acción vibratoria 270 y ese resultado es filtrado en pasabajos, y alisado (por ejemplo, integrado) por el dispositivo integrador 480 para proporcionar la señal de error 500, de la manera descrita aquí con referencia a las figs. 2-6. Esta señal de error 500 puede ser una señal bipolar y puede ser usada para ajustar dinámicamente la frecuencia
50 central del pico de la banda de paso del filtro hasta que coincida con la frecuencia central de la entrada 200 de señal de láser.

Otras ventajas conseguidas poniendo en práctica el sistema y método del invento incluyen: permitir compensación para los efectos del final de la vida que provocan el desplazamiento de la longitud de onda, extender la vida y fiabilidad de los láseres; superar los parásitos de frecuencia y las oscilaciones de relajación sin requerir cambios de diseño
55 costosos, y permitir que los láseres sean excitados a su potencia y capacidad de modulación completas; y, permitir la compensación para el desplazamiento térmico del láser. Por ejemplo, como una realización alternativa representada en la arquitectura del sistema 10" mostrada en la fig. 11, un termopar o elemento 72 transductor de temperatura similar puede ser usado para ajustar la longitud de onda del láser variando la temperatura del elemento 12 del diodo láser de acuerdo con la señal de error 48, en vez de ajustar la entrada de corriente de carga al elemento del diodo
60 láser. Así, se ha considerado que pueden usarse moduladores termo-ópticos en una aplicación del invento. Además, el sistema y método del invento pueden ser implantados para usar como un modulador de cavidad externa para el láser, desintonizando la longitud de onda central del láser del pico del filtro para regular la potencia óptica del láser.

Debería comprenderse que el principio del bucle de longitud de onda bloqueada puede ser puesto en práctica
65 para alinear cualquier señal electromagnética que tiene una función de espectro de pico que incluye una longitud de onda central y un dispositivo selector de longitud de onda que ponen en práctica una función de banda de paso de pico que incluye una longitud de onda central, en cualquier sistema que emplea señales electromagnéticas (por ejemplo, espectros de radio, de microondas y de frecuencia óptica), y puede ser puesto en práctica para sintonizar

ES 2 290 323 T3

o ajustar la fuente de onda electromagnética o alternatively, sintonizar o ajustar las propiedades de transmisión de los dispositivos selectores de frecuencia tales como filtros sintonizables implantados en tales sistemas. La fig. 12 ilustra el sistema genérico para poner en práctica el principio del bucle de longitud de onda bloqueada empleado en un sistema que transporta o controla información que emplea señales electromagnéticas, por ejemplo, en el intervalo de microonda o de frecuencia de RF, que tienen una función de espectro de pico. Tal generador de señal electromagnética está representado en la fig. 12 como una combinación de un excitador de corriente o tensión y una fuente 13 de señal electromagnética. Por ejemplo, cuando se ha empleado en redes de microonda, la fuente emisora puede comprender un dispositivo de Klystron, el filtro selector de longitud de onda puede comprender un filtro 13 de onda acústica de superficie (SAW) y el detector puede comprender cualquier detector 31 de campo electromagnético.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un circuito (10) de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada que permite la alineación mutua en tiempo real de una señal electromagnética que tiene una función de espectro máxima o de pico que incluye una longitud de onda central y un dispositivo (25) selector de longitud de onda que pone en práctica una función de banda de paso de pico que incluye una longitud de onda central, en un sistema que emplea ondas electromagnéticas, comprendiendo dicho circuito: un mecanismo (12, 14, 22) para aplicar una señal (27) de modulación de acción vibratoria a una frecuencia de modulación de acción vibratoria a dicha señal electromagnética (18), e introducir dicha señal (20) 10 electromagnética modulada de acción vibratoria a dicho dispositivo selector de longitud de onda; un mecanismo (30) para convertir una parte (29) de dicha señal electromagnética modulada de acción vibratoria en una señal (32) de realimentación eléctrica; un mecanismo (35, 40, 45, 48) para comparar continuamente dicha señal de realimentación con dicha señal de modulación de acción vibratoria y generar una señal (50) de error que representa una diferencia entre una característica de frecuencia de la señal de realimentación y una frecuencia de modulación de acción vibratoria; y 15 un mecanismo (14) para ajustar la función de espectro de pico de dicha señal electromagnética de acuerdo con dicha señal de error, en que la longitud de onda central de dicha señal electromagnética y dicha longitud de onda central del dispositivo selector de longitud de onda resultan alineadas cuando dicha característica de frecuencia de dicha señal de realimentación es dos veces la frecuencia de modulación de acción vibratoria.
- 20 2. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 1ª, en el que dichas ondas electromagnéticas incluyen aquellas ondas a frecuencias seleccionadas del grupo que consiste de: partes de frecuencia de radio, frecuencia de microonda y frecuencia óptica de un espectro de frecuencia electromagnética, comprendiendo dicha señal electromagnética una de entre: señal de frecuencia de radio, señal de microonda, y señal óptica respectivamente.
- 25 3. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 2ª, en el que dicha señal óptica comprende una señal láser empleada en una red óptica, incluyendo dicha red óptica: un dispositivo (12) de diodo láser para generar dicha señal láser; y, un circuito (14) de control de tensión de carga para proporcionar una tensión de carga a un dispositivo de diodo láser para controlar dicha señal de láser, en el que dicho mecanismo para 30 ajustar dicha señal óptica incluye aplicar dicha señal de error a dicho circuito de control de carga de láser para ajustar una característica de longitud de onda central de dicha señal de láser.
- 35 4. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 2ª, en el que dicha señal electromagnética es empleada en un sistema de transporte de información que emplea microondas, incluyendo dicho sistema de transporte de información: un dispositivo generador de microondas para generar dicha señal de microondas; y un circuito de control de excitador para proporcionar una señal de excitación a dicho dispositivo generador de microondas para controlar dicha señal de microondas, en el que dicho mecanismo para ajustar dicha señal de 40 microondas incluye aplicar dicha señal de error a dicho circuito de control de excitador para ajustar una característica de longitud de onda central de dicha señal de microondas.
- 45 5. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 1ª, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda incluye un filtro pasabanda que tiene una longitud de onda deseada que representa una longitud de onda central de filtro pasabanda, en el que dicha señal electromagnética es sintonizada a dicha longitud de onda central de banda de paso de modo que la potencia de la señal es transmitida de modo máximo a través de dicho filtro pasabanda en dicho sistema.
- 50 6. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 1ª, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda comprende múltiples filtros pasabanda en serie, exhibiendo dichos múltiples filtros pasabanda una respuesta de filtro compuesta que representa una longitud de onda central de banda de paso, en el que dicha señal electromagnética es sintonizada a dicha longitud de onda central de banda de paso de modo que la potencia de la señal es transmitida de modo máximo a través de dichas series de múltiples filtros pasabanda en dicho sistema.
- 55 7. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 1ª, en el que dicho dispositivo para aplicar una modulación de acción vibratoria a dicha señal de carga es un circuito de acción vibratoria sinusoidal para generar una señal de modulación de acción vibratoria sinusoidal de una frecuencia predeterminada.
- 60 8. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 2ª, en el que dicho mecanismo convertidor incluye uno seleccionado del grupo de: detector de frecuencia de radio, un detector de microondas, y un dispositivo detector de señal óptica.
9. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 8ª, en el que dicho detector de señal óptica incluye un fotodetector.
- 65 10. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 8ª, en el que dicho detector de señal de microondas incluye un detector de onda acústica superficial.

ES 2 290 323 T3

11. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 7^a, en el que dicho dispositivo para comparar incluye un mezclador capaz de combinar dicha señal de realimentación convertida con dicha señal de modulación de acción vibratoria sinusoidal y generar una señal de producto cruzado que tiene componentes que representan una suma y diferencia a frecuencias de acción vibratoria.
12. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 11^a, que incluye además: un filtro pasabajos para filtrar dicha señal de producto cruzado de salida; y un circuito integrador para promediar dicha señal de producto cruzado de salida para generar dicha señal de error, por lo que dicha señal de error es positiva o negativa dependiendo de si una longitud de onda central de dicha señal electromagnética es respectivamente menor o mayor que dicha longitud de onda deseada de dicho dispositivo selector de longitud de onda.
13. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 1^a, que incluye además un dispositivo desplazador de longitud de onda para recibir dicha señal de error y variar dicha señal de error en una magnitud para desplazar la longitud de onda central de señal electromagnética de una manera predeterminada.
14. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 3^a, que incluye además un dispositivo de termopar para recibir dicha señal de error y modificar una temperatura de dicho diodo láser para ajustar una frecuencia de dicha señal láser en una dirección apropiada de acuerdo con dicha señal de error.
15. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 3^a, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda incluye un amplificador óptico.
16. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 3^a, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda incluye un atenuador óptico.
17. El circuito de servo control de bucle de longitud de onda bloqueada según la reivindicación 3^a, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda incluye un conmutador óptico.
18. Un método para alinear mutuamente una longitud de onda central de una señal electromagnética que tiene una función de espectro máximo o de pico con una longitud de onda central de un dispositivo selector de longitud de onda que pone en práctica una función de banda de paso de pico, en un sistema que emplea ondas electromagnéticas, comprendiendo dicho método las operaciones de: a) aplicar una señal de modulación de acción vibratoria a una frecuencia de modulación de acción vibratoria a dicha señal electromagnética que funciona a una longitud de onda específica, e introducir dicha señal electromagnética modulada de acción vibratoria a dicho dispositivo selector de longitud de onda que tiene una respuesta de frecuencia de pico a una longitud de onda deseada; b) convertir una parte de dicha señal electromagnética modulada de acción vibratoria en una señal de realimentación eléctrica; c) comparar continuamente dicha señal de realimentación con dicha señal de modulación de acción vibratoria y generar una señal de error que representa una diferencia entre una característica de frecuencia de dicha señal de realimentación y una frecuencia de modulación de acción vibratoria; y d) ajustar la función de espectro de pico de dicha señal electromagnética de acuerdo con dicha señal de error, en que dicha longitud de onda central de dicha señal electromagnética y dicha longitud de onda central del dispositivo selector de longitud de onda resultan alineadas cuando dicha característica de frecuencia de dicha señal de realimentación es dos veces dicha frecuencia de modulación de acción vibratoria.
19. El método según la reivindicación 18^a, en el que dicha señal electromagnética es una señal láser que tiene una longitud de onda central, incluyendo dicha red óptica un dispositivo de diodo láser para generar dicha señal láser y, un circuito de control de tensión de carga para proporcionar una tensión de carga a un dispositivo de diodo láser para controlar dicha señal láser, en el que dicha operación de ajuste d) incluye aplicar dicha señal de error a dicho circuito de control de carga de láser para ajustar una característica de longitud de onda central de dicha señal láser.
20. El método según la reivindicación 19^a, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda incluye un filtro pasabanda que tiene una longitud de onda deseada que representa una longitud de onda central de filtro pasabanda, incluyendo dicho método la sintonización de dicha señal electromagnética a dicha longitud de onda central de banda de paso de modo que la potencia de la señal es transmitida de modo máximo a través de dicho filtro pasabanda en dicho sistema.
21. El método según la reivindicación 20^a, en el que dicho dispositivo selector de longitud de onda comprende múltiples filtros pasabanda en serie, exhibiendo dichos múltiples filtros pasabanda una respuesta de filtro compuesta que representa una longitud de onda central de banda de paso, incluyendo dicho método la sintonización de dicha señal óptica a dicha longitud de onda central de banda de paso de modo que la potencia de la señal óptica es transmitida de modo máximo a través de dichas series de múltiples filtros pasabanda en dicho sistema.
22. El método según la reivindicación 18^a, en el que dicha operación c) de comparación de modo continuo incluye las operaciones de: combinar dicha señal de realimentación convertida con dicha señal de modulación de acción vibratoria y generar una señal de producto cruzado que tiene componentes que representan una suma y una diferencia a frecuencias de acción vibratoria, filtrar dicha señal de producto cruzado de salida, y promediar dicha señal de producto cruzado de salida para generar dicha señal de error, siendo dicha señal de error positiva o negativa dependiendo de si una longitud de onda central de dicha señal electromagnética es respectivamente menor o mayor que dicha longitud de onda deseada de dicho dispositivo selector de longitud de onda.

ES 2 290 323 T3

23. El método según la reivindicación 18ª, en el que dicha operación de ajuste e) incluye la operación de: recibir dicha señal de error y variar dicha señal de error en una magnitud para desplazar la longitud de onda central de señal electromagnética de una manera predeterminada.

5 24. El método según la reivindicación 19ª, en el que dicha operación de modificar la señal de carga incluye la operación de proporcionar un dispositivo de termopar para recibir dicha señal de error y modificar una temperatura de dicho diodo láser para ajustar una frecuencia de dicha señal láser en una dirección apropiada de acuerdo a dicha señal de error.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

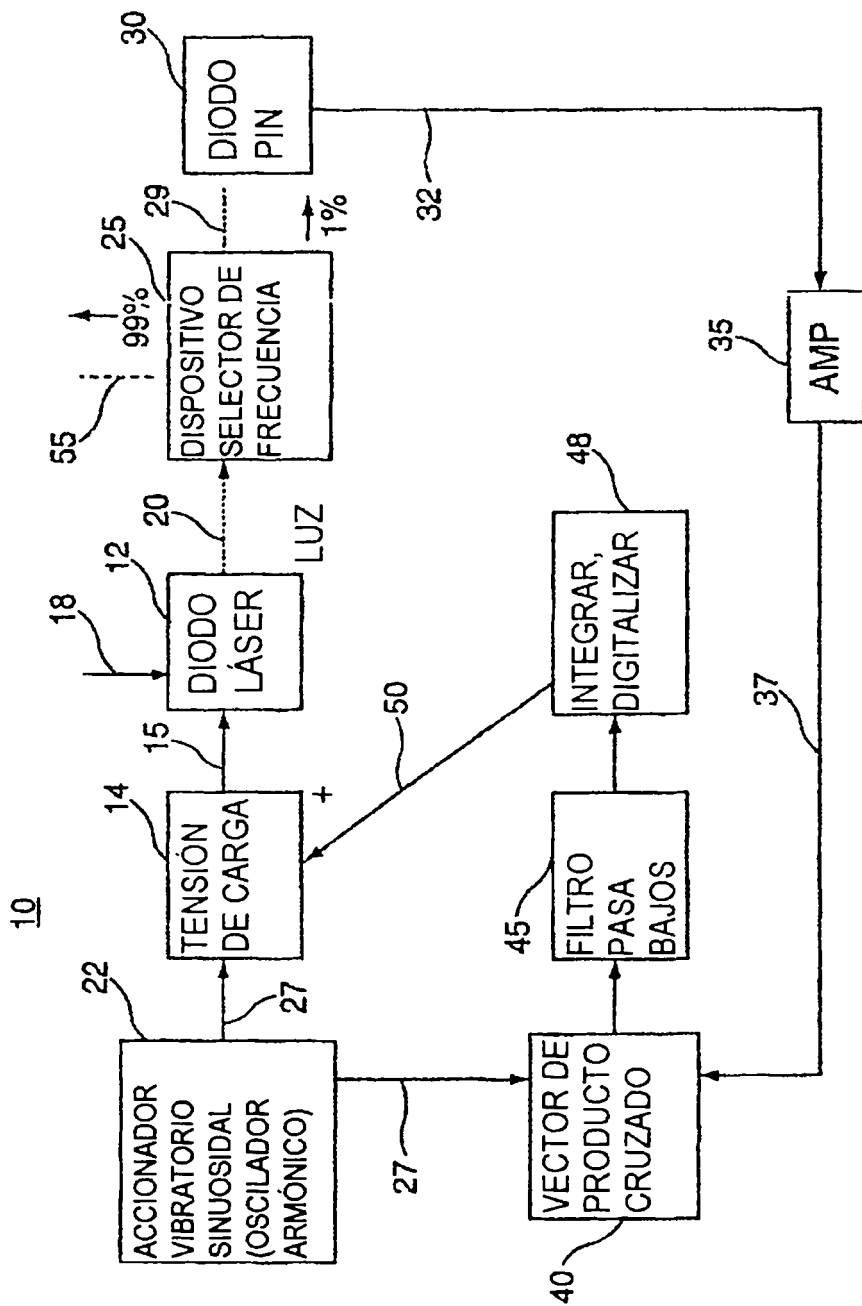


FIG. 1(a)

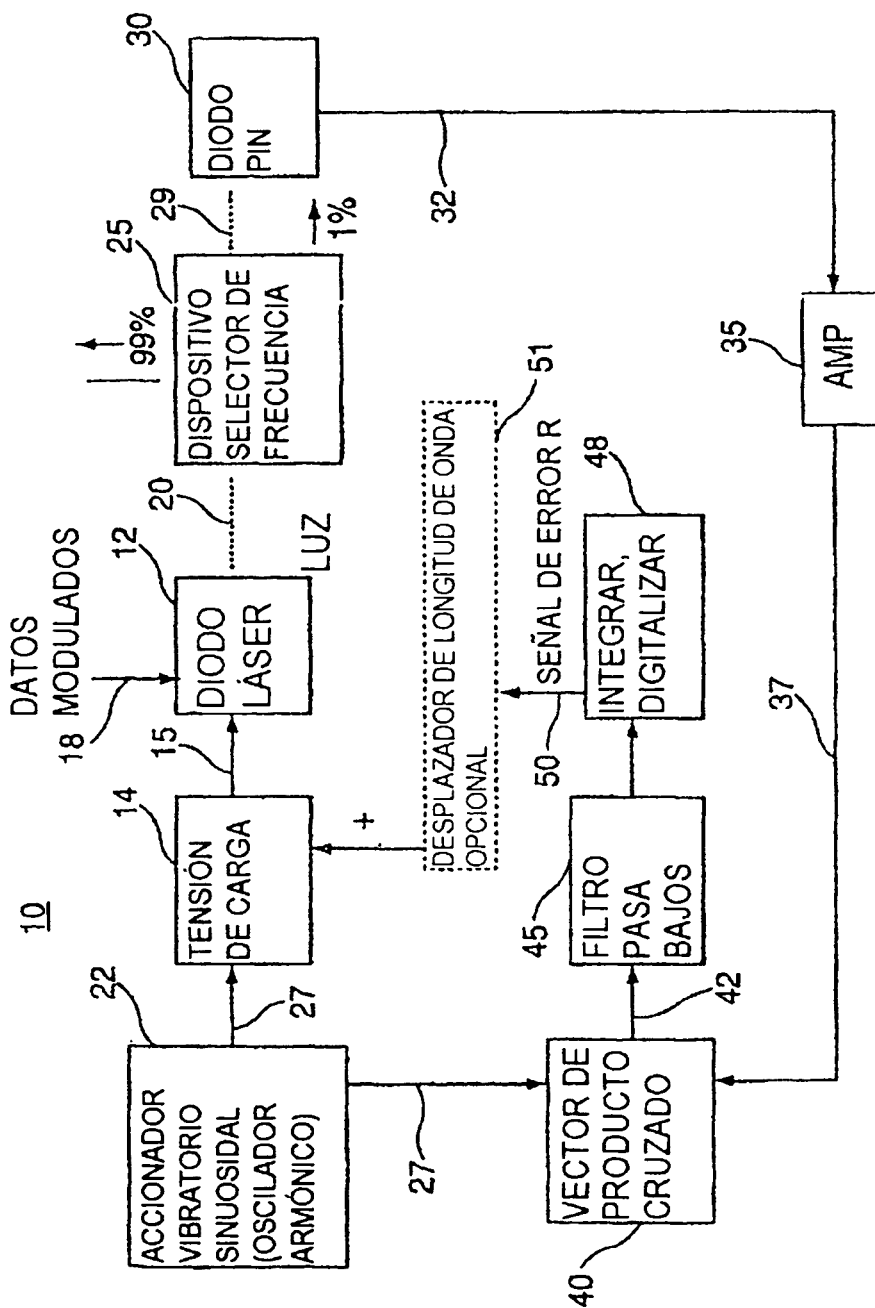
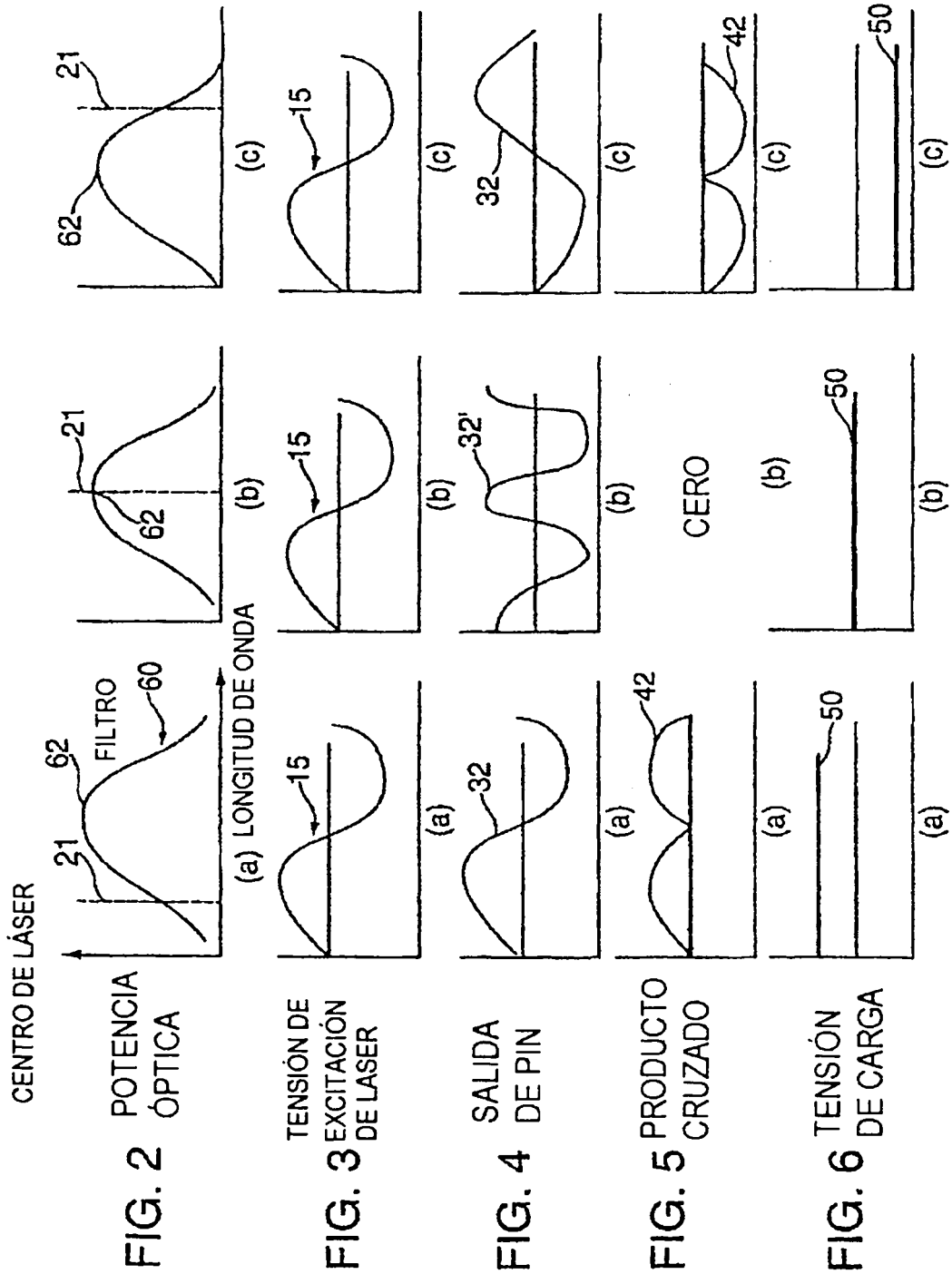


FIG. 1(b)



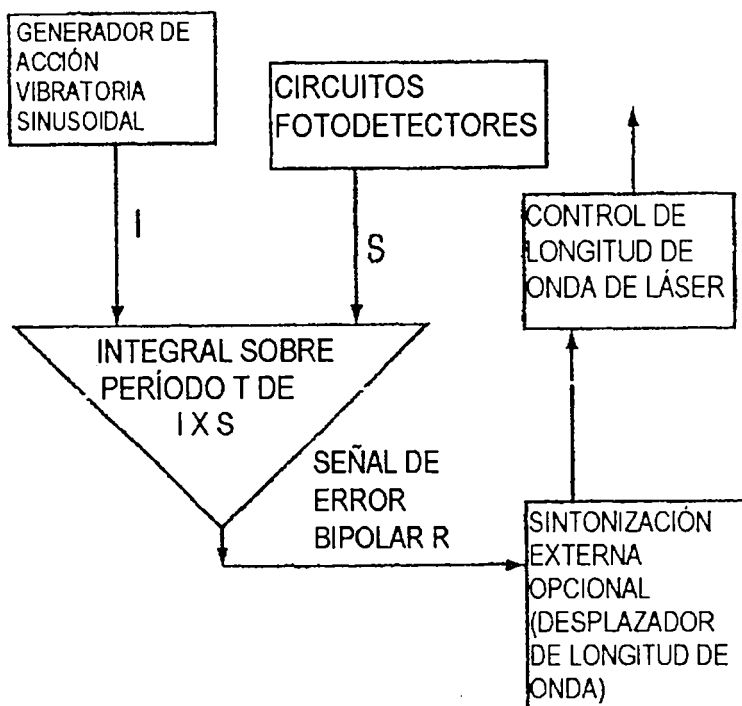


FIG. 7

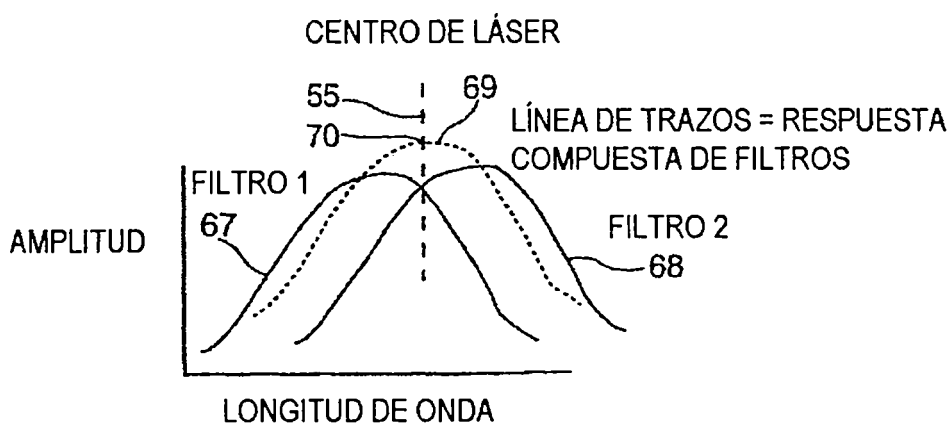


FIG. 9

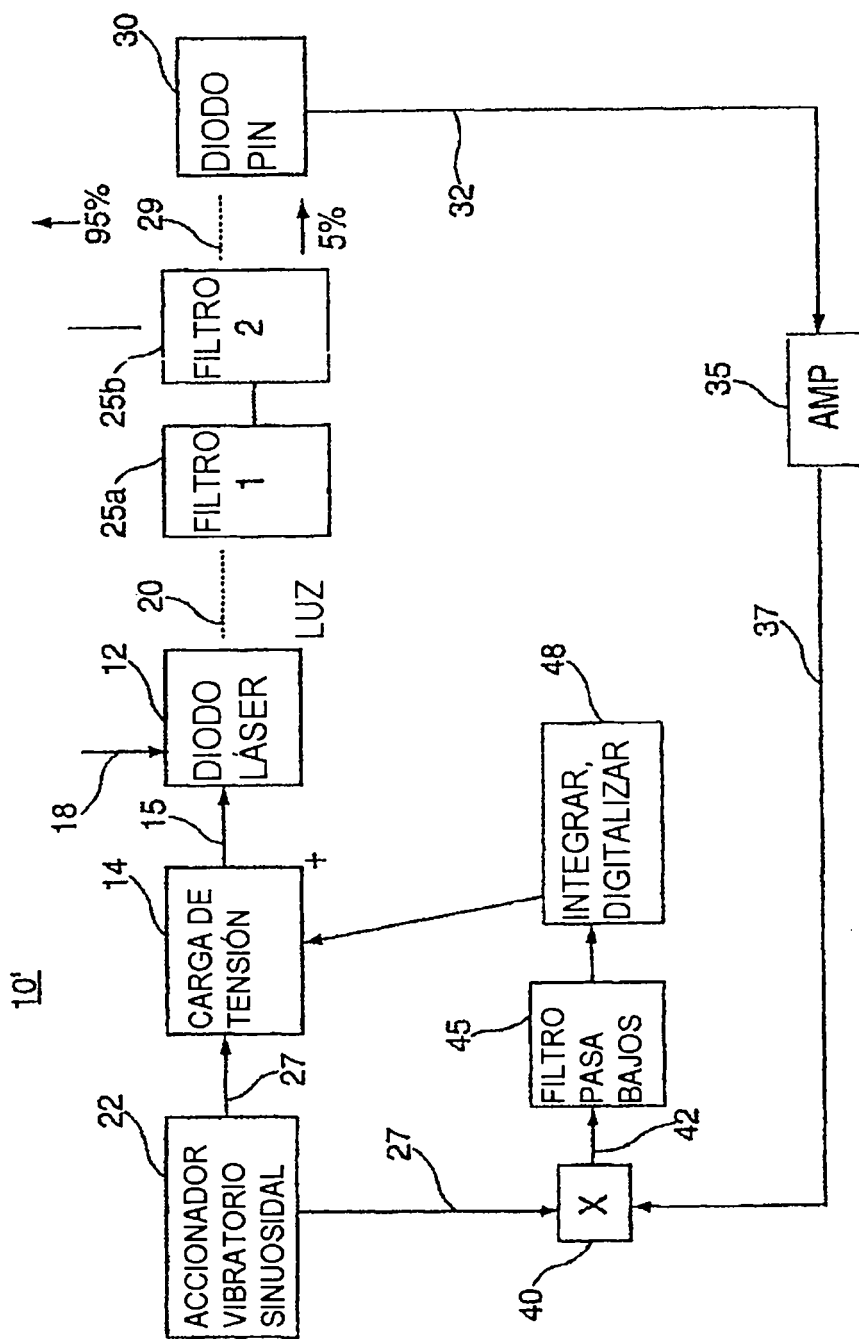


FIG. 8

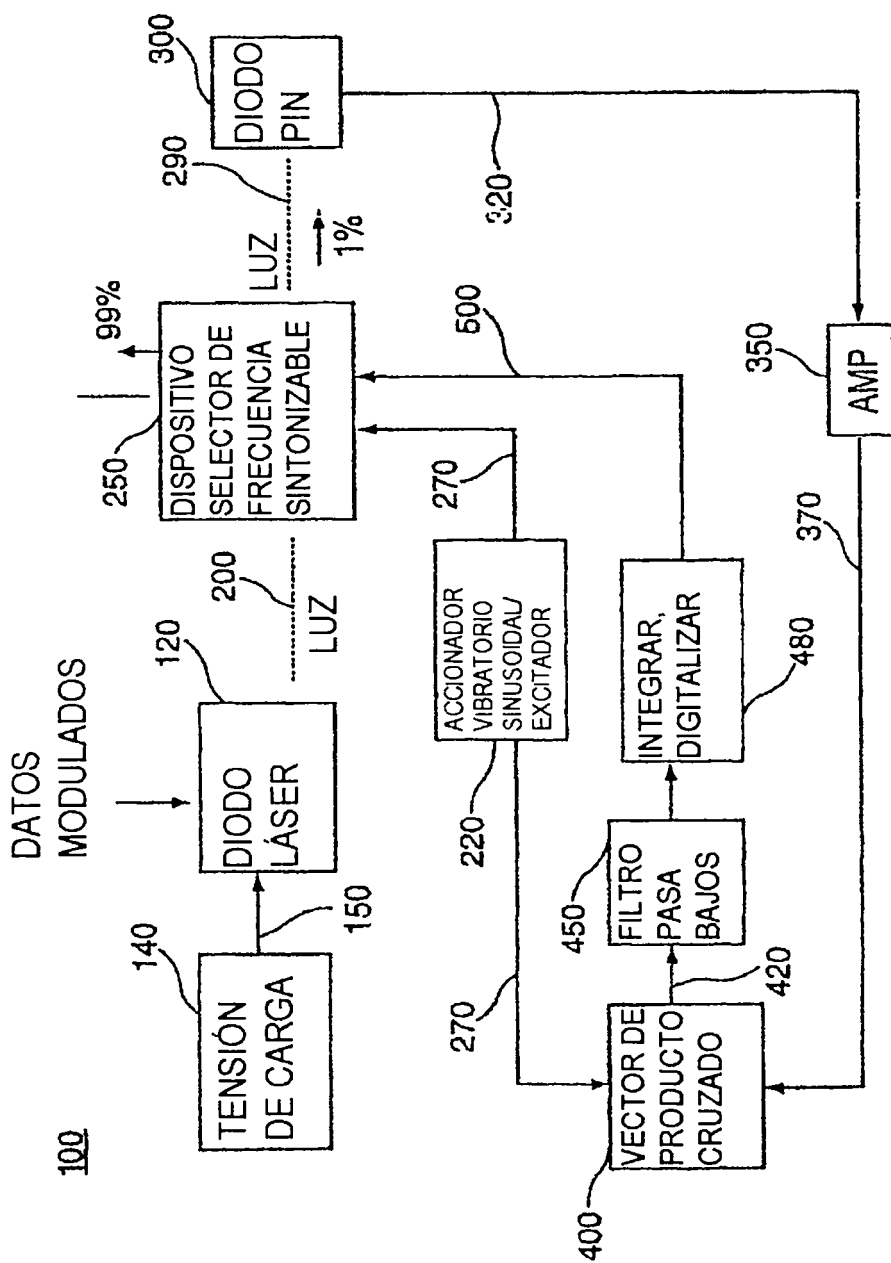


FIG. 10

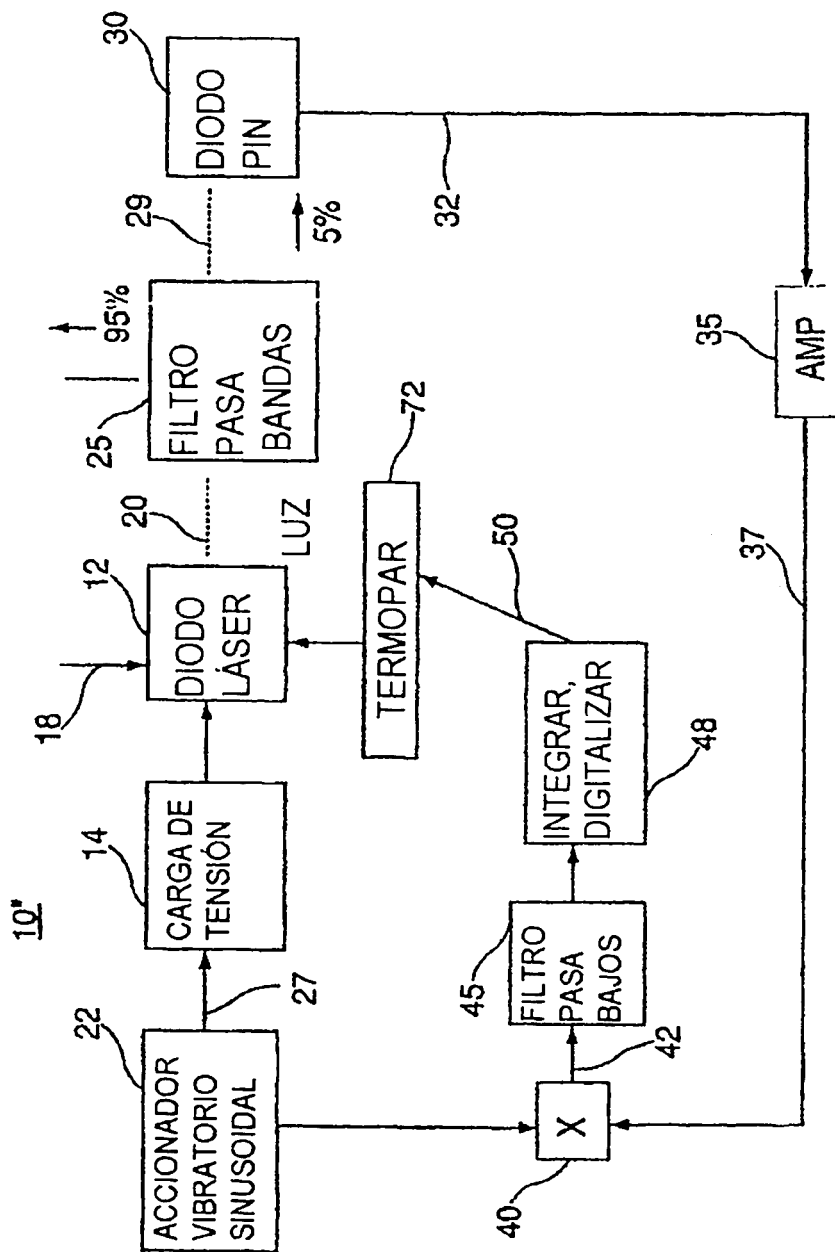


FIG. 11

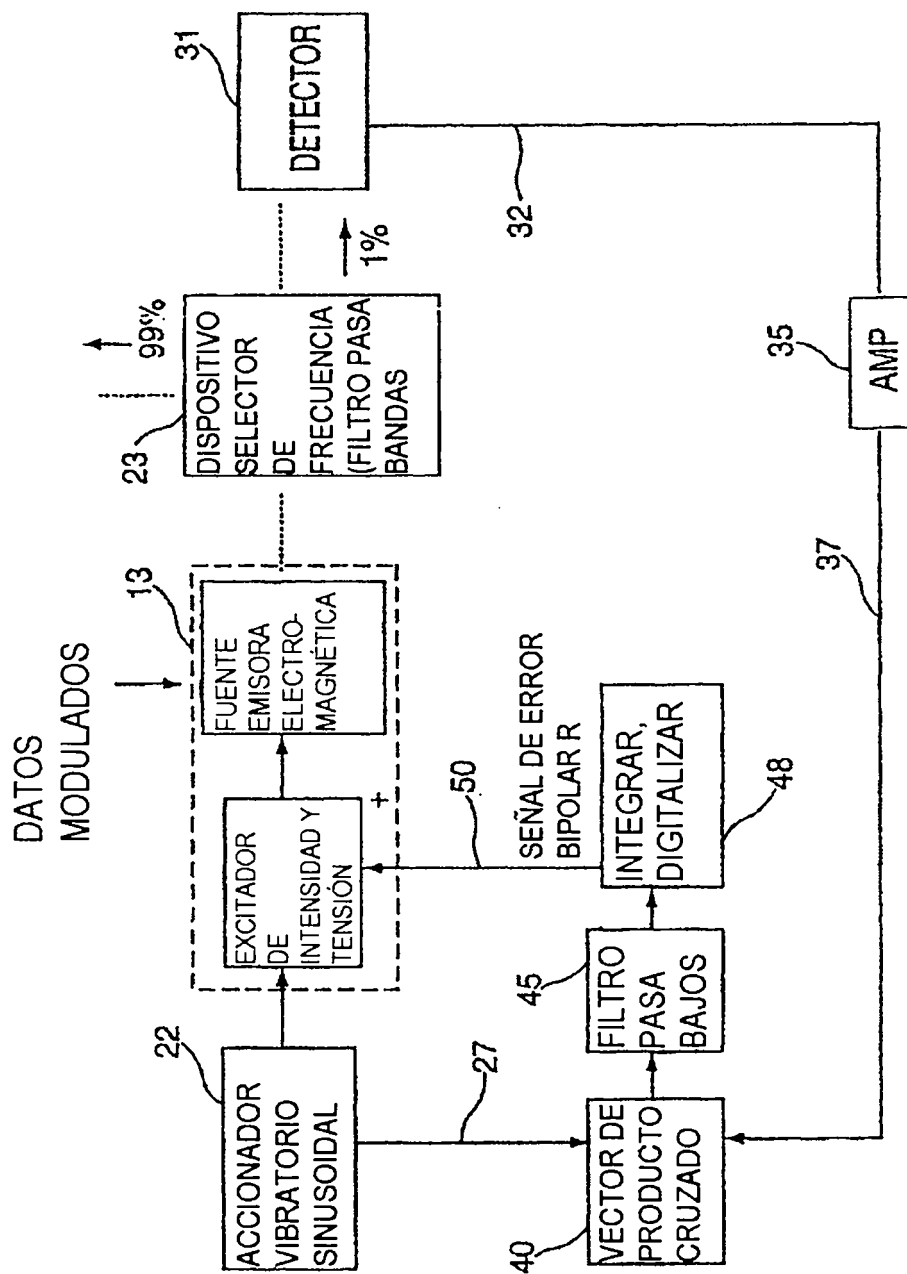


FIG. 12