



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 360 040**

⑫ Número de solicitud: 201100409

⑬ Int. Cl.:
H04B 10/24 (2006.01)

⑭

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑮ Fecha de presentación: **04.04.2011**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **31.05.2011**

⑰ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
31.05.2011

⑱ Solicitante/s: **Universidad de Málaga**
c/ Severo Ochoa, 4 (PTA)
29590 Campanillas, Málaga, ES

⑲ Inventor/es: **Ríos Gómez, Francisco Javier;**
Romero Sánchez, Jorge;
Fernández Ramos, Raquel;
Martín Canales, José Francisco y
Martín Martín, Francisco Javier

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Transceptor óptico inteligente en láser no guiado en el espacio libre.**

㉒ Resumen:

Transceptor óptico inteligente basado en láser no guiado en el espacio libre, comprendiendo:

- sistema supervisor (6) para comunicación bidireccional entre los microcontroladores esclavos y el exterior;
- conmutador multipuerto y convertidor de medio (7) para la conexión de múltiples transceptores ópticos en un mismo nodo;
- aparato de guiado micrométrico motorizado (8) para el posicionamiento preciso de haces láser;
- duplexor óptico (9) para la transmisión y recepción de haces láser mediante un único eje óptico;
- transmisor láser (11) con un sistema de control que gestiona la potencia transmitida, el índice de modulación y el estado térmico de un diodo láser (183);
- receptor (12) con un sistema de control que gestiona la sensibilidad, la ganancia y el estado térmico de un fotodiodo de avalancha (268);
- dos termorreguladores de flujo simétrico (10, 10') para mantener un estado térmico estable en el diodo láser (183) y en el fotodiodo de avalancha (268).

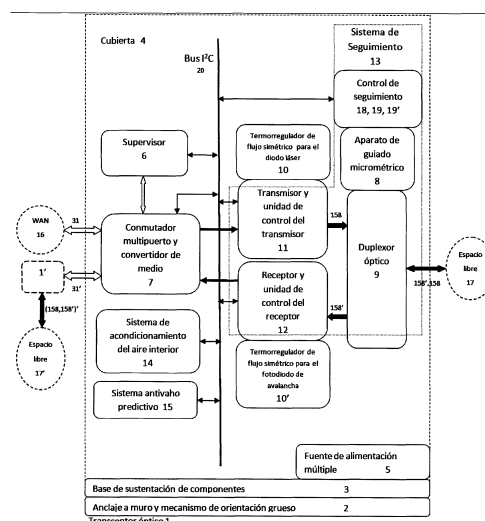


FIG. 2

ES 2 360 040 A1

DESCRIPCIÓN

Transceptor óptico inteligente basado en láser no guiado en el espacio libre.

5 Campo de la invención

La presente invención se enmarca en el campo de la industria electrónica asociada a las redes de comunicación digital adaptándose a la norma IEEE 802.3, presentándose como una solución para el trazado de redes de datos de carácter permanente y como una alternativa a los enlaces cableados de par, fibra óptica o radiofrecuencia. Los nodos de esta red de datos se conforman con transceptores ópticos inteligentes basados en láser tales como los que se presentan en esta invención.

Antecedentes de la invención

Las comunicaciones mediante métodos ópticos se vienen desarrollando desde hace años. En especial las realizadas en el espacio libre o la atmósfera permiten el establecimiento efectivo de enlaces a distancias de varios kilómetros si se utilizan láseres colimados de estado sólido de media potencia y fotodiodos de avalancha. La presente invención parte de la invención descrita en la patente ES2244311-B1 titulada “Procedimiento y aparato de enlace punto a punto mediante haz láser en el espacio libre para redes Ethernet”, de los mismos autores, y propone un nuevo transceptor óptico inteligente que resuelve los problemas que surgen en la solución anterior propuesta; en concreto se resuelve la monitorización remota del estado del transceptor permitiendo construir nodos inteligentes en la red óptica, la gestión distribuida de las funciones del transceptor por parte de un conjunto de microcontroladores embebidos y jerarquizados que realizan el seguimiento automático del haz láser, el control automático de la potencia láser transmitida, la sensibilidad del receptor o la gestión térmica del sistema entre otras funciones.

La estructura de un enlace óptico básico se constituye mediante dos transceptores situados a una cierta distancia enfrentados y alineados, (según se muestra en la figura 1). Si se considera una distancia suficientemente grande entre ambos transceptores, la permanencia temporal del enlace y su calidad se ve condicionada por tres factores fundamentales:

- a) La dispersión del haz láser en el espacio libre (influencias atmosféricas).
- b) La alteración dinámica del soporte de sustentación.
- c) La estabilidad térmica del láser de estado sólido y del fotodiodo de avalancha.

Las alteraciones atmosféricas y su influencia en la dispersión de láseres ha sido caracterizada en numerosos trabajos pudiéndose concluir que es el vapor de agua el principal elemento dispersor. Las pequeñas gotitas de una niebla densa, actúan como microlentes dispersantes, más significativas para láseres con longitudes de ondas cortas (visible e infrarrojo cercano) que para los de longitud de onda larga (infrarrojo lejano). Los láseres del tipo QCL (Quantum Cascade Laser), con longitudes de onda entre 3 y 15 micrómetros, se muestran como los mejores candidatos que minimizan, e incluso eliminan, la dispersión del haz frente al vapor de agua.

Por otro lado, el sistema transceptor se instala en las cubiertas de edificios de una o más plantas sometidas a elementos perturbadores tales como el movimiento del subsuelo y la dilatación térmica. Existen dos movimientos que afectan a la dinámica de un edificio: el movimiento debido a las fuerzas que actúan sobre la estructura de pilares (movimiento de periodicidad cuasi anual), y el movimiento de dilatación-contracción debido a los cambios térmicos ambientales entre el día y la noche de periodicidad diaria. Es difícil establecer un modelo de dilatación-contracción de un edificio construido con diversos materiales y coeficientes de dilatación, pero suponiendo un ejemplo sencillo de un edificio de hormigón isotrópico de 10 m de alto con un coeficiente de dilatación lineal de 1×10^{-5} , un cambio térmico de 20°C entre el día y la noche daría lugar a un cambio de longitud de 2 mm. La anisotropía de las estructuras de construcción hace que el cambio se dé en cualquier dirección del espacio generándose así sobre un plano de referencia arbitrario, un movimiento angular. Estos movimientos angulares son pequeños (décimas de miliradián), pero en enlaces a grandes distancias pueden alterar la posición del haz láser en decenas de centímetros provocando problemas en la comunicación entre transceptores.

Finalmente, la calidad del enlace puede verse alterada por los cambios en las propiedades físicas del láser semiconductor y del fotodiodo de avalancha. Las propiedades eléctricas de estos componentes son fuertemente dependientes de la temperatura. Los parámetros alterados son la potencia emitida por el láser, la sensibilidad del fotodiodo y la vida media de ambos.

La presente invención aborda estos problemas y los soluciona de una manera efectiva. No solo se trata de resolver el problema de la comunicación punto a punto de un haz láser modulado a alta velocidad mediante un determinado estándar, sino resolver un problema asociado a los diferentes mecanismos de control necesarios para mantener los parámetros del sistema en unos valores óptimos que permitan la comunicación estable y fiable. La presente invención proporciona un transceptor óptico que permite el desarrollo de un sistema de comunicación óptico que mantiene de forma activa o “inteligente”, sus parámetros en un valor óptimo.

En el sistema de comunicación óptico, formado por una red de transceptores ópticos interconectados entre sí, se considera la posibilidad de monitorización y actuación remota sobre cada nodo de la red. La viabilidad de una red de comunicaciones formada por un conjunto de nodos complejos bajo control, exige la posibilidad de la centralización de la monitorización y en la actuación con independencia geográfica. La red de comunicación óptica de acuerdo a la presente invención permite la monitorización sobre la red WAN.

Hoy en día, los sistemas de control embebido o empotrado se muestran como soluciones válidas para realizar labores de control distribuido entre las distintas partes de un sistema. La división de tareas realizadas por pequeños procesadores permite distribuir la carga computacional y especializar a los distintos sistemas en tareas concretas. Se incrementa la robustez dado que el fallo de un procesador local solo afectará a las variables locales que controla. Por eso, la presente invención emplea soluciones de control embebido asociando las variables a controlar a los distintos subsistemas de los que consta el sistema de comunicación óptico.

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un transceptor óptico que resuelve los problemas enumerados anteriormente.

En el transceptor, el control de la potencia del láser transmitido así como la sensibilidad del fotodetector son parámetros ajustables en función del grado de partículas dispersantes. Así, el transceptor dispone de un elemento de medida de la humedad ambiental y un sistema de control que cambia la potencia transmitida y la sensibilidad del fotodetector de forma automática.

Además, en el sistema de comunicación óptico, cada transceptor dispone de un mecanismo adaptativo que le permite realizar un seguimiento del haz bidireccional (haz del transceptor A con el transceptor B, y haz del transceptor B con el transceptor A). Una vez alineados los dos haces, el control de seguimiento los mantiene alineados con independencia del movimiento de las bases de sustentación. Se incluye un procesador exclusivamente dedicado a la ejecución de un algoritmo de seguimiento altamente fiable también presentado en esta invención.

Por otro lado, el transceptor dispone de un mecanismo de control térmico que permite mantener la temperatura del láser de estado sólido y del fotodiodo de avalancha dentro de unos márgenes y, en función de la temperatura ambiental, otros mecanismos que mantienen la potencia y la sensibilidad constantes e independientes de los posibles cambios térmicos que puedan suceder. El objetivo es el mantenimiento de una comunicación estable maximizando la durabilidad de los componentes.

Funcionalmente el aparato transceptor óptico puede descomponerse en catorce subsistemas interrelacionados:

1. Un subsistema de anclaje a muro y un mecanismo de orientación grueso. El transceptor permite estar sólidamente anclado a una estructura rígida (ladrillo u hormigón), de una parte alta de una edificación orientándose mediante un mecanismo de giro acimutal y de elevación hacia un transceptor homólogo situado a gran distancia.

2. Una base de sustentación de los componentes mecánicos, electrónicos, ópticos y de acondicionamiento del aire interior.

3. Una cubierta con visor, sensor de temperatura y actuador antivaho. Los componentes mecánicos, ópticos y electrónicos del transceptor se encuentran bajo una cubierta aislada térmicamente en la que se aloja un visor por el que entran y salen los haces láser modulados. Junto al visor existe un sensor que mide su temperatura y un actuador térmico que puede calentar el aire circundante con el fin de evitar la deposición de vaho en él.

4. Una fuente múltiple que permite alimentar los diversos dispositivos electrónicos del transceptor. Una fuente de potencia alimenta a dispositivos tales como celdas peltier, drivers y motores de seguimiento. Otra fuente simétrica de menor potencia, regulada y de bajo ruido que alimenta a los circuitos sensibles del transmisor y del receptor separando las vías de alimentación de señales de pulso de las vías de alimentación de señales analógicas.

5. Un circuito electrónico supervisor basado en microcontrolador. El transceptor óptico posee cuatro microcontroladores conformando una estructura jerárquica maestro-esclavo bajo el estándar I2C. El circuito supervisor realiza tareas de comunicación bidireccional entre sus microcontroladores esclavos y el exterior adaptando el formato de datos al estándar IEEE.802.3. Posee un servidor Web que permite monitorizar el estado del transceptor remotamente con independencia geográfica. El circuito supervisor además, ejecuta los algoritmos de control de la temperatura del aire del interior del transceptor y de predicción antivaho.

6. Un circuito electrónico conmutador multipuerto convertidor de medio. El transceptor óptico se conecta a la red WAN mediante el estándar IEEE 802.3 TX de par trenzado 100/1000. Estas señales son transformadas por un circuito conmutador multipuerto permitiendo la conexión de múltiples transceptores ópticos en un mismo nodo a la vez que las convierte al formato IEEE 802.3 FX diferencial 100/1000, formato serie con el que se modula un transmisor láser y un receptor láser basado en fotodiodo de avalancha.

7. Un sistema mecánico de guiado controlado por motores paso a paso que permite dirigir el haz láser con precisión del microradián hacia un punto remoto del espacio. El aparato de guiado está formado por un soporte móvil que

permite alojar un sistema óptico que contiene un reflector catadióptrico que recibe luz en su plano focal y un colimador que concentra a un haz láser para ser transmitido. La estructura mecánica contiene una disposición de engranajes que permiten el movimiento micrométrico con dos grados de libertad, uno acimutal y otro de elevación del soporte, que aloja al sistema óptico. El movimiento angular se realiza con una precisión del microradián. La estructura electrónica consta de dos motores paso a paso que pueden girar mediante saltos variables y cuyos ejes mueven engranajes reductores de la estructura mecánica. También contiene cuatro sensores electroópticos que permiten detectar los fines de carrera en los movimientos de acimut y elevación. La estructura y sus dimensiones permiten alojar tubos ópticos de hasta 10 cm de diámetro y soportar pesos de hasta 3 Kg. El objeto del sistema de guiado es el direccionamiento preciso de haces láser colimados hacia blancos situados entre 100 m y 2000 m, a la vez que recibir otro haz similar en el mismo plano de emisión.

8. Un sistema óptico duplexor que permite la transmisión y la recepción simultánea de haces láser polarizados bajo el mismo eje óptico. Las soluciones actuales propuestas hacen uso de sistemas ópticos separados para el transmisor y el receptor. El sistema duplexor que se presenta polariza los haces láser a transmitir de manera que un solo sistema óptico permite el procesamiento bidireccional de los haces transmitidos y recibidos consiguiendo bajar los costes y facilitar el alineamiento y el seguimiento posterior. El sistema consta de un reflector catadióptrico que transmite y recibe haces láser polarizados que son dirigidos, de acuerdo con su sentido y estado de polarización, al exterior (haz transmitido), o al interior (haz recibido), mediante un cubo polarizador partidor de haz, espejos y lentes. El haz láser transmitido, guiado por un espejo, se hace pasar por un cubo partidor de haz polarizante que permite la división del haz en dos haces perpendiculares linealmente. Si el láser se encuentra polarizado total o parcialmente, éste debe orientarse de manera que el cubo refleje la máxima componente S. La componente reflejada es adaptada mediante una lente divergente para adecuar el haz al plano focal del reflector de forma que éste transmita toda la energía con pérdidas mínimas. La distribución energética del haz láser que minimiza la energía transmitida debe ser de característica anular. El láser transmitido se encuentra polarizado linealmente en un plano bien definido. El haz láser recibido procede de un duplexor homólogo que envía igualmente un haz polarizado linealmente pero en un plano perpendicular al haz láser transmitido. Éste atraviesa el mismo reflector catadióptrico y se adapta mediante la misma lente divergente pasando por el mismo cubo polarizador que identifica una componente refractada P'. La componente refractada (recibida), sigue un camino óptico distinto a la reflejada S (transmitida), pasando por un espejo de guiado e incidiendo sobre el sistema óptico del receptor. El haz láser transmitido es generado por un láser de estado sólido con irradiancia anular que se encuentra térmicamente controlado y modulado mediante los circuitos electrónicos del transmisor. El láser es colimado mediante una lente esférica antes de ser dirigido hacia el cubo polarizador. El haz láser recibido es procesado por un sistema óptico consistente en una lente convergente que proyecta el haz sobre una lente hemisférica que se encuentra adosada a una fibra óptica de polímero que conduce la energía luminosa hacia un fotodiodo de avalancha igualmente, térmicamente controlado, y amplificado con circuitos electrónicos de gran sensibilidad.

9. Un sistema termorregulador que mantiene a los dispositivos "diodo láser transmisor" y "diodo de avalancha receptor" controlados térmicamente en una franja óptima que maximiza la vida media de estos componentes. El sistema termorregulador que se presenta genera un gradiente térmico de flujo simétrico que mantiene a los dispositivos libres de tensiones mecánicas internas aumentando así su durabilidad. El termorregulador consta de un dado metálico conductor del calor que alberga en su eje central a la capsula cilíndrica del dispositivo electrónico a controlar térmicamente. Dicho dado se encuentra en una cavidad adiabática conectado a cuatro celdas peltier en cuatro de sus lados. El intercambio térmico del dado se realiza a través de las caras de las cuatro celdas peltier que absorben o ceden calor al dado. La otra cara de cada una de las celdas peltier está conectada a un disipador térmico que intercambia el calor con el aire circundante forzado por ventiladores. La geometría que conforma el conjunto permite garantizar, tal como se muestra por simulación térmica, que el flujo de calor generado en el dado posee forma radial y con simetría axisimétrica en torno al eje que contiene la capsula cilíndrica del dispositivo electrónico.

10. Un circuito electrónico transmisor láser controlado por microcontrolador que permite gestionar la potencia transmitida, el índice de modulación y el estado térmico de un diodo láser de estado sólido. El microcontrolador puede administrar la potencia transmitida en función de las características dispersantes del vapor de agua de la atmósfera midiendo la temperatura y la humedad relativa del exterior. Para mantener la estabilidad en el funcionamiento del láser modulado se diseñan tres lazos de control: Un lazo de control térmico que mantiene al diodo en un estado térmico estable. Un lazo de control luminoso que mantiene su irradiancia estable debiendo medirse con un fotodiodo externo para, una vez cerrado el lazo, controlar la corriente de polarización del láser y, por tanto, su potencia transmitida y un lazo de control del índice de modulación. A la corriente de polarización controlada, debe sumarse la corriente de la señal moduladora que hace excursionar la irradiancia emitida en dos niveles definidos. La profundidad de modulación también debe encontrarse en un lazo de control que optimiza la potencia media transmitida. La distancia entre los dos niveles de luminosidad es controlada para una determinada irradiancia. Por otro lado, los esquemas de alimentación eléctrica del diodo láser y de los dispositivos que conforman las unidades de control y modulación también son altamente estables y de muy bajo ruido. Los dispositivos de conmutación tales como el microcontrolador se alimentan mediante fuentes de alimentación separadas que impiden la transmisión de impulsos o espigas parásitas.

11. Un circuito electrónico receptor láser controlado por microcontrolador que permite gestionar la sensibilidad, la ganancia y el estado térmico de un fotodiodo de avalancha de estado sólido. El microcontrolador puede administrar la sensibilidad en función de las características dispersantes del vapor de agua de la atmósfera midiendo la temperatura y la humedad relativa del exterior. El aparato receptor presentado efectúa tres lazos de control: uno térmico, otro de sensibilidad del fotodiodo y otro de ganancia RMS. El microcontrolador lee el estado térmico del fotodiodo de

avalancha mediante sensores de temperatura y actúa a través de un circuito de control de potencia sobre un aparato termorregulador de flujo simétrico basado en celdas peltier que, cerrando el lazo, mantienen estable su temperatura. La fotosensibilidad del fotodiodo es programada por el microcontrolador a un valor determinado y la mantiene en un lazo de control cerrado sensando la corriente de polarización del fotodiodo a través del amplificador logarítmico y su filtro asociado. La ganancia RMS es programada por el microcontrolador en el amplificador de ganancia programable cerrando un tercer lazo de control con la medida de la potencia estimada por el detector RMS. El aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha posee un esquema de alimentación libre de ruidos construida a partir de un esquema de prerregulación que lleva una tensión estable a un conjunto de reguladores de tensión de bajo ruido a los circuitos en los que el bajo ruido es un factor determinante. El microcontrolador posee una fuente independiente y los circuitos de potencia del termorregulador se alimentan con fuentes separadas.

12. Un circuito electrónico basado en microcontrolador que gestiona exclusivamente el seguimiento del haz láser entre dos transceptores manteniéndolo estable frente a cambios posicionales. El microcontrolador aplica un algoritmo de seguimiento maximizando la potencia del haz láser recibido y actuando sobre los motores paso a paso en el sistema mecánico de guiado micrométrico. El sistema de seguimiento comprende cuatro subsistemas: aparato de guiado, duplexor óptico, transmisor y receptor y una unidad de control que ejecuta de forma exclusiva el algoritmo de seguimiento. Distingamos entre proceso de alineamiento y proceso de seguimiento. En el primero, se fija un origen de coordenadas que determinará un valor máximo de la potencia recibida. El proceso de alineamiento se realiza manualmente por medios ópticos antes de realizar el proceso de seguimiento. Si el valor de la potencia recibida es $P_r(\theta_r, \varphi_r)$, el objetivo es conseguir el máximo que ocurre en $(\theta_r, \varphi_r) = (0,0)$. Una vez alineado este valor será el origen de coordenadas y el objetivo de maximizar la potencia recibida se verá cumplido. Un cambio en la dirección del transmisor implica un desplazamiento de coordenadas desde la posición (θ_r, φ_r) a la posición $(\theta_r - \delta_\theta, \varphi_r - \delta_\varphi)$. El proceso de seguimiento implica determinar los valores de δ_θ y δ_φ mediante el procedimiento que se presenta y hacer que esas diferencias sean lo más pequeña posibles. Las variables δ_θ y δ_φ son dependientes del tiempo ($\delta_\theta(t)$ y $\delta_\varphi(t)$), por lo que el mecanismo de seguimiento es un proceso dinámico. La búsqueda del máximo se hace en coordenadas polares y el proceso de búsqueda es secuencial. El método que se presenta está basado en la técnica de maximización conocida como "método del gradiente". El aparato de seguimiento está controlado por un microcontrolador que actúa sobre un aparato de guiado micrométrico que dirige a un sistema óptico basado en un aparato duplexor que focaliza el haz láser recibido, siendo éste procesado por un aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha que estima la potencia del haz P_r . A la vez, el aparato de seguimiento dirige a un aparato transmisor que emite un haz láser de potencia P_t que se focaliza a través del mismo sistema óptico duplexor hacia otro aparato de seguimiento remoto que realiza la misma función. Se forma así un par de aparatos de seguimiento situados en puntos remotos que emiten y reciben haces láser enfrentados. El microcontrolador que ejecuta el procedimiento de seguimiento se encuentra insertado en un lazo de control que incluye a los drivers que actúan sobre los motores paso a paso de elevación y acimut de un aparato de guiado pudiendo actuar en ellos fijando los valores angulares θ_r y φ_r respectivamente tras un proceso de alineamiento e inicialización. Por otro lado, el microcontrolador recibe la información del valor de la potencia recibida P_r suministrada por el aparato receptor. Dada una posición angular, la potencia recibida será $P_r(\theta_r, \varphi_r)$. Por otro lado, una vez activo el proceso de seguimiento, el microcontrolador también realiza el almacenamiento de las posiciones del máximo que representan la evolución de la trayectoria angular del sistema a lo largo del tiempo. Datos que se utilizan para la optimización de los parámetros del procedimiento de seguimiento presentado.

13. Un sistema de acondicionamiento del aire interior. La cubierta y la base de sustentación constituyen un recinto herméticamente cerrado por el que circula aire seco libre de polvo en un circuito de recirculación cerrado y controlado térmicamente. De esta manera se preservan a los elementos mecánicos y electrónicos de fenómenos de oxidación y a los elementos ópticos el permanecer en un ambiente limpio ausente de partículas dispersantes. El microcontrolador del sistema supervisor se encarga del control térmico del aire seco circundante. El aire interior se seca mediante un dispositivo de condensación- evaporación basado en celda peltier que se presenta en esta invención.

14. Finalmente, un sistema antivaho predictivo que impide la deposición de vaho en el visor y eliminando la posibilidad de que se produzcan dispersiones de los haces láser por vapor de agua depositado. Se presenta en esta invención un algoritmo antivaho predictivo ejecutado por el sistema supervisor que tiene en cuenta la temperatura del aire y la humedad relativa ambiental y que evita absolutamente la deposición de vaho sobre el visor. El procedimiento antivaho predictivo se anticipa en la actuación de mecanismos que bajan localmente la temperatura de rocío en torno a superficies expuestas a ambientes exteriores en los que debe evitarse la condensación, partiendo del conocimiento de la temperatura de rocío del aire y de la temperatura del objeto y actuando mediante dos acciones: la disminución de la humedad relativa del aire que rodea al objeto y el aumento de la temperatura de la superficie del mismo.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

La Figura 1 muestra, de forma esquemática, un enlace óptico entre dos transceptores.

La Figura 2 muestra un diagrama de los módulos funcionales y el conexionado de las partes del transceptor óptico objeto de esta invención.

ES 2 360 040 A1

Las Figuras 3A, 3B, 3C y 3D muestran el transceptor óptico en su aspecto externo y en la disposición física de componentes internos.

Las Figuras 4A, 4B y 4C muestran vistas explosionadas, posterior, lateral y frontal de los componentes agrupados en funcionalidades del transceptor óptico.

La Figura 5 muestra detalles del soporte de anclaje a muro y el mecanismo de orientación grueso del transceptor.

Las Figuras 6A, 6B, 6C y 6D muestran la base de sustentación de los componentes y los componentes del sistema de acondicionamiento de aire del interior del transceptor óptico.

La Figura 7 muestra la cubierta externa del transceptor y sus componentes asociados: visor, sensor de temperatura, actuador antivaho y paneles de aislamiento térmico.

Las Figuras 8A, 8B y 8C muestran un diagrama que muestra la relación de los elementos que conforman el sistema de alimentación eléctrico del transceptor y la disposición de sus componentes en el chasis y tarjeta de circuito impreso.

Las Figuras 9A y 9B muestran los componentes electrónicos del sistema supervisor y su disposición en una tarjeta de circuito impreso.

Las Figuras 10A y 10B muestran los componentes electrónicos del conmutador multipuerto y convertidor de medio en una tarjeta de circuito impreso.

Las Figuras 11A, 11B y 11C muestran distintas vistas del sistema electromecánico de guiado micrométrico.

Las Figuras 12A y 12B muestran el aparato de guiado soportando el sistema duplexor óptico y el transmisor láser.

La Figura 13 representa los planos y ejes de giro del aparato de guiado micrométrico.

Las Figuras 14A y 14B muestran la cadena cinemática de ejes acoplados de acimut y elevación.

La Figura 15 representa una vista explosionada de las piezas de la estructura principal del aparato de guiado micrométrico.

La Figura 16 muestra el mecanismo sensor fin de carrera del aparato de guiado.

Las Figuras 17A, 17B y 17C muestran distintas vistas del aparato duplexor óptico.

Las Figuras 18A y 18B representan el aparato duplexor sobre el aparato de guiado con el transmisor láser y el receptor, ambos con termorreguladores de flujo simétrico.

Las Figuras 19A y 19B representan el aparato duplexor con dos vistas de la disposición de los componentes ópticos para la división del haz transmitido y recibido.

La Figura 20 muestra una sección del aparato duplexor óptico mostrando los elementos y partes del reflector catadióptrico transmisor-receptor y los tres ejes ópticos.

Las Figuras 21A y 21B ilustran el camino de los haces transmitidos y recibidos diferenciando las componentes refractadas y reflejadas según las procesa el cubo polarizador.

Las Figuras 22A y 22B muestran dos características de irradiancia anular válidas para la transmisión-recepción eficiente del aparato duplexor óptico.

Las Figuras 23A y 23B muestran el mecanismo de enfoque de la lente divergente del duplexor y el soporte ajustable de los espejos de primera superficie y cubo polarizador.

Las Figuras 24A y 24B muestran los detalles de las monturas seccionadas de la óptica del transmisor y el receptor.

Las Figuras 25A y 25B muestran dos vistas del aparato termorregulador de flujo simétrico.

Las Figuras 26A y 26B representan dos vistas del aparato termorregulador montado sobre el transmisor láser.

La Figura 27 representa una sección transversal media del aparato termorregulador permitiendo ver las partes interiores tales como el dado, las celdas peltier y el intercambiador de calor.

La Figura 28 muestra una vista explosionada del aparato termorregulador con todos sus componentes.

Las Figuras 29A y 29B muestran dos tipos de dados para dos tipos de cápsulas estándar TO5 y TO46 asociadas en esta realización a un diodo láser VCSEL y a un fotodiodo de avalancha respectivamente.

ES 2 360 040 A1

Las Figuras 30A y 30B muestran, para los datos de las Figuras 29A y 29B, los resultados de la simulación térmica y el trazado de los correspondientes gradientes térmicos mostrándose su carácter simétrico en torno al eje del dado.

La Figura 31 muestra el diagrama esquemático del driver y la unidad de control del sentido de la corriente en las celdas peltier del termorregulador.

La Figura 32 muestra el diagrama de bloques funcionales que conforma el lazo de control del aparato termorregulador.

La Figura 33 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato transmisor láser termorregulado con control embebido.

Las Figuras 34A y 34B muestran la disposición de componentes del transmisor en la parte anterior y posterior, respectivamente, de la tarjeta de circuito impreso.

Las Figuras 35A y 35B muestran la vista superior e inferior, respectivamente, del aparato transmisor con el termorregulador de flujo simétrico.

La Figura 36 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato receptor láser basado en fotodiodo de avalancha termorregulado con control embebido.

Las Figuras 37A y 37B muestran la disposición de componentes del receptor en la parte anterior y posterior, respectivamente, de la tarjeta de circuito impreso.

Las Figuras 38A y 38B muestran respectivamente una vista anterior y posterior del aparato receptor con el termorregulador de flujo simétrico y la parte final del sistema óptico de captación del duplexor para la captación del haz láser modulado.

La Figura 39 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato de seguimiento.

La Figura 40 muestra dos aparatos de seguimiento instalados en sendos aparatos transceptores ópticos con haces enfrentados tal como se sitúan entre dos puntos remotos.

Las Figuras 41A y 41B del aparato de seguimiento que comprende los drivers, la unidad de control basada en microcontrolador, un aparato de guiado, un aparato duplexor óptico, un aparato transmisor y un aparato receptor.

Las Figuras 42A, 42B y 42C muestran el control de seguimiento y los drivers de los motores implementados sobre tarjetas de circuito impreso.

La Figura 43 muestra la disposición de componentes funcionales que intervienen en el sistema de acondicionamiento de aire del interior de la cubierta del transceptor óptico.

La Figura 44 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato antivaho predictivo para el visor del transceptor óptico.

La Figura 45 muestra una vista explosionada de la lámina calefactora unidireccional del actuador del aparato antivaho.

Las Figuras 46A, 46B, 46C y 46D muestran la dinámica convectiva del aire caliente realizada mediante simulación térmica para el visor del transceptor óptico para exteriores: líneas de flujo y velocidades, mapa de isotermas, humedad relativa y fracción de masa condensada.

La Figura 47 muestra, finalmente, el diagrama de flujo de datos del algoritmo de predicción o anticipación antivaho.

Descripción detallada de la invención

La presente invención propone una solución para realizar enlaces ópticos punto a punto (tal como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 1), la monitorización y la implantación de redes ópticas no guiadas en el espacio libre. Es objeto de la presente invención un sistema transceptor inteligente que constituye el nodo básico de comunicación de la red óptica mencionada.

La Figura 2 muestra un diagrama general funcional de cada una de las partes del transceptor inteligente con las interrelaciones entre los distintos subsistemas. Se ha representado el transceptor óptico 1 y sus partes estructurales: anclaje a muro y mecanismo de orientación grueso 2, base de sustentación de componentes 3, cubierta 4 y fuente de alimentación múltiple 5; englobando a los elementos funcionales interconectados a través del bus I2C 20: sistema supervisor 6, conmutador multipuerto y convertidor de medio 7, aparato de guiado 8, duplexor óptico 9, termorregulador 10, 10', transmisor 11, receptor 12, sistema de seguimiento 13 (compuesto por el control de seguimiento 18, drivers 19, 19' y los elementos funcionales 8, 9, 11 y 12), acondicionamiento del aire interior 14 y aparato antivaho predictivo 15.

ES 2 360 040 A1

El transceptor óptico 1 establece una comunicación entre cables de par trenzado 31, 31' que verifican el estándar IEEE802.3 100/1000 permitiendo la conexión a la red WAN cableada 16 o a otro transceptor 1' homólogo. La invención presentada permite el desarrollo y la instalación de una red de comunicación óptica basada en nodos formados por transceptores ópticos inteligentes 1. Cada nodo puede estar constituido por dos o más transceptores conectados entre sí y ubicados en un mismo asentamiento. Cada uno de los transceptores 1 apuntan emitiendo y recibiendo haces láser 158, 158' de otros transceptores homólogos 1' situados en otros asentamientos en lugares remotos que también conformarán otros nodos que apuntan de nuevo a otros y así sucesivamente. El conjunto constituye una red interconectada de nodos formando todo el conjunto lo que denominamos "red de comunicación óptica en el espacio libre". Cada transceptor inteligente 1 tiene capacidad de ceder sus variables de estado a la red, por lo que el conjunto de transceptores interconectados puede monitorizarse globalmente para labores de programación, supervisión y mantenimiento.

Las Figuras 3A, 3B, 3C y 3D muestran una realización física preferente del transceptor óptico inteligente 1 sin que por ello se reste generalidad mostrando el aspecto externo del transceptor con una vista artística y dos vistas desde diferentes ángulos, donde se ha suprimido la cubierta 4, de la disposición física de cada uno de los elementos funcionales enumerados anteriormente. Las Figuras 4A, 4B y 4C también muestran vistas explosionadas del transceptor 1 de los distintos elementos funcionales separados vistos desde las posiciones posterior, lateral y anterior.

Describimos a continuación cada una de las partes funcionales tal como se muestran en la Figura 2, figura que nos servirá de guía de enlace entre ellas.

Anclaje a muro y mecanismo de orientación grueso 2

De acuerdo con la Figura 5, el anclaje y mecanismo de orientación grueso 2 del transceptor óptico debe fijarse preferentemente a un muro de ladrillo y cemento u hormigón 21 sobre el que se insertan y fijan un perno roscado principal 27 y un perno roscado secundario 28, ambos de acero, sobre los que se asienta una plataforma móvil de aluminio con aleación de magnesio 24. Esta plataforma móvil 24 gira en torno al eje acimutal 22 colineal con el perno principal 27 teniendo un recorrido angular limitado por el perno secundario 28. Determinada la posición acimutal del transceptor, la plataforma móvil se fija con los tornillos roscados en ambos pernos. Sobre la plataforma móvil 24 se atornillan piezas de aluminio en L 25, 25' sobre los que se han practicado un eje de elevación 23 y una ranura radial sobre los que se fijan otras dos piezas de aluminio en L 26, 26' constituyendo el soporte de la base de sustentación de componentes 3. Las piezas 25, 25' permiten el giro de elevación de las piezas 26, 26' a través del eje de giro 23 soportado también por pernos de acero. Sobre las ranuras radiales al eje de elevación de las piezas 25, 25' se insertan tornillos que limitan y fijan el giro de elevación. Determinada la posición de elevación del transceptor, las piezas del soporte 26, 26' se fijan con los citados tornillos. El conjunto de anclaje a muro y mecanismo de orientación grueso conforman una estructura rígida que soporta las fuerzas generadas por el transceptor al recibir vientos con velocidad superior a los 150 Km/h.

Base de sustentación de los componentes mecánicos, electrónicos, ópticos y de acondicionamiento del aire interior 3

En la realización preferente presentada, todos los componentes del transceptor, salvo la cubierta 4, se encuentran situados en una base de sustentación 3 adosada al sistema de anclaje en las piezas 26, 26'. Las Figuras 6A, 6B, 6C y 6D muestran vistas de la base de sustentación de componentes 3 desde la parte superior, inferior, lateral y en perspectiva artística respectivamente. La base 3 está construida en aluminio con aleación de magnesio reforzada con codos del mismo material en todo su perímetro. La base 3 contiene una serie de taladros para tornillos de fijación y orificios que comunican la parte interior del transceptor con el exterior a través de conectores eléctricos externos y los elementos del sistema de acondicionamiento del aire interior 13. En la base 3 se encuentran los orificios donde se insertan los siguientes conectores, todos cumpliendo la norma de aislamiento no inferior a la IP65: Interruptor conmutador general 29; pasamuros 29' del cable de entrada de red 30; conectores 31, 31' RJ45 para ethernet 100/1000; pulsador de reset general 32 accesible desde el exterior; conexión exterior 33 con la celda peltier del sistema de acondicionamiento de aire 51; conexión exterior 34 con los sensores de humedad relativa 44, de temperatura exterior 45 y turbinas 42 y 43; conexión exterior 35 con el actuador antivaho 59; conexión exterior 36 con el sensor de temperatura exterior del visor 58.

La base 3, en su parte superior está rodeada de una junta de caucho 39 en todo su perímetro que permite el cierre hermético con la cubierta 4. El sensor de temperatura interior 37 se encuentra próximo al orificio de salida del aire interior 40 con el fin de evaluar la temperatura del aire recirculante. El aire en el interior del transceptor es recirculante no renovándose, salvo pérdidas, con el aire exterior. El aire recircula por el interior entrando por el orificio de entrada 40' y saliendo por el de salida 40 impulsado por la turbina 42. En su viaje de recirculación, el aire pasa por los conductos 46 y 49, la turbina 42, el intercambiador de calor 50 y el filtro de partículas 41. En la parte inferior de la base también se encuentran las turbinas de recirculación 42 y de intercambio térmico 43, los conductos 49 y 46 por donde circula el aire interior, el conducto 47 por donde circula el aire de intercambio, la bomba de calor basada en celda peltier 51, los intercambiadores de calor 50, 50' y el condensador-evaporador 48.

Cubierta 4

La cubierta 4 proporciona a la base 3 una cavidad hermética que verifica la denominación IP66 de la norma IEC529. La cubierta 4 es una cavidad semicilíndrica formada por tres chapas de aluminio con aleación de magnesio que forman las tapas anterior y posterior 53, 53' y superior 52 de recubrimiento (Figura 7). La tapa superior 52 es una

ES 2 360 040 A1

chapa doblada de siete lados y un corte en uno de sus extremos por un plano de 15° que forma una visera sobre la tapa anterior 53. Bajo ésta se encuentra el visor 57 de forma circular realizado en vidrio VK7 con tratamientos anti reflexivo para la longitud de onda de trabajo y de eliminación de carga estática. La temperatura externa del vidrio del visor la mide el sensor de temperatura 58 situado en su parte inferior. El visor 57 se adosa a una corona circular de policarbonato 56 de baja conductividad térmica que a su vez se fija a la tapa anterior 53. Bajo el visor 57 se encuentra el efector actuador antivaho 59. La parte interior de la cubierta 4 se encuentra forrada de un aislante térmico basado en polipropileno y la parte exterior está pintada con una base de dióxido de titanio para facilitar la reflexión de la radiación infrarroja. El conjunto es tratado con siliconas para transformarlo en una cavidad estanca. La cubierta 4 se acopla a la base 3 mediante tuercas de mariposa (55, 55', 55''...) que se atornillan a los pernos (38, 38', 38''...), sobre el contorno rectangular de caucho 39 de la base 3.

Fuente de alimentación múltiple 5

La fuente de alimentación múltiple 5 proporciona las fuentes de energía eléctrica con la tensión y potencia adecuadas a cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos del transceptor. La Figura 8A muestra un diagrama indicativo de los elementos internos de la fuente de alimentación múltiple 5 y su conexionado con los distintos elementos externos. Con el fin de separar las perturbaciones que se propagan por la alimentación debidas al uso de motores y elementos de conmutación de alta corriente sobre los componentes sensibles del transmisor 11, el receptor 12 y microcontroladores, se utilizan tres fuentes de alimentación separadas. La primera sin regular, está destinada a la alimentación de celdas peltier, actuador antivaho y motores. Las dos restantes son fuentes reguladas para el resto de elementos electrónicos. Las Figuras 8B y 8C muestran el aspecto y la disposición de componentes de la fuente de alimentación 5 en la tarjeta de circuito impreso 60 y chasis 61. El interruptor conmutador general 29 y el cable de alimentación 30 se conectan a los conectores 88, 89, 90, 91 y 92 que alimentan a los primarios de los transformadores toroidales 62, 63 y 64 que a su vez se conectan con los puentes de diodos 65, 66 y 67 y los condensadores de filtro 68, 69 y 70 conformando tres fuentes de alimentación separadas. La primera (62, 65, 68) constituye una fuente no regulada de 16 Volts y 100 Watts que, a través de los conectores 71, 72 y 73, alimentan los motores del aparato de guiado 8, las celdas peltier y los ventiladores de los termorreguladores 10,10', la celda peltier y las turbinas del acondicionador de aire 14 y el actuador térmico del sistema antivaho 15 estos dos últimos con sus drivers instalados en el sistema supervisor 6. La segunda (63, 66, 69) a través del regulador integrado 74 conforma una fuente regulada de -12 Volts, 15 Watts, necesaria para alimentar los circuitos de alimentación simétrica del receptor 12. La tercera (64, 67, 70) conforma tres fuentes reguladas de +12 Volts a través de los reguladores 75, 76 y 77 con una potencia total de 30 Watts. Los conectores 78 y 79 proporcionan una conexión simétrica de +12,-12 Volts al receptor 12. El conector 80 proporciona una conexión de +12 Volts al circuito conmutador multipuerto y convertidor de medio 7. El conector 81 proporciona una conexión de +12 Volts al circuito del transmisor 11. La tensión regulada por el regulador 77 de +12 Volts, se vuelve a regular mediante tres reguladores en paralelo 82, 83 y 84 para proporcionar tres fuentes reguladas de +5 Volts que se conectan a los circuitos de alimentación del supervisor 6 a través del conector 85, los circuitos de alimentación del sistema de seguimiento 13 a través del conector 86 y a los circuitos de alimentación de los sensores de temperatura y humedad del los sistemas de acondicionamiento de aire 14 y predicción antivaho 15.

Supervisor 6

El sistema supervisor 6 realiza tareas de comunicación bidireccional entre sus microcontroladores esclavos (control de seguimiento 109, control del transmisor 230 y control del receptor 230') y el exterior adaptando el formato de datos al estándar IEEE.802.3 con dirección MAC registrada. Posee un servidor Web que permite monitorizar el estado de las variables del transceptor remotamente con independencia geográfica. El supervisor 6 además, ejecuta los algoritmos de control de la temperatura del aire del interior del transceptor y de predicción antivaho.

Las Figuras 9A y 9B muestran la tarjeta de circuito impreso en vistas superior e inferior con la disposición de los elementos de circuito del sistema supervisor. El conector 93 enlaza con la fuente alimentación múltiple 5 en el conector 85 de +5 Volts. El diodo led 94 indica el funcionamiento de la etapa post reguladora 111 que reduce la alimentación a 3.3 Volts necesarios para el microcontrolador 109 controlado por el cristal 110. Los diodos led 95, 96, 97, 98 y 99 visualizan los diferentes estados de control y las comunicaciones en operaciones de test. El conector RJ45 100 permite la comunicación ethernet de par trenzado con el conmutador multipuerto 7. El conector 101 permite la programación del microcontrolador 109. El pulsador 102 establece las condiciones de inicialización hardware del microcontrolador 109. El conector 103 recibe del conector 71 de la fuente de alimentación múltiple 6 la tensión de 16 Volts para los drivers 112 y 113 que activan el actuador antivaho 59 y la celda peltier del sistema de acondicionamiento de aire 51. El conector 108 es la salida de la tensión de potencia controlada que van a los conectores 33 y 35 de la base 4 donde se enlazan los citados actuador antivaho 59 y celda peltier 51. El conector 104 proporciona la salida de tensión para la activación de las turbinas 42 y 43 activadas por los drivers 114 y 115 a través del conector 34 de la base 4. El conector 105 se conecta al bus I2C 20. El conector 106 es una extensión del bus I2C donde se conectan los sensores de temperatura interior 37, temperatura exterior 45 y temperatura del visor 58 a través de los conectores 34 y 36 de la base 4. El conector 107 recibe las señales del sensor de humedad relativa 44 que enlaza con él a través de la conexión 34 de la base 4.

Conmutador multipuerto y convertidor de medio 7

El transceptor óptico se conecta a la red WAN mediante el estándar IEEE 802.3 TX de par trenzado 100/1000. Estas señales son transformadas por el circuito conmutador multipuerto 7 permitiendo la conexión de múltiples transceptores

ES 2 360 040 A1

ópticos en un mismo nodo a la vez que las convierte al formato IEEE 802.3 FX diferencial 100/1000, formato serie con el que se modula el transmisor láser 11 y el receptor láser 12 basado en fotodiodo de avalancha.

El conmutador multipuerto y convertidor de medio 7 está implementado en una tarjeta de circuito impreso siendo su distribución de elementos la mostrada por las Figuras 10A y 10B. El conector 116 enlaza con la fuente alimentación múltiple 5 en el conector 80 de +12 Volts. El diodo led 118 indica el funcionamiento de la etapa post reguladora 117 que, junto con los reguladores 130 y 131 conforman una fuente múltiple regulada de +5, +3.3 y +1.2 Volts necesarios para polarizar todos los circuitos que contiene. El principal elemento es el procesador 132 controlado por el cristal 133 dedicado a implementar un conmutador multipuerto de cuatro canales que verifican el estándar IEEE 802.3, tres de ellos con la norma de par trenzado 100/1000 y uno de ellos con la norma serie FX 100/1000. Dos de los puertos de salida de par trenzado 120 y 121 se conectan con el exterior a través de los conectores 31 y 31' de la base 4 permitiendo la conexión con la red WAN y con otro posible transceptor homólogo para constituir un nodo de múltiples transceptores. El tercer puerto de par trenzado 122 se utiliza para comunicar la red WAN con el supervisor 6 que proporciona la página web del transceptor junto con aplicaciones complementarias tales como telnet o ftp. Mediante la operación múltiple del conmutador y convertidor de medio 7 se permite que los datos relativos a la monitorización del sistema y los datos de usuario utilicen el mismo medio. El puerto serie con norma 100/1000 FX diferencial se presentan en los conectores coaxiales 123 y 124 para la señal transmitida y 125 y 126 para la recibida. Estos conectores coaxiales enlazan con sus homólogos coaxiales 238, 238' del transmisor 11 y 271, 271' del receptor 12 respectivamente. La inicialización hardware del conmutador 7 se realiza a través del pulsador 119. El conector 127 permite la conexión del conmutador 7 al bus I2C con el fin de que el supervisor 6 pueda leer las variables de estado del mismo. Los diodos led 129 en un número de 12 visualizan el estado de cada uno de los puertos (tres diodos led por puerto). El conmutador 128 permite hacer funcionar al convertidor de medio en dos modos: modo normal y modo test. En el modo normal, el conmutador realiza sus funciones de acuerdo con el estándar. En el modo test, transmite secuencias de pulsos preestablecidas y generadas por el oscilador formado por los transistores 136 y 137 y el cristal 138. Los divisores de pulsos 134 y 135 permiten seleccionar una amplia gama de secuencias y frecuencias para realizar labores de testeo y cálculo del BER (Bit Error Rate).

Aparato de guiado micrométrico 8

El aparato de guiado micrométrico 8, mostrado en diferentes vistas en las Figuras 11A, 11B y 11C, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201001622, está constituido por un actuador electromecánico accionado por dos motores paso a paso, un motor de elevación 136 y un motor de acimut 137, formado por piezas móviles y engranajes que permiten el movimiento acimutal y de elevación de un soporte de amarre 138, preferentemente circular, encargado de sostener al duplexor catadióptrico 9 y al transmisor láser 11 de estado sólido colimado por lentes, tal como se muestra en las Figuras 12A y 12B. Su recorrido en el movimiento de acimut y elevación vienen determinados por cuatro sensores fin de carrera (dos sensores fin de carrera de elevación 139 para el giro en torno al eje de elevación y dos sensores fin de carrera de acimut 139' para el giro en torno al eje de acimut) que generan señales para la calibración y para delimitar un rango de seguridad o de posiciones admisibles. Los motores paso a paso se accionan mediante los driver 19, 19' y éstos se dirigen por el microcontrolador del sistema supervisor 6 que permite programar el tamaño de paso, la velocidad y la aceleración del motor. Estos datos se vuelcan en un bus estándar I2C pudiendo considerarse al conjunto como un sistema de control embebido que actúa en modo esclavo.

La mecánica del movimiento de cada uno de los planos móviles de acimut 140 y elevación 141 está formada por una cadena cinemática de tres ejes acoplados que transmiten el movimiento desde el motor paso a paso hasta el eje final que hace girar el soporte. El plano de acimut 140 sostiene al de elevación y en él se encuentran los dos motores que giran con el eje de acimut 150. El plano de elevación 141 se mueve encima del plano de acimut 140 y gira con el eje de elevación 151 (Figura 13).

A continuación se describe la acción de cada uno de los tres ejes acoplados (Figuras 14A y 14B). Partiendo del eje 152 del motor de elevación 136 (eje 152' del motor de acimut 137 para la Figura 14B), éste se ajusta a un tornillo sin fin de elevación 142 (tornillo sin fin de acimut 142' para la Figura 14B) que engrana con una corona helicoidal de elevación 143 (corona helicoidal de acimut 143' para la Figura 14B) de "n" dientes que mueve un segundo eje, eje de tracción de elevación 153 (eje de tracción de acimut 153' para la Figura 14B), consistente en un perno roscado (perno de elevación 144, perno de acimut 144') con paso de rosca "p". Una tuerca de tracción de elevación 145 (tuerca de tracción de acimut 145' para la Figura 14B) roscada al perno (144, 144'), se mueve linealmente una longitud de un paso de rosca "p" cada vez que la corona helicoidal (143, 143') da una vuelta. Si consideramos un motor paso a paso de "m" pasos por vuelta, un desplazamiento de longitud "p" ocurrirá cada m*n pasos de motor. Si la tuerca de tracción (145, 145') roscada al perno se utiliza como guía y elemento de tracción de un mecanismo de biela, transformaremos de nuevo el movimiento lineal en angular. El tercer y último eje, eje de elevación 151 (eje de acimut 150 en la Figura 14B), es el que finalmente sostiene a una biela (biela de elevación 146, biela de acimut 146') cuya guía engarza con la tuerca de tracción (145, 145') a través de un eje ranurado. Si la longitud entre el eje de tracción y el tercer eje es "l" (longitud de la biela), un movimiento de un paso de rosca "p", generará un movimiento angular de:

$$\Delta\alpha_{\text{paso de rosca}} = \tan^{-1}\left(\frac{p}{l}\right) \text{ radianes} \quad (\text{Ec. 1})$$

ES 2 360 040 A1

Así, un paso de motor generará un desplazamiento de ángulo de:

$$\Delta\alpha_{\text{paso de motor}} = \tan^{-1}\left(\frac{p}{l \cdot m \cdot n}\right) \cong \frac{p}{l \cdot m \cdot n} \text{ radianes} \quad (\text{Ec. 2})$$

La aproximación es correcta, ya que $\frac{p}{l \cdot m \cdot n} \ll 1$, por lo que el arco tangente se aproxima con gran precisión a su argumento.

Considerando valores convencionales de paso de rosca del orden del milímetro, longitudes de biela de varias decenas de milímetros, relaciones de engranaje tornillo-corona de 1:30 ó 1:40 y motores paso a paso de 400 pasos por vuelta, el movimiento angular conseguido por paso de motor es del orden de las millonésimas de radián o de algunas décimas de segundos de arco.

Si se apunta un haz láser a un blanco situado a una distancia entre 100 m y 2000 m en una plataforma móvil como la que hemos descrito, un paso de motor desplazaría el haz entre unas décimas de milímetro (a 100 m) y varios milímetros (a 2000 m).

Por otro lado, con el objetivo de diseñar la mecánica de los sensores fin de carrera 139, hemos de tener en cuenta que las carreras de los ejes de acimut 150 y elevación 151 deberán ser tales que permitan barrer áreas lejanas entre 100 m y 2000 m que se generen por desviaciones de haces láser debidas al movimiento de la base 2 que se asienta en las cubiertas de los edificios. La dinámica de un edificio puede generar un desplazamiento angular de la cubierta no superior a unas décimas de radián (no superior a 10°). Las desviaciones del haz por estos desplazamientos angulares llegarían a suponer desplazamientos lineales entre 15 m (a 100 m) y 300 m (a 2000 m).

La mecánica asociada a los sensores fin de carrera debe acumular todas las holguras que se sucedan y sumen en los tres ejes del movimiento de los planos de acimut y elevación. Por tanto, deben utilizarse estos planos para realizar la medida de la carrera. Cuando se realiza la calibración de los ejes debe tenerse en cuenta toda la holgura acumulada en la cadena cinemática.

Los sensores electroópticos reflexivos constan de un diodo led de infrarrojos y un fototransistor situados en el mismo plano y separados por una pantalla opaca. Son reflexivos; es decir, el diodo led se encuentra siempre iluminado y el fototransistor recibe la luz del led cuando ésta se refleja sobre un espejo móvil. El fototransistor se activa cuando se supera un umbral de iluminación. Para que este umbral no genere mecanismos de histéresis excesiva, la activación del fototransistor se hace mediante circuitos electrónicos comparadores de alta ganancia.

En una realización preferente, el aparato de guiado 8 se realiza en aluminio para la estructura, latón en los pernos (144, 144') y casquillos, bronce en las coronas helicoidales (143, 143'), nylon autolubricado con molibdeno en las tuercas de tracción (145, 145') y acero en tuercas y tornillos, incluido los tornillos sin fin (142, 142'). Todas las piezas se fresan o tornan bajo un sistema de control numérico CNC. Los motores paso a paso suministran 200 pasos/vuelta pero la electrónica de control asociada permite multiplicar hasta un factor 8 (1600 pasos/vuelta). Los sensores fin de carrera (139, 139') son electroópticos de reflexión (parejas diodo led-fototransistor), sin contactos mecánicos. Se usan cuatro sensores: dos sensores 139' para la carrera de acimut y dos sensores 139 para la de elevación.

Tal como se muestra en la vista explosionada de la Figura 15, la estructura mecánica principal está formada por cinco piezas principales: la base o biela de acimut 146', el bastidor 147, la biela de elevación 146, la base de amarre 148 y el soporte de amarre 138 (preferentemente cilindro de amarre).

La base o biela de acimut 146' es el elemento sobre el que se apoyan todas las piezas y es la sustentación de todo el conjunto incluyendo motores y sensores. Consta de un taladro central sobre el que se apoya el tornillo 154 del eje de acimut 150, cuatro taladros para la fijación externa y una guía 149' para la tuerca de tracción de acimut 145'. El mecanismo de biela se completa con el perno de acimut 144' y su tuerca de tracción 145' sujetos en el bastidor 147. La distancia entre el eje de acimut 150 y el eje de tracción de acimut 153' determina la longitud de la biela que en la realización presentada es de 40 mm. Sobre la base o biela de acimut 146' se sitúa el soporte que contiene los sensores electroópticos de fin de carrera de acimut 139'.

El bastidor 147 sostiene el soporte de los motores paso a paso (136, 137), el espejo de fin de carrera de acimut 155' (sujeto al bastidor 147 mediante un espárrago 157' solidario con el bastidor 147) y el soporte 156 de los sensores electroópticos de fin de carrera de elevación, tal como se muestra en la Figura 16, que representa el mecanismo de los sensores fin de carrera del aparato de guiado. Posee dos taladros perpendiculares por donde pasan los ejes de acimut 150 y elevación 151 a la vez que contiene los mecanismos de sujeción de los pernos de acimut 144' y elevación 144 en donde se insertan las coronas helicoidales (143, 143') de 40 dientes en esta realización movidas por los tornillos sin fin (142, 142'). Los pernos de elevación 144 y acimut 144' engranan con las correspondientes tuercas de tracción (145, 145'). El perno de acimut 144', la tuerca de tracción de acimut 145' y la base o biela de acimut 146' y su interacción constituyen el mecanismo de biela de acimut. El perno de elevación 144, la tuerca de tracción de elevación 145 y la biela de elevación 146 y su interacción constituyen el mecanismo de biela de elevación. Los pernos (144, 144') se sujetan al bastidor 147 mediante casquillos (casquillo del perno de elevación 158, casquillo del perno de acimut 158')

ES 2 360 040 A1

y tuercas (tuerca del casquillo de elevación 159, tuerca del casquillo de acimut 159'). En la Figura 15 también se muestra la tuerca 160 del eje de elevación y la tuerca 160' del eje de acimut.

La biela de elevación 146 es la pieza que junto con el perno de elevación 144 y la tuerca de tracción de elevación 145 y su interacción constituyen el mecanismo de biela de elevación. Consta de la guía 149 para la tuerca de tracción de elevación 145 y el eje de elevación 151 propiamente dicho. La distancia entre el eje de elevación 151 y el eje de tracción de elevación 153 nos dan la longitud de la biela de elevación. En la realización presentada es de 40 mm, misma longitud que la de la biela de acimut, lo que significa que la resolución del paso en los ejes de elevación y acimut es idéntica.

Las tuercas de tracción (145, 145') tienen forma cilíndrica con una ranura en el eje del cilindro que ajusta en las guías (149, 149') de las bielas (146, 146'). El roscado es perpendicular al cilindro.

La base de amarre 148 es una pieza situada perpendicularmente sobre la biela de elevación 146, siendo el soporte o base del soporte de amarre 138 que sujeta el tubo del duplexor óptico 9 y el transmisor láser 11.

La desviación angular generada por cada paso de motor en cada uno de los ejes de acimut y elevación para la realización presentada considerando el uso de un perno de paso de rosca M8 estándar ($p=1.25$ mm), una corona de 40 dientes ($n=40$), un motor paso a paso de 400 pasos/vuelta ($m=400$) y distancia de biela de 40 mm ($l=40$ mm), la desviación angular será:

$$\Delta\theta_{\text{elevación}} = \Delta\varphi_{\text{acimut}} = \Delta\alpha = \frac{1.25}{40 \cdot 40 \cdot 400} = 1.95 \times 10^{-6} \text{radianes} \quad (\text{Ec. 3})$$

Así a 100 m la desviación lineal de un haz láser soportado en el sistema por paso de motor será de:

$$\delta_{\text{paso de motor}}(100m) = 0.195mm \quad (\text{Ec. 4})$$

Y a 2000 m será:

$$\delta_{\text{paso de motor}}(2000m) = 3.9mm \quad (\text{Ec. 5})$$

Para que los sensores de fin de carrera (139, 139') registren todas las holguras acumuladas debidas a la sucesión del movimiento generado en los tres ejes acoplados (152, 153, 151; 152', 153', 150), los espejos de reflexión (155, 155') de éstos se sitúan en los planos de acimut 140 y elevación 141 girando sobre los ejes de acimut 150 y elevación 151.

El mecanismo sensor fin de carrera consta de tres piezas, tanto para la carrera de acimut, como para la de elevación: soporte (156, 156'), tarjetas sensor (139, 139') y el espejo fin de carrera (155, 155').

El soporte (156, 156') sujeta las tarjetas sensor (139, 139'). Hay un soporte para cada carrera. El soporte de la carrera de acimut 156' se encuentra fijado a la base o biela de acimut 146' y el soporte 156 de la carrera de elevación al bastidor 147.

Las tarjetas sensor en un número de dos por carrera, contienen la estructura diodo-fototransistor y la red de polarización. Cada pareja diodo-fototransistor de cada carrera se encuentra posicionada de acuerdo con el perímetro de una circunferencia de 40 mm de radio con centro en los ejes de acimut 150 y elevación 151 y distanciados un ángulo de 50°.

Los espejos fin de carrera (155, 155') tienen forma de sector de corona circular. El espejo de fin de carrera de acimut 155' se encuentra fijado mediante un espárrago 157' al bastidor 147, y el espejo de fin de carrera de elevación 155 se encuentra fijado mediante otro espárrago 157 a la biela de elevación 146. Estos espejos (155, 155') giran solidariamente con el eje de acimut 150 y de elevación 151 respectivamente. El sector de corona circular del espejo se extiende un ángulo de 40° y barre el perímetro de una circunferencia con centro en los ejes de acimut 150 y elevación 151 y radio de 40 mm. Así cuando gira a derechas y a izquierdas partiendo de una posición central de referencia barre ángulos de 5° antes de que se genere una reflexión y la activación de un fototransistor. El barrido completo de cada carrera es, por tanto, de 10°.

En una realización preferente del sistema electrónico de control, los motores paso a paso son de precisión (1.8°/paso - una vuelta en 200 pasos), se alimentan en corriente por los drivers 19, 19' en configuración bipolar que son gestionados por el control de seguimiento 18 que permite el posicionamiento de hasta 1/16 del paso base. El control de

seguimiento 18, a la vez, permite el control de la secuencia de pulsos y la programación de la velocidad y la aceleración del motor. Las comunicaciones con el microcontrolador se realizan mediante el bus I2C 20 en modo esclavo.

Los sensores fin de carrera generan señales de pulso que son tratadas mediante comparadores de alta ganancia para minimizar la histéresis entre la subida y bajada del pulso. El sistema de seguimiento 16 ejecuta un algoritmo de calibración actuando sobre los motores paso a paso y posicionando a los planos de acimut y elevación en una posición de referencia. El movimiento de los planos respecto de la posición de referencia sigue el estándar propuesto en óptica para coordenadas esféricas.

En una realización preferente del algoritmo de calibración, si llamamos φ_{\min} al ángulo acimutal más negativo y φ_{\max} al más positivo, y θ_{\min} al ángulo de elevación más negativo y θ_{\max} al más positivo, definimos los rangos de posiciones admisibles como los intervalos $[\varphi_{\min}, \varphi_{\max}]$ para el plano de acimut y $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ para el de elevación.

El algoritmo de calibración se realiza siguiendo tres secuencias que describen el procedimiento válido para ambos ejes:

1. Cálculo de la holgura total: la holgura total posee una componente mecánica debida a los ejes y otra eléctrica de histéresis debida a los sensores. El cálculo de la holgura total se realiza en los siguientes pasos:

- Desde la posición actual, se dirige el espejo hacia el sensor de fin de carrera correspondiente al ángulo mínimo que activará una señal de parada una vez alcanzado. Una vez allí, se dirige el espejo en sentido contrario hasta que la señal de parada se desactive. En este punto el espejo está posicionado sobre el ángulo mínimo.
- Se dirige el espejo de nuevo hacia el sensor correspondiente al ángulo mínimo. Cuando se active de nuevo la señal de parada, el número de pasos realizados se corresponderá con la holgura acumulada de toda la cadena cinemática mecánica y eléctrica. Este valor se almacena como valor de compensación de holgura, y se utilizará a partir de este momento para el resto de los movimientos que realicemos que impliquen un cambio de sentido.
- Se dirige el espejo hacia el ángulo mínimo. Este movimiento no mueve al eje. En este momento estamos justo sobre el ángulo mínimo con la compensación de holgura aplicada.

2. Cálculo del rango total: Desde el ángulo mínimo se dirige el espejo hacia el sensor fin de carrera correspondiente al ángulo máximo. Este se alcanza cuando se vuelva a interrumpir la señal de parada. En este momento el espejo está sobre el ángulo máximo, siendo el rango el número de pasos dados. El origen se encontrará en la mitad del número de pasos computados cuyo valor es almacenado.

3. Posicionamiento en el origen de coordenadas: Desde la posición del ángulo máximo, se dirige el espejo en sentido contrario hacia el valor almacenado en la fase anterior. En este momento el espejo está posicionado en el origen de coordenadas del eje correspondiente. Como ha cambiado el sentido de giro se realizará la compensación de la holgura almacenada en el paso 1.

Desde el punto de vista angular el sistema de guiado que ejecuta este algoritmo, el número de pasos es escalado de acuerdo con la expresión (Ec. 2). De esta manera, el ángulo en radianes recorrido es:

$$\text{no. de pasos} \cdot \Delta\alpha \equiv \text{ángulo en radianes} \quad (\text{Ec. 6})$$

Duplexor óptico 9

El aparato duplexor óptico 9 se caracteriza por procesar dos haces láser polarizados linealmente en dos planos perpendiculares que se propagan de forma bidireccional sobre un único eje óptico. El aparato duplexor óptico 9, mostrado en diferentes vistas en las Figuras 17A, 17B y 17C, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201001619, está constituido por un tubo reflector catadióptrico 161 adosado a una caja o carcasa 162 rectangular que contiene los elementos ópticos y mecánicos para el transmisor láser 11, el receptor láser 12, ambos con termorregulación (10-10') tal como muestran las Figuras 18A y 18B. El conjunto, salvo el receptor, se sostiene en el aparato de guiado 8 que permite el movimiento acimutal y de elevación con precisión micrométrica. Los haces láser transmitidos 158 y recibidos 158' salen y entran del tubo reflector catadióptrico 161 por la ventana 160 de forma de corona con un círculo central opaco 159. En la parte inferior de la caja 162 se encuentra el tornillo 163 que ajusta la posición del espejo primario del reflector 161. Toda la estructura metálica está construida en aluminio: tubo reflector catadióptrico 161 y caja 162 con un recubrimiento antirreflejo. La caja 162 además, está cubierta interiormente por fieltro absorbente.

Las Figuras 19A y 19B muestran los elementos del sistema óptico incluidos en el interior de la caja 162. El tubo reflector catadióptrico 161 se encuentra atornillado a un soporte 164 sobre el que se adosa una base perpendicular 165 que aloja el sistema óptico del transmisor 166 y del receptor 166', dos espejos de primera superficie 167 y 167' que dirigen respectivamente el haz transmitido y recibido, un cubo polarizador partididor de haz 169 que separa los haces transmitidos y recibidos y, finalmente, un sistema óptico de adaptación al reflector catadióptrico basado en una lente divergente 170. Los espejos 167-167' y el cubo polarizador 169, se encuentran instalados en soportes móviles 172 que

ES 2 360 040 A1

permiten su movimiento angular en el espacio. Los espejos de primera superficie 167-167' son unos espejos especiales que generan una sola reflexión, mientras que los espejos normales hacen dos: una en la superficie espejante y otra en el cristal externo. Estos espejos solo tienen una superficie espejante de aluminio hecha por deposición de vapor.

5 La Figura 20 muestra una sección del tubo reflector catadióptrico que cubre un plano conteniendo a los tres ejes ópticos 180, 181, 182 por los que concurren los haces transmitidos y recibidos. El reflector catadióptrico 161 y sus elementos constituyen un telescopio del tipo Maksutov-Cassegrain. Posee un espejo primario 174 con forma de corona circular y esférico en la realización presentada (podría ser elíptico), un espejo secundario 175 de forma circular y esférico adosado a una lente correctora tipo menisco 176 con dos radios de curvatura, el primero idéntico al del
10 espejo secundario. El espejo secundario 175 genera una zona de sombra opaca 159 en el exterior del menisco 176. El espejo primario 174 está sujeto a un cilindro hueco 179 móvil que se mueve en la dirección del eje óptico por un segundo cilindro hueco 177. El cilindro móvil 179 es solidario al tornillo 163 (tornillo de enfoque), y permite ajustar la posición del espejo primario 174. El tubo hueco 177, junto con la cazoleta tronco cónica 178 impiden la entrada de haces doblemente reflejados superiores a un determinado ángulo (65 miliradianes en la realización presentada). Los
15 haces transmitido y recibido pasan simultáneamente a través del tubo 177.

La distancia focal efectiva del reflector catadióptrico es función de la posición del espejo primario 174. Así, si las distancias focales del espejo primario 174 y del espejo secundario 175 son f_1 y f_2 respectivamente, y la distancia entre los dos espejos es I , la distancia focal efectiva f del reflector es:

20

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 - f_2 - I} \quad (\text{Ec. 7})$$

25

En la realización presentada, la distancia focal efectiva cambia entre 700 mm y 1200 mm en función de la posición del espejo primario 174 de 90 mm de diámetro. Así, las aperturas angulares que sustiende el reflector están entre 35 y 60 miliradianes aproximadamente.

30 El haz láser transmitido 158 producido por el diodo láser 183, tras ser colimado por el sistema óptico 166, se dirige por el eje óptico 181 hacia el espejo de primera superficie 167 donde es reflejado hacia el cubo polarizador 169. El cubo polarizador 169 refleja el haz en su componente S hacia el eje óptico 180. La componente refractada P del haz transmitido 158 seguirá por el eje 181 absorbiéndose en la pared de la caja 162. La energía transmitida por el eje 180 depende del estado de polarización del láser utilizado. Si el haz láser se encuentra polarizado en origen,
35 deberá orientarse mediante giro para maximizar la componente S pudiendo llegar a tener, en el mejor de los casos sin considerar pérdidas, el 100% de la energía. Si el haz láser no se encuentra polarizado en ninguna dirección, sólo será transmitido en el mejor de los casos, el 50% de la energía recibida en el cubo polarizador 169.

Tras ser focalizado por los elementos del reflector catadióptrico 161, se recibe por el eje 180 un haz láser recibido
40 158' polarizado linealmente y perpendicular al haz transmitido. Al atravesar el cubo polarizador 169, su componente mayoritaria P' se refracta pasando al eje óptico 182 hacia el receptor. Su componente minoritaria S' se refleja hacia el eje 181. La componente mayoritaria P' se dirige por el eje óptico 182 hacia el espejo de primera superficie 167' donde el haz recibido es reflejado hacia el sistema óptico del receptor 166'.

45 Las Figuras 21A y 21B ilustran el haz transmitido y recibido en planos perpendiculares y la acción del cubo polarizador para separar las componentes transmitida S y recibida P en dos caminos diferentes. Igualmente se muestra un diagrama esquemático de los haces transmitidos-recibidos y sus componentes S y P con trazados acordes con la óptica geométrica paraxial.

50 Supongamos que los haces transmitidos y recibidos se encuentran parcialmente polarizados ambos con componentes separables S y P. El haz transmitido 2SP se produce en el diodo láser 183 y es colimado por una lente esférica 203. El haz transmitido 158 incide sobre el cubo polarizador 169 separando el haz en las componentes 2S y 2P. La componente 2S la refleja hacia la lente divergente 170 y el tubo reflector 161, y la componente 2P la pierde por absorción en las paredes de la caja 162. La proporción energética entre las componentes 2S y 2P dependen del láser. En el peor de los casos (no polarización), se pierde la mitad de la energía. En el mejor de los casos (polarización lineal), la compo-
55 nente 2P no existirá y no habrá pérdidas. La componente 2S reflejada pasa por la lente divergente adaptadora 170 que ajusta la trayectoria de los rayos para maximizar la sección del haz y minimizar las pérdidas en el tubo reflector. En su camino, incide sobre el espejo secundario 175 que refleja el haz hacia el espejo primario 174 y, éste su vez, lo refleja hacia el menisco corrector 176 propagándose finalmente al espacio libre.

60

El haz recibido 2'SP proveniente del espacio libre desde un duplexor homólogo girado 90° (con componente P mayoritaria), y situado a gran distancia con una sección igual al diámetro del tubo reflector 161, entra por el menisco corrector 176, incide sobre el espejo primario 174 que lo refleja al espejo secundario 175 y, este a su vez, lo refleja hacia la lente divergente 170 colimándolo y haciéndolo incidir de nuevo sobre el cubo polarizador 169. El cubo polarizador
65 separa las componentes mayoritaria 2'P refractada y minoritaria 2'S reflejada dirigiendo la primera hacia la lente convergente 199 focalizando la energía en la lente hemisférica 200.

Para minimizar las pérdidas, las distribuciones de energía incidentes deben ser de forma anular. Para evitar la sombra producida por la posición del espejo secundario 175, la irradiancia de la energía incidente y transmitida deben tener forma de corona circular. Los diámetros mayor y menor de la corona deben coincidir con el diámetro del espejo primario y secundario respectivamente. En la realización presentada ambos diámetros son de 90 mm y 30 mm. Las Figuras 22A y 22B muestran distribuciones de energía anular válidas para la transmisión y recepción con el duplexor óptico presentado. La primera es característica de un láser VCSEL multimodo con forma de pétalos radiales y la segunda es característica de un láser tipo F-P procesado por una lente axicón. Sin restar generalidad, en la realización presentada se ha hecho uso de un láser VCSEL multimodo con la distribución de irradiancia mostrada en la figura 22A.

Las pérdidas energéticas deben minimizarse utilizando dispositivos ópticos con recubrimientos antirreflejantes, sintonizados a la frecuencia de trabajo. Así, la interacción del haz láser en su viaje con cada uno de los elementos ópticos que lo procesan, genera un factor de pérdidas P global ($0 < P < 1$), resultado de la contribución de cada uno de ellos. Si las pérdidas aportadas por el elemento i de la cadena óptica es P_i y existen 1, 2, 3...n elementos en la cadena, la pérdida total P en la cadena será:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (\text{Ec. 8})$$

En el camino del haz transmisor hay ocho elementos ópticos: 183, 203, 167, 169, 170, 175, 174 y 176. En el camino del haz receptor hay también ocho elementos: 176, 174, 175, 170, 169, 167', 199 y 200. En la realización presentada todos los elementos ópticos poseen pérdidas menores del 2%. Así según la expresión (6), el factor de pérdidas en transmisión y en recepción es inferior al 15%.

Las Figuras 23A y 23B muestran respectivamente las monturas móviles de la lente divergente 170 y de los espejos de primera superficie (167-167') y cubo polarizador 169. La arandela 185 sujeta la lente 170 al tubo móvil 184 con cajera para la lente que se desliza sobre el tubo 171. Los cilindros 187 (hueco sin rosca) y 186 (roscado), están adosados a los tubos 171 y 184 respectivamente de manera que se mueven solidariamente con ellos. La base 192 está fijada al tubo externo 171 y a la base principal 165. El tubo 171 posee una ranura 189 por la que se desliza el cilindro 186 solidario con el tubo 184. El tornillo 191 con cabeza de gran diámetro (mando de ajuste), y paso de rosca de 0.5 mm en la realización presentada, es pasante al cilindro 187 y roscado al 188. Entre los dos cilindros y el eje del tornillo se sitúa el muelle 190. La base de funcionamiento es la siguiente: el muelle 190 ejerce una fuerza sobre el cilindro 186 que hace desplazar al tubo 184 y a la lente solidaria 170 hacia el exterior. La posición de la lente depende de la longitud de tornillo roscada en 186. Teniendo en cuenta el paso de rosca empleado, en una vuelta del mando 191 la lente se desplaza 0.5 mm. El recorrido total en la realización es de 15 mm (30 vueltas).

Por otro lado, el soporte 172 de los espejos (167-167') y cubo polarizador 169, mostrado en la Figura 23B, es un soporte óptico estándar basado en la modificación de la posición de una superficie rectangular 193 cuyo plano puede cambiar en el espacio con la posición de dos tornillos de ajuste 194-194' situados en la diagonal del rectángulo. La superficie rectangular 193 se fija a través del tornillo 195 y el muelle 196 que la tensa con fuerza sobre los dos tornillos de ajuste. Los tornillos de ajuste 194-194' poseen un paso de rosca fino (0.25 mm/vuelta en la realización) que permiten mover la superficie rectangular 193 con precisión del miliradián. En la superficie rectangular 193 se adosan los espejos 167-167' y el cubo 169. Todos estos ajustes se realizan una sola vez con el fin de dirigir adecuadamente los haces transmitido y recibido. Una vez realizados, los tornillos 191, 194 y 194' se fijan con pegamento o lacre.

Las Figuras 24A y 24B muestran los sistemas ópticos de transmisión 166 y recepción 166', respectivamente. El sistema óptico del transmisor 166 tiene como objetivo colimar el haz láser generado por el diodo láser de estado sólido 183 que se encuentra encapsulado y emitiendo sobre una fina ventana óptica de vidrio (BK7 en esta realización). La lente 203 se fija sobre un cilindro roscado 202 que gira en su rosca con el cilindro 201 (0.5 mm/vuelta en la realización). La lente 203 es esférica con recubrimiento antirreflejo y permite, una vez ajustada la posición del láser emisor en su plano focal, transformar el haz generado en un haz paralelo de pequeña sección (4 mm de diámetro en la realización). El diámetro de la lente esférica deberá ser lo suficientemente grande como para no generar pérdidas en el haz recogido y para no producir fenómenos difractivos (6 mm de diámetro en la realización). El diodo láser 183 se encuentra encapsulado en la carcasa del sistema óptico del transmisor 166 que forma parte del sistema de termorregulación 10 siendo modulado por los circuitos electrónicos del transmisor 11.

El sistema óptico del receptor 166' posee tres elementos ópticos: una lente convergente 199, una lente hemisférica 200, ambas con recubrimiento antirreflejo, y una fibra óptica de polímero flexible 173. Por las características del sistema óptico presentado, el haz láser recibido se presenta como un haz paralelo de sección similar al transmitido. La lente colectora 199 focaliza el haz láser recibido en una lente hemisférica 200 pegada a una fibra óptica de polímero 173. El conjunto adapta la energía recibida para que sea recogida en prácticamente su totalidad. Por un lado, el haz es focalizado por la lente colectora 199 en una lente semiesférica (hemisférica) 200 que capta todos los haces recibidos con independencia de su ángulo en media esfera lenticular de 2.25 mm de diámetro. Una fibra óptica de polímero 173 recoge la energía para dirigirla hacia el fotodiodo de avalancha del receptor. La flexibilidad de la fibra y sus bajas pérdidas permite situar los circuitos del receptor 12 y el sistema de termorregulación del fotodiodo 10' a una cierta distancia del conjunto permitiendo la movilidad.

Termorregulador de flujo simétrico 10

El aparato termorregulador de flujo simétrico 10, mostrado en diferentes vistas en las Figuras 25A y 25B, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201001621, está constituido por un soporte anterior 206 y otro posterior 207 de policarbonato de baja conductividad térmica que contienen a una cavidad adiabática soportada por un bastidor, cuatro disipadores térmicos 209 y cuatro ventiladores 208. En la realización presentada, el aparato termorregulador 10 y sin restar generalidad, controla térmicamente a un diodo láser que se focaliza a través de un sistema óptico constituido por un tubo de enfoque 202 y una lente asférica 203, todo el conjunto montado mediante medios de fijación 215 (en la realización preferente, encastrados) a un transmisor 11, tal como muestran la Figuras 26A y 26B, con circuitos electrónicos para acceder a los terminales 216 de celdas peltier y de sensores de temperatura 210.

Las Figuras 27 y 28 representan respectivamente, una sección transversal y una vista explosionada del aparato termorregulador en las que se muestran todos los componentes que posee y su disposición. El bastidor 217 realizado en aluminio separa dos espacios, uno exterior y otro interior, el interior conteniendo al dado metálico 220 realizado en latón, cuatro celdas peltier 218 y los aislantes térmicos que comprenden aislantes laterales 219 entre celdas peltier, tapa posterior 222, cierre posterior 223, tapa anterior 224 y cierre anterior 225, que conforman una cavidad adiabática sobre el dado 220 en la que el intercambio térmico se realiza principalmente a través de las caras de las celdas peltier 218. En el eje del dado 220 se encuentra el dispositivo electrónico con simetría cilíndrica 221 (un diodo láser en la realización presentada), cuyos terminales son accesibles desde el exterior por el zócalo 213 siendo el haz láser transmitido por el lado opuesto a través del tubo de enfoque 202 y lente asférica con soporte 203. El espacio exterior que delimita el bastidor 217 junto con los disipadores térmicos 209 de aluminio constituye el intercambiador térmico mediante el aire forzado proporcionado por los ventiladores 208. Los tornillos de sujeción de la cavidad adiabática 227 son de plástico aislante (nylon), mientras que el resto 228, (229) y 230 (y 229) son de acero. El bastidor 217 se adosa a los soportes anterior 206 y posterior 207 con los tornillos 228 y arandelas 226. Los ventiladores 208 se atornillan a los soportes anterior 206 y posterior 207 con los tornillos 229. Los sensores de temperatura 214 y 210 se pegan, respectivamente, al dado 220 (con lo que el sensor de temperatura 214 constituye el sensor de temperatura del dado) y al bastidor 217 (con lo que el sensor de temperatura 210 constituye el sensor de temperatura del intercambiador térmico). Para maximizar el contacto térmico se han utilizado pegamentos y pastas térmicas de alta conductividad. Así, las celdas peltier 218 van pegadas al bastidor 217 en sus caras interiores (las del bastidor). El dado 220 presenta un contacto solidario con las caras de las celdas peltier 218 mediante pasta térmica (el dado contacta con pasta térmica y no va pegado con pegamento térmico). El dado se puede extraer del bastidor quitando los tornillos. El bastidor 217 está pegado con pegamento térmico con una cara de las celdas peltier 218. El tubo de enfoque 203 va pegado al dado 220 con un pegamento aislante térmico con el fin de evitar el intercambio térmico con el sistema óptico.

Las Figuras 29A y 29B muestran dos tipos de dados para dos tipos de cápsulas estándar TO5 y TO46 asociadas en esta realización a un láser VCSEL y a un fotodiodo de avalancha respectivamente. Las Figuras 30A y 30B muestran, respectivamente, el gradiente térmico en el dado para capsula cavidad TO5 y el gradiente térmico en el dado para capsula cavidad TO46, resultado de una simulación térmica, mostrándose su carácter simétrico en torno al eje del dado. En efecto, el gradiente térmico generado por la superficie cilíndrica proveniente de un dado con cuatro de sus caras contiguas a temperatura constante, posee geometría radial. Los efectos difusivos del calor dentro del dado considerándolo suficientemente grande (19 mm de lado en la realización presentada), hacen posible que un gradiente térmico inicialmente perpendicular a las caras del dado, terminen conformando una distribución radial en un cilindro situado en su eje central.

La Figura 31 muestra el esquemático del driver o controlador de las celdas peltier (231-231', 232-232', 233-233', 234-234', componentes situados en las tarjetas de circuito impreso del transmisor 11 y del receptor 12), con capacidad de control del sentido de la corriente eléctrica que circula por ella. La celda peltier 218, se conecta por cada uno de sus extremos a la salida de dos inversores CMOS contruidos con transistores MOSFET (M1-M3, M2-M4) de potencia (>10 A). La corriente que circula por sus fuentes confluye en un nodo común al que se conecta el transistor NMOS de potencia M5 pudiendo ser controlada la celda peltier 218 en modo On-Off a través de la base del transistor bipolar Q3 conectada a medios de procesamiento de datos (preferentemente al microcontrolador 230) a través de una salida C, con lo que si la salida C=0 (0 lógico) la celda peltier 218 está en funcionamiento y si la salida C=1 (1 lógico) la celda peltier 218 está apagada. Las bases de los transistores bipolares Q1 y Q2, también conectadas al microcontrolador 230 a través de las salidas A y B, activan complementariamente las correspondientes puertas de sus inversores CMOS asociados. Dado que las entradas de los inversores CMOS son complementarias, cuando uno de ellos está activado el otro está desactivado y viceversa. Un análisis de corrientes de esta topología, considerando el transistor M5 en conducción, demuestra que cuando el par M1-M3 está activado (M2-M4 desactivado), los transistores M1 y M4 entran en conducción. Así la corriente circula de izquierda a derecha según el sentido M1->218->M4, lo cual ocurre si la salida A=0 (0 lógico) y la salida B=1 (1 lógico). Contrariamente, cuando el par M1-M3 está desactivado (M2-M4 activado), los transistores M2 y M3 entran en conducción generándose una corriente de derecha a izquierda según el sentido M2->218->M3, lo cual ocurre si la salida A=1 (1 lógico) y la salida B=0 (0 lógico). Por tanto, este circuito permite intercambiar el sentido de la corriente que circula por una celda peltier haciendo que sus caras fría y caliente intercambien su papel en función de este sentido. Esta habilidad del termorregulador presentado hace posible alcanzar el objetivo de temperatura deseada en tiempos más cortos que con los métodos de control de termostato convencional, ya que gracias a este intercambio, se inyecta y extrae calor del dado forzosamente contribuyendo al incremento de la velocidad natural de difusión del calor en el material.

La Figura 32 muestra el diagrama de bloques funcionales en lazo cerrado para el control térmico del termorregulador de flujo simétrico. Los sensores de temperatura 214 (sensor de temperatura del dado) y 210 (sensor de temperatura del disipador/bastidor) proporcionan al microcontrolador 230 las temperaturas de cada una de las caras de la celda peltier (interior y exterior, respectivamente) permitiendo calcular la variable $\Delta T = T_h - T_c$. Por otro lado, el microcontrolador 230 puede actuar generando pulsos tipo PWM en el controlador de las celdas peltier (231-231', 232-232', 233-233', 234-234', componentes situados en las tarjetas de circuito impreso del transmisor 11 y del receptor 12), con control del sentido de la corriente en las celdas peltier, creando la corriente media que provoca el trasvase de calor de una cara a la otra de éstas. El controlador (231-231', 232-232', 233-233', 234-234'), cierra un primer lazo de control. Un segundo lazo se crea en la actuación del microcontrolador 230 sobre los ventiladores 208, que actúan intercambiando aire forzado con las aletas del disipador térmico 209. De acuerdo con las características de la celda utilizada en la realización presentada, la diferencia térmica máxima con transferencia de calor nulo es de $\Delta T = 66^\circ\text{C}$. Igualmente, el flujo de calor máximo transferido, a diferencia de temperatura nula, es de 28 vatios. Los ventiladores generan un flujo de aire máximo de $0.63 \text{ m}^3/\text{min}$. La resistencia térmica del disipador térmico es de 7°C/W bajando a un mínimo de 2°C/W aproximadamente con flujo máximo de aire forzado.

El mantenimiento de una temperatura objetivo en el dado es llevado a cabo por el conjunto en lazo cerrado: sensores de temperatura 210, 214, microcontrolador 230, actuación sobre la corriente y su sentido en las celdas peltier 218 y actuación en el volumen de aire inyectado hacia el disipador térmico por los ventiladores 208.

El algoritmo básico de termorregulación sobre el dado, sin restar generalidad, es el siguiente:

1. Fijar la temperatura objetivo del dado.
2. Fijar el valor de la variable de error.
3. Leer la temperatura del dado.
4. Leer la temperatura del disipador térmico.
5. Calcular la franja térmica de actuación de la celda peltier.
 - 5.1. Si la temperatura objetivo está dentro de la franja térmica, continuar.
 - 5.2. Si no es alcanzable la temperatura objetivo y no están activados los ventiladores, activar los ventiladores. Ir a 3.
 - 5.3. Si aun activados los ventiladores no se consigue la temperatura objetivo, cambiar la temperatura objetivo del dado a un valor que esté dentro de la franja de actuación salvo un límite inferior o superior en la franja (es una medida de seguridad para no alcanzar los límites máximos y mínimos de la franja garantizando las posibles dispersiones no lineales que puedan suceder). Ir a 3.
 - 5.4. Si la temperatura del dado supera los márgenes superiores e inferiores de un umbral de seguridad, desconectar el dispositivo a termorregular. Salir.
6. Comparar la temperatura del dado con la temperatura objetivo.
7. Actuar sobre las celdas peltier calentando o enfriando el dado hasta que la diferencia térmica alcance la variable de error.
8. Volver al paso 2.

Los periodos temporales de lectura y actuación deben verificar los criterios de estabilidad propios de la teoría de control conocida la constante de tiempo del sistema.

Considerando el algoritmo antes descrito, las medidas experimentales muestran que en ambientes con diferencias térmicas no inferiores a 22°C aproximadamente, puede encontrarse una temperatura del dado que se mantenga constante con independencia de los cambios térmicos que puedan producirse. Estos resultados son válidos para su aplicación en climas mediterráneos y centroeuropeos considerando que los cambios térmicos que se producen entre el día y la noche, por término medio, no superan los 20°C .

Las celdas peltier 218 se conectan en serie y actúan todas a la vez. De igual forma, los cuatro ventiladores 209 se activan todos a la vez, esto es, o se activan todos o ninguno.

Transmisor láser y unidad de control del transmisor 11

El aparato transmisor láser 11 emite una señal láser luminosa modulada en formato binario con las especificaciones del estándar de transmisión serie IEEE802.3 FX 100/1000. La Figura 33 muestra el diagrama funcional de bloques

ES 2 360 040 A1

del aparato transmisor 11, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201100112. Consta de un diodo láser de estado sólido 183, cuyas características de emisión pueden estar en la franja de longitudes de onda que van desde el espectro visible (680 nm) al infrarrojo lejano (15 micrómetros), con posibilidad de conmutar por encima de 1 Gbps y con potencias comprendidas entre 5 y 50 miliwatios (láseres de clase 3). Estos rangos son consistentes con la transmisión láser en el espacio libre. El diodo láser 183 contiene en su cápsula a un fotodiodo 183' que permite la medición de la irradiancia del haz láser emitido. En la realización presentada y sin restar generalidad, se ha empleado un diodo láser de cavidad vertical VCSEL multimodo con irradiancia anular de una longitud de onda de 850 nm e irradiancia máxima de 10 miliwatios.

El aparato transmisor láser se ha implementado en un circuito electrónico cuyos componentes se encuentran interconectados en una tarjeta de circuito impreso 237 de doble cara con especificación FR4. Los elementos del circuito se pueden agrupar por funcionalidades existiendo la posibilidad de realizar las mismas funciones con distintos elementos de circuito considerando las posibilidades que ofrecen diferentes fabricantes. La realización presentada es un caso particular no restando generalidad a las funciones que se reivindican.

El aparato transmisor láser implementa los siguientes elementos:

- Un driver 255 con entrada diferencial que permite definir el estado de polarización y de modulación del diodo láser mediante fuentes de corriente controladas a la vez que el senseo de la corriente del fotodiodo, de polarización y de modulación. El driver posee también un comparador que fija una corriente de seguridad límite. El driver fija la potencia requerida bajo el control de un microcontrolador.

- Una etapa de entrada diferencial 238, 238', 256 formada por un amplificador-comparador o conformador y un adaptador de nivel.

- Un conjunto de filtros 259, 260, 261 y conversores 257, 258 DAC y ADC para procesar las señales de entrada y de salida del driver bajo el control de un microcontrolador 230.

- Un microcontrolador 230 que gestiona las señales de entrada y de salida en tres lazos: térmico, de polarización y de modulación.

- Un circuito de prerregulación 253, 245, 80 previo a un conjunto de fuentes de alimentación de bajo ruido (263, 264, 265, 266) dedicadas *ad-hoc* a elementos funcionales concretos.

- Un circuito de control de potencia (231, 232, 233, 234) que permite cambiar el sentido de la corriente en las celdas peltier de un termorregulador de flujo simétrico 10 bajo el control del microcontrolador 230.

El microcontrolador 230 posee conexiones de entrada y salida que le permiten monitorizar su estado (239, 240, 241, 242, 243); establecer sus condiciones iniciales 244; comunicarse a través de el bus estándar I2C con otros microcontroladores en modo maestro-esclavo 248; acciones de entrada-salida on-off 249, 250; conexiones 251 con sensores de temperatura externos al aparato transmisor y un conector de entrada-salida serie para su programación externa 252.

La Figura 34A ilustra la vista anterior, sin restar generalidad, de una realización del aparato transmisor láser 11 que consta de un diodo láser 183 que contiene a un fotodiodo sensor 183' insertado en un zócalo 236 que lo conecta con la tarjeta de circuito impreso 237. La señal de entrada diferencial a transmitir se inyecta a través de los dos conectores BNC (238, 238') procedente de los conectores BNC del conmutador multipuerto y convertidor de medio (7), 123, 124. El diodo luminiscente 239 indica, si luce, la superación de la corriente de polarización límite en el diodo láser. Esta señal umbral actúa sobre el microcontrolador generando una interrupción y la ejecución de un programa de alarma. El diodo luminiscente 240 indica la condición de encendido del prerregulador. Los diodos luminiscentes (241, 242, 243) monitorizan el estado del microcontrolador en tareas de test. El pulsador 244 activa la señal de reset del microcontrolador para reiniciar sus funciones. Los conectores 245 y 246 son las entradas de las dos fuentes de alimentación independientes: una fuente de alimentación de potencia proveniente de la fuente de alimentación múltiple 5 a través de los conectores 71, 72 para el circuito de control térmico y el termorregulador, y otra fuente de prerregulación de bajo ruido 253 (ruido menor de 10 milivoltios), conectada igualmente a la fuente de alimentación múltiple 5 a través del conector 80. El conector 247 es una salida de alimentación controlada para las celdas peltier del termorregulador. El microcontrolador tiene la posibilidad de comunicarse con otros microcontroladores en modos maestro-esclavo mediante un bus estándar I2C 248 y señales de control 249, 250. El conector 251 recibe las señales de los sensores de temperatura y el conector 252 permite la programación serie del microcontrolador. El prerregulador 253 regula la tensión de entrada 247 previo a las sucesivas etapas de bajo ruido. El microcontrolador activa sus circuitos de tiempo mediante cristal 254.

La Figura 34B ilustra la vista posterior del aparato transmisor láser que consta del driver 255 del diodo láser con fotodiodo, el conformador diferencial de la señal de entrada y adaptador de niveles 256, los conversores DAC de "potencia requerida" 257 e "índice de modulación requerido" 258, los filtros paso bajo de la "corriente de modulación" 259, "corriente de polarización del láser", 260 y "corriente del fotodiodo", 261. El microcontrolador 230, los circuitos de control de potencia del termorregulador: inversor de corriente 231, 232 y 233 control de activación y transistores periféricos 234. El circuito 262 genera el nivel de referencia para los conversores ADC de microcontrolador 230.

Finalmente, se muestran los reguladores de bajo ruido para los filtros y conversores DAC, 263, etapa de entrada 265, y drivers (266, 267). Los reguladores de bajo ruido y referencia de tensión generan niveles de ruido menores de 10 microvoltios. El regulador convencional 264 suministra una tensión estable para el microcontrolador 230.

- 5 Las Figuras 34A y 34B muestran dos vistas del aparato transmisor láser con el termorregulador de flujo simétrico 10. El termorregulador 10 contiene un dado refrigerado que se adapta a la capsula TO46 del diodo láser utilizado en esta realización.

Receptor láser y unidad de control del receptor 12

10

El objeto del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha con control embebido es la recepción de una señal láser luminosa modulada en formato binario con las especificaciones del estándar para la recepción serie IEEE802.3 FX 100/1000.

15

La Figura 36 muestra el diagrama funcional de bloques del aparato receptor, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201100113. Consta de un fotodiodo de avalancha de estado sólido 268 cuyas características de recepción pueden estar en la franja de longitudes de onda que van desde el espectro visible (680 nm) al infrarrojo lejano (15 micrómetros), con ancho de banda por encima de 1 Gbps y con sensibilidad programable entre 0.5 y 50 Amperios/Watio ($0 \leq M(V_{pot}) \leq 100$).

20

El aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha se ha implementado en un circuito electrónico cuyos componentes se encuentran interconectados en una tarjeta de circuito impreso 270 de doble cara con especificación FR4. Los elementos del circuito se pueden agrupar por funcionalidades existiendo la posibilidad de realizar las mismas funciones con distintos elementos de circuito considerando las posibilidades que ofrecen diferentes fabricantes. La

25

Las funciones que implementa el receptor basado en fotodiodo de avalancha objeto de esta invención son las siguientes:

30

- Un generador de alta tensión 294 de bajo ruido con una tensión controlable mediante un microcontrolador 230' entre 0 y 150 Voltios.

35

- Un amplificador logarítmico 295 con una referencia de corriente de precisión 297 que procesa la fotocorriente del fotodiodo de avalancha en un rango de cinco décadas entre 5 nA y 500 uA siendo filtrada y enviada al microcontrolador 230' para su valoración.

40

- Un amplificador a transimpedancia diferencial 299 con autocero 300 que transforma la fotocorriente del fotodiodo de avalancha en fototensión adaptándola a un rango entre los microvoltios y los voltios eliminando la componente de corriente continua debida a fuentes luminosas no moduladas.

- Un driver 301 que recoge la señal de fototensión de salida simple y la transforma a salida diferencial para atacar a un amplificador de ganancia programable 303 bajo el control del microcontrolador 230'.

45

- Un detector de valor cuadrático medio RMS 302 que estima la potencia media de la señal moduladora recibida para enviarla al microcontrolador 230' para su valoración.

- Una etapa de salida diferencial 304, 271, 271' formada por un conformador de pulsos, adaptador de nivel y adaptador de impedancias.

50

- Dos conversores DAC 306, 308 que permiten, bajo el control del microcontrolador 230', la programación de la alta tensión aplicada al circuito de polarización del fotodiodo de avalancha y la programación de la ganancia en tensión de la etapa final de amplificación de la señal demodulada, respectivamente.

55

- El microcontrolador 230', que gestiona las señales de entrada y de salida y cierra tres lazos básicos: térmico, de fotosensibilidad y de ganancia RMS.

- Un circuito de prerregulación 279-279' previo a un conjunto de fuentes de alimentación de bajo ruido (293, 298, 305, 307, 313, 309, 310, 311, 312) dedicadas *ad-hoc* a elementos funcionales específicos.

60

- Un circuito de control de potencia 231', 232', 233', 234' que permite cambiar el sentido de la corriente en las celdas peltier de un termorregulador de flujo simétrico 10' bajo el control del microcontrolador 230'.

65

El microcontrolador 230' posee conexiones de entrada y salida que le permiten monitorizar su estado 272, 273, 274, 275; establecer sus condiciones iniciales 288; comunicarse a través de el bus estándar I2C con otros microcontroladores en modo maestro-esclavo 282, 283; acciones de entrada-salida on-off 280, 281, 284; conexiones 286 con sensores de temperatura 210', 214' externos al aparato transmisor y un conector 285 de entrada-salida serie para su programación externa.

La Figura 37A ilustra la vista anterior, sin restar generalidad, de una realización del aparato receptor 12 que consta de un fotodiodo de avalancha 268 insertado en un zócalo 269 que lo conecta con la tarjeta de circuito impreso 270. La señal de salida diferencial se recibe a través de los dos conectores BNC 271-271' y se envía, vía coaxial, a la entrada BNC del conmutador y convertidor de medio (7), 125, 126. El diodo luminiscente 272 indica la condición de encendido del prerregulador. Los diodos luminiscentes 273, 274, y 275 monitorizan el estado del microcontrolador en tareas de test. Los conectores 276 y 278 son las entradas de las dos fuentes de alimentación independientes: una fuente de potencia 71, 72 procedente de la fuente de alimentación múltiple 5, para el circuito de control térmico y el termorregulador, y otra fuente simétrica 78, 79 (rizado menor de 10 milivoltios) también procedente de la fuente de alimentación múltiple 5, para el circuito de prerregulación. El conector 277 es una salida de alimentación controlada para las celdas peltier del termorregulador. Los prerreguladores 279-279' regulan la tensión de entrada simétrica 78, 79 previo a las sucesivas etapas de bajo ruido. El microcontrolador tiene la posibilidad de comunicarse con otros microcontroladores en modos maestro-esclavo mediante un bus estándar I2C 282, 283 y señales de control 280, 281 y 287. El conector 285 permite la programación serie del microcontrolador. El conector 286 recibe las señales de los sensores de temperatura 214', 210'. El pulsador 288 activa la señal de reset del microcontrolador para reiniciar sus funciones. El microcontrolador activa sus circuitos de tiempo mediante cristal 289. Los conectores jumper 290, 291 y 292 tienen funciones de programación manual en los circuitos del generador de alta tensión y amplificador de ganancia programable.

La Figura 37B ilustra la vista posterior del aparato receptor que consta del generador de alta tensión 294 con su fuente de alimentación de bajo ruido 293, el amplificador logarítmico 295 con su referencia de corriente 297 y su fuente de bajo ruido simétrica 298, 305. La salida del amplificador logarítmico 295 es llevada al microcontrolador 230' tras ser filtrada con un filtro paso bajo 296 de 10 Hz. La corriente del fotodiodo de avalancha es amplificada a transimpedancia en 299 siendo eliminada la componente de continua en el circuito autocero 300 y convertida a diferencial en el driver 301. La señal es amplificada en el amplificador de ganancia programable 303 bajo el control del microcontrolador 230' y calculado su valor cuadrático medio o RMS en el detector RMS 302. La etapa de salida conformadora, adaptadora de nivel y de impedancias se realiza en el circuito 304 siendo la salida diferencial en los conectores BNC 271-271'. Por otro lado, los circuitos de control de potencia del termorregulador: inversor de corriente 231' y 232', control de activación 233' y transistores periféricos 234'.

Los reguladores de bajo ruido generan niveles de ruido menores de 10 microvoltios. Estos reguladores de bajo ruido alimentan al generador de alta tensión 293, a los conversores DAC, (307, 313), al amplificador logarítmico y detector RMS (298, 305), al amplificador a transimpedancia (309, 310) y al driver simple-diferencial, amplificador de ganancia programable y etapa de salida (311, 312). El regulador convencional 314 suministra una tensión estable al microcontrolador 230'. Los conversores DAC 306 y 308 generan las señales de actuación para el generador de alta tensión 294 y el amplificador de ganancia programable 303, respectivamente.

Las Figuras 38A y 38B muestran dos vistas del aparato receptor basado en fotodiodo de avalancha con un termorregulador de flujo simétrico 10' y el sistema óptico 166' que focaliza la señal luminosa proveniente de un duplexor óptico 9 dirigiéndola hacia el fotodiodo de avalancha 268 por una fibra de polímero 173. El termorregulador 10' contiene un dado refrigerado que se adapta a la capsula T005 del fotodiodo de avalancha utilizado en esta realización. El termorregulador 10' posee dos sensores de temperatura 214', 210' situados en los focos frío y caliente de las celdas peltier que se conectan al microcontrolador 230' a través del conector 286. Un circuito de control del termorregulador 231', 232', 233' y 234' permiten, bajo el control del microcontrolador 230', suministrar corriente en ambos sentidos para realizar labores de regulación térmica.

45 *Sistema de Seguimiento 13*

El sistema de seguimiento de haces láser enfrentados basado en control embebido tiene como objeto el establecimiento efectivo y permanente de comunicaciones de alta velocidad realizadas en el espacio libre por los transceptores de una red de comunicación óptica. La Figura 39 muestra un diagrama esquemático del sistema de seguimiento, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201100111, indicando los elementos funcionales que intervienen en el transceptor óptico inteligente 1. La Figura 40 muestra los elementos de dos aparatos de seguimiento 13, 13', instalados cada uno en un transceptor óptico (1, 1'), con haces láser enfrentados tal como se sitúan en lugares remotos para el establecimiento de un seguimiento simultáneo de ambos aparatos. El haz láser 158 es enviado por el aparato de seguimiento 13' y recibido por el aparato de seguimiento 13. El haz láser 158' es enviado por el aparato de seguimiento 13 y recibido por el aparato de seguimiento del transceptor óptico 13'. Se establece de esta manera un seguimiento simultáneo de los dos haces láser 158-158' cuando ambos aparatos ejecutan por separado el procedimiento de seguimiento que aquí se presenta.

El diagrama funcional de bloques del sistema de seguimiento comprende un aparato de guiado 8 que permite el movimiento de precisión angular de elevación y acimut mediante un sistema mecánico y dos motores actuadores, un aparato duplexor óptico 9 que permite el tratamiento de haces láser polarizados emitidos 158' y recibidos 158 por un transmisor láser 11 y un receptor 12 basado en fotodiodo de avalancha, respectivamente. Un circuito de control 18, gobernado por un microcontrolador 324, procesa la potencia recibida por el receptor $P_r(\theta_r, \varphi_r)$ dependiente de la posición angular θ_r, φ_r , del aparato de guiado 8 sobre el que se sitúa el duplexor óptico 9. El circuito de control 18 actúa a la vez los motores que fijan dicha posición a través de dos circuitos driver de potencia 19, 19'. El circuito de control 18 forma así de un lazo de control compuesto por la potencia recibida (sensor) y la acción sobre las posiciones angulares de las que depende (actuación).

ES 2 360 040 A1

Las Figuras 41A y 41B muestran dos vistas de la disposición de los elementos que constituyen el sistema de seguimiento 13. El aparato de guiado 8 soporta al aparato duplexor 9 que contiene al aparato transmisor 11. El receptor 12 recibe la señal proporcionada por el aparato duplexor 9 y la envía al circuito de control 18. Éste, tras ejecutar el algoritmo de seguimiento que aquí se presenta, actúa sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado a través de los circuitos driver de potencia 19, 19'.

Las Figuras 42A, 42B y 42C muestran vistas detalladas de los elementos que componen el circuito de control 18 (Figuras 42A y 42B) y los circuitos driver de los motores 19, 19' (Figura 42C); un driver para cada uno de los motores (un motor para la coordenada de elevación θ , otro motor para la coordenada de acimut φ). Los elementos del circuito de control 18 se han implementado en una tarjeta de circuito impreso 315 de característica FR4. El microcontrolador 324 recibe la alimentación por los conectores 319 siendo regulada por un regulador de tensión 232. El diodo luminiscente 316 indica la condición de funcionamiento. Los diodos luminiscentes 317 monitorizan el estado del microcontrolador 324 bajo distintas acciones. El pulsador 320 establece la condición inicial del microcontrolador 324. Los circuitos de tiempo se activan mediante cristal 321. La programación del microcontrolador 324 se establece mediante un conector serie 322. Las vías de conexión 318 permiten comunicar al microcontrolador 324 con los circuitos driver de los motores 19, 19' y mediante el estándar I2C formar parte de una estructura de microcontroladores en condición de maestro-esclavo. El microcontrolador 324 se conjuga con una serie de circuitos de conmutación 325 para realizar adecuadamente las funciones de control. Cada circuito driver (19, 19') consta de un driver integrado 326 formado por transistores de potencia que actúan sobre los devanados de los motores paso a paso del aparato de guiado a través del conector 327. La alimentación de potencia para los motores se efectúa a través del conector de alimentación 328 y las comunicaciones con el circuito de control 18 se establecen mediante las vías de conexión 329.

Presentamos a continuación el procedimiento de seguimiento detallado ejecutado por el microcontrolador 324. Se enumeran previamente los parámetros y las variables implicadas en el mismo:

n es el número de iteración actual.

h_θ es el incremento respecto a la posición local actual de la coordenada de elevación θ . Este parámetro es una constante.

h_φ es el incremento respecto a la posición local actual de la coordenada acimutal φ . Este parámetro es una constante.

h es un parámetro constante que permite acelerar la localización del máximo.

ε es el módulo al cuadrado del gradiente estimado que indica cómo de cerca está el sistema del máximo. Es una variable.

ε_{\min} es un parámetro constante que indica la tolerancia en la posición del máximo.

n_MAX es un parámetro constante que indica el número máximo de iteraciones que se pueden realizar sin que se active una alarma de seguimiento fallido.

φ_r^n y θ_r^n almacenan respectivamente el ángulo de elevación θ y de acimut φ en el paso n -ésimo, respectivamente.

δ_θ^{n+1} y δ_φ^{n+1} almacenan el incremento que, desde la posición actual, hay que realizar en el ángulo de elevación θ y en el de acimut φ , respectivamente, para aproximarnos al máximo en la iteración $n + 1$ -ésima.

El procedimiento de seguimiento, que se repetirá cada intervalo de tiempo de muestreo T_m es el siguiente:

0. Inicialización de variables:

$$\varepsilon > \varepsilon_{\min}$$

$$n = 1.$$

1. Bucle: iterar los siguientes pasos mientras no se alcance el máximo ($\varepsilon > \varepsilon_{\min}$) y no se supere el número máximo de iteraciones ($n < n_MAX$).

2. Adquisición del valor local de la potencia recibida en el paso n -ésimo:

2.1. Desde la posición actual (θ_r^n, φ_r^n) adquirir $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n)$.

2.2. Posicionar el sistema en ($\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n$), adquirir $P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n)$.

2.3. Posicionar el sistema en ($\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n$) adquirir $P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)$.

2.4. Posicionar el sistema en ($\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi$), adquirir $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi)$.

ES 2 360 040 A1

2.5. Posicionar el sistema en $(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$, adquirir $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)$.

3. Estimación del vector gradiente mediante diferencias centrales:

3.1. $\nabla_\theta^n = (P_r^n(\theta_r^n + h_\theta, \varphi_r^n) - P_r^n(\theta_r^n - h_\theta, \varphi_r^n)) / (2 \cdot h_\theta)$.

3.2. $\nabla_\varphi^n = (P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_\varphi) - P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_\varphi)) / (2 \cdot h_\varphi)$.

3.3. El vector gradiente estimado es $\nabla P_r^n = (\nabla_\theta^n, \nabla_\varphi^n)$.

4. Actualización de la posición en curso:

4.1. $\delta_\theta^{n+1} = h \cdot \nabla_\theta^n$.

4.2. $\delta_\varphi^{n+1} = h \cdot \nabla_\varphi^n$.

4.3. Posicionar el sistema en $(\theta_r^n + \delta_\theta^{n+1}, \varphi_r^n + \delta_\varphi^{n+1})$.

5. Actualización de:

$$\varepsilon = (\nabla_\theta^n)^2 + (\nabla_\varphi^n)^2.$$

$$n = n + 1.$$

6. Fin de bucle.

7. Evaluación de la condición de salida: Activar condición de seguimiento fallido si $n > n_MAX$, indicando que no se ha podido realizar correctamente el seguimiento. En caso contrario se alcanzó el máximo.

Sistema de acondicionamiento del aire interior 14

El sistema de acondicionamiento del aire interior 14 del transceptor óptico 1 está formado estructuralmente por el interior de la cubierta 4 y la base 3 que se encuentran aisladas del exterior según la norma IP66 (Figuras 6, 7 y Figura 43). El aire aislado del interior se mueve por la acción de la turbina 42 por un conducto cerrado de acondicionamiento que comienza en los dos orificios de la base 3, uno de salida de aire 40 y otro de entrada 40'. El orificio de entrada de aire 40 se comunica con el conducto 49, éste con la turbina 42, ésta a su vez con el intercambiador de calor 50' y éste último con el conducto 46 que desemboca finalmente en el orificio de entrada de aire 40' tras pasar por el filtro de aire 41. Así, el aire del interior de la cubierta 4 sigue un camino cerrado de recirculación.

El intercambiador de calor 50' conforma el foco frío una bomba de calor activa formada por una celda peltier 51 cuyos focos frío 50' y caliente 50 intercambian calor con el aire aislado del interior de la cubierta y el aire exterior respectivamente. El aire exterior entra en la turbina 43 y atraviesa el foco caliente 50 de la celda peltier 51 absorbiendo calor y devolviéndose de nuevo al exterior por el conducto 47 por la parte anterior del transceptor 1.

La celda peltier 51 es la bomba de calor del sistema de acondicionamiento. Los intercambiadores de calor de la bomba 50 (foco caliente) y 50' (foco frío), se encuentran en el interior de los conductos 46 y 47. Entorno al intercambiador 50' en el foco frío, el conducto 46 forma dos planos inclinados en el que se sitúa el condensador-evaporador 48 compuesto por una gamuza absorbente con una de sus caras en contacto con el exterior.

El accionamiento de las turbinas 42,43 y la celda peltier 51 se lleva a cabo mediante el control del sistema supervisor 6 que a la vez sensa la temperatura del aire interior 37 y exterior 45.

El control del sistema de acondicionamiento del aire interior se lleva a cabo mediante el sistema supervisor 6 que posee los drivers 114 y 115 que permiten activar o desactivar las turbinas 42, 43; el driver 113 que activa o desactiva la celda peltier 51 y lee los sensores de temperatura interior 37 y exterior 45. El algoritmo de control térmico que ejecuta el microcontrolador 109 del sistema supervisor se realiza a intervalos regulares de tiempo que verifican el criterio de Nyquist.

Cualitativamente, el funcionamiento del sistema de acondicionamiento del aire interior se basa en la extracción del agua disuelta en el aire interior por la reducción de su temperatura. En los ciclos iniciales de funcionamiento del sistema, el aire interior se enfría haciendo que el agua que posee disuelta condense en el condensador-evaporador 48 que consiste en una gamuza absorbente con una de sus caras en contacto con el exterior. El foco frío de la bomba 50' condensa el agua disuelta en una de las caras de la gamuza. Por la otra cara de la gamuza se evapora el agua hacia el exterior. Al cabo de un tiempo relativamente pequeño, el aire de recirculación interior se encuentra prácticamente seco y permanecerá así si el aislamiento con el exterior es adecuado. Por otro lado, el filtro de aire retiene las partículas que contiene el aire interior ocurriendo un proceso parecido. Al cabo de un cierto tiempo, si el aislamiento es suficiente, el aire interior se encontrará libre de partículas. Una vez ocurrido este proceso de limpieza inicial, se tratara de acondicionar térmicamente el aire interior. Conocida la temperatura exterior T_{ext} y la franja térmica $\Delta T = T_h - T_c$ de la celda

ES 2 360 040 A1

peltier, se podrá bajar la temperatura del aire interior hasta la temperatura $T_{\text{int,min}} - T_{\text{ext}} - \Delta T$, siendo el límite superior precisamente la temperatura exterior T_{ext} .

5 Por tanto, el algoritmo de acondicionamiento del aire interior posee dos fases: fase de secado y limpieza, y fase de acondicionamiento térmico.

Una realización particular de este algoritmo que no resta generalidad es:

10 1. Fase de secado y limpieza

- Enfriamiento del aire interior, condensación- evaporación del agua disuelta y filtrado de partículas.

15 Descripción

- a. Minimizar la producción de calor interior desactivando todos los elementos del transceptor que generen calor: motores, termostatos, transmisor y receptor.
- 20 b. Activar la celda peltier 51 a su máxima corriente (máximo enfriamiento) y las turbinas 42 y 43.
- c. Mantener la situación de recirculación durante un tiempo suficiente (15 a 30 minutos).
- d. Activar todos los elementos del transceptor en régimen de funcionamiento normal.

25

2. Fase de acondicionamiento térmico

- Bucle de control de temperatura que se realizará a intervalos regulares de t_m segundos verificando el teorema del muestreo.

30

- a. Leer la temperatura exterior: T_{ext} del termómetro exterior 45 y almacenarla como cota superior permisible.
- b. Fijar la temperatura interior objetivo: $T_{\text{int,obj}} \leq T_{\text{ext}} - \Delta T$, siendo $\Delta T = T_h - T_c$ la franja térmica de la celda peltier.
- 35 c. Leer la temperatura interior T_{int} del termómetro interior 37.
- d. Comparar la temperatura objetivo con la temperatura interior:

40

- d1. Si $T_{\text{int,obj}} < T_{\text{int}}$, activar la celda peltier 51 y las turbinas 42 y 43.

Volver a la línea c.

45

- d2. Si $T_{\text{int,obj}} \geq T_{\text{int}}$, desactivar la celda peltier 51 y las turbinas 42 y 43.

Volver a la línea c.

50 Sistema antivaho predictivo 15

Se utiliza aquí el aparato y un procedimiento antivaho predictivo 15 que se anticipa en la actuación de mecanismos que bajan localmente la temperatura de rocío en torno a superficies expuestas a ambientes exteriores en los que debe evitarse la condensación. El diagrama funcional de bloques del aparato antivaho predictivo se muestra en la Figura 44, tal como el divulgado en la solicitud de patente española P201001620. Éste consta de un sensor de humedad relativa del aire 44, un sensor de temperatura del aire 45 y un sensor de temperatura 58 del objeto 57 a evitar la deposición de vaho. Los sensores (44, 45, 58) son leídos por el sistema supervisor 6 que, tras ejecutar el algoritmo de anticipación o predicción, activa mediante drivers a un actuador 59 que modifica las propiedades del aire circundante bajando su humedad relativa y punto de rocío y aumentando la temperatura del objeto. La temperatura de rocío es una función directa de la temperatura de una masa de aire y su humedad relativa según la expresión:

60

$$T_r(T, H_r) = \frac{b \cdot \left(\ln(H_r) + \frac{a \cdot T}{b+T} \right)}{a - \left(\ln(H_r) + \frac{a \cdot T}{b+T} \right)} \quad (\text{Ec. 9})$$

65

ES 2 360 040 A1

Expresión que indica que, conociendo la temperatura T de una masa de aire arbitrario y su humedad relativa H_r , es posible calcular la temperatura T_r por debajo de la cual ese aire empezará a condensar el vapor de agua que contiene. La condición de no condensación viene dada por:

$$T_{\text{objeto}} > T_r_{\text{aire_circundante}} \quad (\text{Ec.10})$$

Para mantener esta condición se pueden seguir dos acciones:

1. Disminuir la humedad relativa del aire que circunda al objeto:

a) Eliminando el agua que posee disuelto.

b) Calentando el aire.

2. Aumentar la temperatura del objeto.

La Figura 7 y la Figura 45 muestran una realización del aparato antivaho en el visor del transceptor óptico 1, junto con una vista explosionada del actuador 59. La caja del sistema óptico se ha realizado generando una cavidad en torno al visor de vidrio 57, donde se debe evitar la deposición de vaho. La chapa de recubrimiento 52 junto con la tapa 53 de la cubierta 4 forman una cavidad que envuelve visor de vidrio 57. Para minimizar la transmisión del calor por conducción entre el aluminio y el vidrio se ha intercalado entre ellos una corona 56 de un material aislante del calor, por ejemplo de policarbonato. El actuador 59, situado a una pequeña distancia (por ejemplo, de unos 5 mm) de la tapa 53 y con un ángulo de unos 30° con respecto a ésta, genera calor unidireccional en la superficie metálica 330 realizada en aluminio o cobre sobre la que se adhiere una resistencia eléctrica calefactora en zigzag 332 cubriendo toda su superficie. La parte posterior de la resistencia eléctrica calefactora 332 se adosa a una lámina aislante térmica 333 (en una realización preferida de polipropileno) con un recubrimiento de aluminio para reflejar el calor generado por radiación hacia la superficie 330. La lámina posterior 334 de policarbonato y los soportes 335-335' completan la estructura del actuador 59. La cavidad en forma de visera crea un confinamiento local del aire.

El aire confinado es calentado mediante el actuador 59 formando un ángulo menor de 45 grados con la vertical. La inclinación óptima permite el máximo intercambio térmico entre la lámina calefactora 330 y el aire, y depende del tamaño y potencia de la lámina calefactora empleada (la anchura de la lámina y de su temperatura), normalmente entre 30 y 45 grados. La temperatura de la lámina calefactora unidireccional 330 debe ser relativamente alta para facilitar el intercambio de calor con el aire frío (v. g. más de 70° y menos de 100° centígrados para evitar cambios de fase). Así, el aire que toca la superficie caliente, se calienta y disminuye su densidad provocándose una corriente de convección dentro de la cavidad. Al cabo de pocos segundos el aire que contiene la cavidad ha aumentado su temperatura (disminuyendo su humedad relativa), a la vez que ha calentado la superficie del objeto 57 a evitar la deposición de vaho.

En la realización presentada del aparato antivaho para exteriores, la temperatura de la lámina calefactora unidireccional 330 está en el entorno de 80°C. En un ambiente simulado de un aire estático a 12°C y 70% de humedad (temperatura de rocío de 6.7°C), supuesta la temperatura inicial de la caja y visor de 5°C; es decir, verificando la condición de deposición de vaho, el simulador calcula la respuesta estacionaria (termodinámica del equilibrio), mostrando los siguientes resultados (Figuras 46A, 46B, 46C y 46D):

1. La lámina calefactora unidireccional 330, calentada a 80°C, genera un flujo de aire forzado convectivo con velocidades máximas de 0.3 m/s en una sección de unos 5 mm pasando entre la lámina y la tapa recorriendo el visor de forma laminar (Figura 46A).

2. En pocos segundos, todo el aire del interior de la cavidad se encuentra a una temperatura media de 18°C. El visor 57, inicialmente a 5°C se calienta presentando un mapa de isotermas con temperaturas del orden de 10°C por encima de la temperatura inicial (Figura 46B).

3. La humedad relativa del aire en la superficie del visor baja del orden de 30 puntos porcentuales frente a la humedad relativa inicial existente. Por lo que la temperatura de rocío baja a 4.1°C (18°C - 40%) (Figura 46C).

4. Con el visor a 18° y con un aire al 40% de humedad relativa media es imposible la deposición de vaho tal como demuestra el mapa de fracción de masa de agua condensada en la superficie del visor (Figura 46D).

El algoritmo de predicción o anticipación antivaho detallado ejecutado por el sistema supervisor 6 se describe a continuación mostrándose su diagrama de flujo de datos en la Figura 47.

La medición y cálculo de variables se realiza por parte del microcontrolador a intervalos regulares de t_m segundos. Estos intervalos verifican el teorema de Nyquist y se calculan en base a un estudio de la evolución de las temperaturas y humedades relativas que se sucedan en el ambiente donde se sitúe el aparato antivaho predictivo (intervalos entre algunos segundos y varios minutos).

ES 2 360 040 A1

Descripción de variables y parámetros

- Periodo de medida: t_m
- Variable binaria de activación del actuador: A
- Humedad relativa del aire: H_a
- Temperatura del aire: T_a
- Temperatura del objeto (visor): T_o
- Temperatura de rocío: T_r
- Parámetro de valor constante que representa el margen de seguridad expresado en grados centígrados: δT .

De acuerdo con el diagrama de flujo de la Figura 48 el procedimiento que se repite cada t_m segundos, pudiendo ser un valor predeterminado o no, variable o constante en el tiempo, es:

S0. Inicialización de variables:

- Fijar el parámetro del margen térmico de seguridad δT
- Fijar las variables a un valor inicial.

S1. Adquisición de datos:

- Adquirir el valor de la temperatura del aire: T_a
- Adquirir el valor de la humedad relativa del aire: H_a
- Adquirir el valor de la temperatura del objeto: T_o .

S2. Cálculo de la temperatura de rocío según la expresión (Ec.9):

- Calcular la temperatura de rocío: T_r

S3. Comparación de la temperatura de rocío más el margen de seguridad con la temperatura del objeto:

- Si $T_o \geq T_r + \delta T$, desactivar el actuador y volver a S1.
- Si $T_o < T_r + \delta T$, activar el actuador y volver a S1.

Las condiciones a verificar para activar y/o desactivar el actuador pueden ser otras diferentes, como por ejemplo:

- Si $T_o < 2 \cdot T_r$, activar el actuador y volver a S1.
- La desactivación ($A = 0$) podría ser manual, y no automática, o con otras diferentes condiciones y/o márgenes de seguridad.

REIVINDICACIONES

1. Transceptor óptico inteligente basado en láser no guiado en el espacio libre, **caracterizado** por que dicho transceptor (1) comprende una base de sustentación de componentes (3) y una cubierta (4) que conforman una estructura rígida donde se alojan los siguientes componentes del transceptor (1):
 - una fuente de alimentación múltiple (5) encargada de proporcionar la energía eléctrica al transceptor (1);
 - un sistema supervisor (6) encargado de establecer tareas de comunicación bidireccional del transceptor (1), entre sus microcontroladores esclavos y el exterior adaptando el formato de datos a un formato estándar;
 - un conmutador multipuerto y convertidor de medio (7) que permite al transceptor (1) la conexión de múltiples transceptores ópticos en un mismo nodo a la vez que las convierte en un formato serie para un transmisor láser (11) y un receptor (12) basado en fotodiodo de avalancha;
 - un aparato de guiado micrométrico motorizado (8) que permite el posicionamiento preciso de haces láser enviados y recibidos por el transceptor óptico (1);
 - un duplexor óptico (9) que permite al transceptor óptico (1) la transmisión y la recepción de haces láser mediante un único eje óptico;
 - un transmisor láser (11) encargado de generar un haz láser y que dispone de un sistema de control que gestiona la potencia transmitida, el índice de modulación y el estado térmico de un diodo láser (183) de estado sólido;
 - un receptor (12) encargado de recibir un haz láser modulado y que dispone de un sistema de control que gestiona la sensibilidad, la ganancia y el estado térmico de un fotodiodo de avalancha (268) de estado sólido;
 - dos termorreguladores de flujo simétrico (10, 10') para mantener un estado térmico estable en el diodo láser (183) del transmisor (11) y en el fotodiodo de avalancha (268) del receptor (12), respectivamente.
2. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación 1, que comprende una estructura de comunicaciones jerarquizada basada en el BUS I²C (20) que interconecta a un procesador maestro supervisor (109) y tres procesadores esclavos (109, 230, 230') que ejecutan tareas específicas, canalizando toda la información para hacerla accesible a la red WAN con independencia geográfica con el objeto de facilitar la programación, la monitorización y el mantenimiento remoto.
3. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, donde el conmutador multipuerto y convertidor de medio (7) comprende:
 - dos puertos de salida de par trenzado con formato IEEE 802.3 TX 100/1000 (120, 121), que permiten la conexión con la red WAN y con otro posible transceptor homólogo para constituir un nodo de múltiples transceptores;
 - un puerto de par trenzado (122) que comunica la red WAN con el sistema supervisor (6) proporcionando una página WEB del transceptor óptico (1), junto con aplicaciones complementarias;
 - un puerto serie con formato estándar IEEE 802.3 FX 100/1000 que permite la salida de datos hacia el transmisor láser (11) y la entrada de datos desde el receptor (12);
 - una dirección MAC registrada que permite diferenciar unívocamente al transceptor óptico (1) en una red de transceptores interconectados.
4. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende un anclaje a muro con un mecanismo de orientación grueso (2).
5. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el aparato de guiado micrométrico motorizado (8) comprende:
 - un soporte de amarre (138) preparado para sostener al duplexor óptico (9) y al transmisor láser (11);
 - medios electromecánicos encargados de accionar el soporte de amarre (138), permitiendo su giro en torno a un eje de acimut (150) y un eje de elevación (151) de manera independiente, comprendiendo dichos medios electromecánicos:

ES 2 360 040 A1

- un motor de elevación (136), de tipo paso a paso, encargado de suministrar la fuerza motriz empleada para el giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de elevación (151);
- medios de transmisión de la fuerza motriz del motor de elevación (136) encargados de producir, para cada paso del motor de elevación (136), un giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de elevación (151);
- un motor de acimut (137), de tipo paso a paso, encargado de suministrar la fuerza motriz empleada para el giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de acimut (150);
- medios de transmisión de la fuerza motriz del motor de acimut (137) encargados de producir, para cada paso del motor de acimut (137), un giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de acimut (150);
- medios sensores fin de carrera de elevación para delimitar el giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de elevación (151) y al eje de acimut (150);
- un microcontrolador (324) encargado de controlar los motores de elevación (136) y de acimut (137).

6. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación anterior, donde los medios de transmisión de la fuerza motriz del motor de elevación (136) comprenden:

- un tornillo sin fin de elevación (142) que gira solidario al eje (152) del motor de elevación (136);
- una corona helicoidal de elevación (143) que engrana con el tornillo sin fin de elevación (142) y encargada de producir el giro de un perno de elevación (144) en torno a un eje de tracción de elevación (153);
- el perno de elevación (144), con una parte roscada;
- una tuerca de tracción de elevación (145) roscada al perno de elevación (144), siendo dicha tuerca cilíndrica y con una ranura en el eje del cilindro;
- una biela de elevación (146), disponiendo en su extremo libre de una guía (149) para el ajuste de la ranura de la tuerca de tracción de elevación (145), estando configurada dicha biela de elevación (146) para producir el giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de elevación (151) cuando se produce un desplazamiento de la tuerca de tracción de elevación (145).

7. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación anterior, donde el número de pasos por vuelta del motor de elevación (136), el paso de rosca del perno de elevación (144), el número de dientes de la corona helicoidal de elevación (143) y la distancia de biela de elevación, definida como la distancia entre el eje de elevación (151) y la tuerca de tracción de elevación (145), se configuran de forma que para cada paso del motor de elevación (136) el giro del soporte de amarre (138) en torno al eje de elevación (151) sea menor de 2 microradianes.

8. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 donde el duplexor óptico (9) comprende:

- un tubo reflector catadióptrico (161) para la recepción del haz láser recibido (158') y la transmisión del haz láser transmitido (158); y
- un sistema óptico que comprende:
 - un prisma polarizador (169), encargado de:
 - dividir el haz láser transmitido (2SP), procedente del transmisor láser (11), en dos haces (2P, 2S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente reflejada (2S) hacia el reflector catadióptrico (161);
 - dividir el haz láser recibido (2'SP), procedente del reflector catadióptrico (161), en dos haces (2'P, 2'S) polarizados linealmente en planos perpendiculares, dirigiendo únicamente la componente refractada (2'P) con destino al receptor (12); y
 - una lente divergente (170) situada entre el prisma polarizador (169) y el reflector catadióptrico (161) y encargada de:
 - recibir la componente reflejada (2S) del haz láser transmitido (2SP) procedente del prisma polarizador (169) y adaptarla al plano focal del reflector catadióptrico (161);

ES 2 360 040 A1

- recibir y colimar el haz láser recibido (2'SP) procedente del reflector catadióptrico (161) y dirigirlo al prisma polarizador (169).

5 9. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación 8, donde el sistema óptico del duplexor óptico (9) comprende adicionalmente:

- al menos un espejo de primera superficie desviador del haz transmitido (167), encargado de dirigir el haz láser transmitido (2SP), procedente del transmisor láser (11), al prisma polarizador (169);
- al menos un espejo de primera superficie desviador del haz recibido (167'), encargado de dirigir la componente refractada (2'P) del haz láser recibido (2'SP), procedente del prisma polarizador (169), al receptor (12).

15 10. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, donde el tubo reflector catadióptrico (161) comprende:

- un espejo primario (174) en forma de corona circular móvil a través de un soporte cilíndrico (179) que se desplaza por la acción de un tornillo (163) por un tubo hueco (177) por el que discurren simultáneamente los haces láser transmitido y recibido;
- un espejo secundario (175); y
- una lente menisco correctora (176).

11. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde la distribución de irradiancia de los haces láser transmitido (158) y recibido (158') es de forma de corona circular o anular.

30 12. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde cada termorregulador de flujo simétrico (10,10') comprende:

- un dado metálico (220) encargado de albergar en su eje central a un dispositivo electrónico de geometría cilíndrica a regular térmicamente, seleccionado entre el diodo láser (183) del transmisor (11) o el fotodiodo de avalancha (268) del receptor (12);
- cuatro celdas peltier (218), cada una con una primera cara en contacto con cada lado externo del dado metálico (220), encargadas de intercambiar calor con el dado (220);
- un intercambiador térmico encargado de intercambiar calor con las celdas peltier (218), que comprende cuatro disipadores térmicos (209), cada uno en contacto térmico con la segunda cara de cada celda peltier (218);
- medios de medición de la temperatura del dado (214);
- medios de medición de la temperatura del intercambiador térmico (210);
- un controlador de las celdas peltier (231-231', 232-232', 233-233', 234-234', componentes situados en las tarjetas de circuito impreso del transmisor (11) y del receptor (12)), que permite el control de la corriente que circula por las celdas peltier (218) y de su sentido de circulación;
- medios de procesamiento de datos (230, 230'), encargados de recibir las temperaturas del dado (220) y del intercambiador térmico y controlar a través del controlador de las celdas peltier (231-231', 232-232', 233-233', 234-234', componentes situados en las tarjetas de circuito impreso del transmisor (11) y del receptor (12) que conforman el diagrama esquemático de la Figura 31), la corriente de las celdas peltier (218) y su sentido de circulación para mantener la temperatura del dado (220) regulada.

60 13. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación 12, donde el intercambiador térmico de cada termorregulador de flujo simétrico (10, 10') comprende un bastidor (217), estando las cuatro celdas peltier (218) adheridas cada una por la segunda cara a cada lado interno del bastidor (217) y los cuatro disipadores térmicos (209) adheridos cada uno a cada lado externo del bastidor (217).

65 14. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, donde cada termorregulador de flujo simétrico (10, 10') comprende adicionalmente cuatro ventiladores (208), cada uno enfrenteado a cada disipador (209), estando los medios de procesamiento de datos (230, 230') encargados del control de dichos ventiladores (208); y donde los medios de procesamiento de datos (230, 230') están configurados para efectuar la termorregulación del dado (220) en lazo cerrado, para lo cual dichos medios de procesamiento de datos (230, 230') están configurados para:

ES 2 360 040 A1

- a- fijar la temperatura objetivo del dado (220);
- b- fijar el valor de la variable de error;
- 5 c- obtener la temperatura del dado (220);
- d- obtener la temperatura del intercambiador térmico (209);
- 10 e- calcular la franja térmica de actuación de las celdas peltier (218);
 - * si no es alcanzable la temperatura objetivo del dado y no están activados los ventiladores (208), activarlos y volver a medir la temperatura del dado (220) y del intercambiador para calcular de nuevo la franja térmica de actuación ΔT ;
 - 15 * si están activados los ventiladores (208) y no se consigue la temperatura objetivo, cambiar la temperatura objetivo del dado y volver a medir la temperatura del dado (220) y del intercambiador para calcular de nuevo la franja térmica de actuación ΔT ;
- 20 f- si la temperatura objetivo del dado (220) está dentro de la franja térmica de actuación, comparar la temperatura del dado (220) con la temperatura objetivo;
- g- actuar sobre las celdas peltier (218), calentando o enfriando el dado (220) según corresponda hasta que la diferencia térmica entre la temperatura objetivo del dado (220) y la temperatura medida del dado (220) alcance el valor de la variable de error previamente fijado;
- 25 h- volver a fijar el valor de la variable de error y repetir el proceso.

15. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde cada termorregulador de flujo simétrico (10, 10') comprende adicionalmente una pluralidad de aislantes térmicos (219, 222, 223, 224, 225) que conforman una cavidad adiabática sobre el dado metálico (220).

16. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15 donde el transmisor (11) está configurado para someter al diodo láser (183) a tres lazos de control regulados por un microcontrolador (230):

- un lazo de control térmico encargado de mantener estable, a un valor determinado por el microcontrolador (230), la temperatura del diodo láser (183), comprendiendo dicho lazo de control térmico un termorregulador (10) con medios sensores de temperatura (214, 210) conectados al microcontrolador (230) y un circuito de control del termorregulador (231, 232, 233, 234) controlado por el microcontrolador (230);
- un lazo de control luminoso encargado de mantener estable, a un valor determinado por el microcontrolador (230), la irradiancia del haz láser emitida por el diodo láser (183), comprendiendo dicho lazo de control luminoso:
 - 45 • el fotodiodo sensor (183'), medios sensores de la corriente del fotodiodo conectados al microcontrolador (230) para medir la irradiancia emitida y medios sensores de la corriente de polarización láser conectados al microcontrolador (230); y
 - un driver (255), mediante una fuente de corriente de polarización controlada por el microcontrolador (230), para polarizar el diodo láser en un estado determinado de corriente;
- un lazo de control del índice de modulación encargado de controlar la profundidad de modulación del haz láser, comprendiendo dicho lazo de control del índice de modulación medios sensores de la corriente de la señal moduladora conectados al microcontrolador (230) y el driver (255), mediante una fuente de corriente de modulación que actúa sobre el par diferencial controlada por el microcontrolador (230), para modificar el índice de modulación del haz láser.

17. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, donde el receptor (12) está configurado para someter al fotodiodo de avalancha (268) a tres lazos de control regulados por un microcontrolador (230'):

- un lazo de control térmico encargado de mantener estable, a un valor determinado por el microcontrolador (230'), la temperatura del fotodiodo de avalancha (268), comprendiendo dicho lazo de control térmico un termorregulador (10') con medios sensores de temperatura (214', 210') conectados al microcontrolador (230') y un circuito de control del termorregulador (231', 232', 233', 234') controlado por el microcontrolador (230');

- un lazo de control de sensibilidad del fotodiodo encargado de mantener estable, a un valor determinado por el microcontrolador (230'), la fotosensibilidad del fotodiodo de avalancha (268), comprendiendo dicho lazo de control de sensibilidad del fotodiodo medios sensores de la corriente de polarización del fotodiodo (268) conectados al microcontrolador (230') y un generador de alta tensión (294), controlado por el microcontrolador (230'), para polarizar el fotodiodo de avalancha;
- un lazo de control de ganancia RMS encargado de controlar la ganancia y mantener la estabilidad de la señal proveniente del fotodiodo de avalancha (268) que alimenta una etapa de salida (304, 271, 271'), comprendiendo dicho lazo de control de ganancia RMS un amplificador de ganancia programable (303), controlado por el microcontrolador, que alimenta la etapa de salida (304, 271, 271') y un detector de valor cuadrático medio RMS (302) conectado al microcontrolador (230') para la estimación de la potencia media de dicha señal que alimenta la etapa de salida (304, 271, 271').

18. Transceptor óptico inteligente según las reivindicaciones 1 a 17, donde el duplexor óptico (9) dispone de un tubo reflector catadióptrico (161) para la recepción del haz láser recibido (158') y la transmisión del haz láser transmitido (158); donde el aparato de guiado micrométrico motorizado (8) del tubo reflector catadióptrico (161) comprende un motor de elevación y un motor de acimut para modificar, respectivamente, el ángulo de elevación θ y el ángulo de acimut φ del tubo reflector catadióptrico (161); y donde el receptor (12) está encargado de obtener la potencia P_r recibida proveniente del haz láser recibido (158'); **caracterizado** por que el transceptor (1) comprende un sistema de seguimiento (13) de haces láser polarizados con irradiancia anular, comprendiendo dicho sistema de seguimiento (13) un circuito de control (18) encargado de obtener del aparato receptor (12) el valor de la potencia P_r recibida por el mismo y de aplicar periódicamente un algoritmo de seguimiento, dicho algoritmo de seguimiento comprendiendo:

- inicializar una variable ε que representa el valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente;
- iterar mientras $\varepsilon > \varepsilon_{\min}$, siendo ε_{\min} un valor predeterminado, los siguientes pasos:
 - adquirir el valor local de la potencia recibida en la iteración n,
 - estimar el vector gradiente de potencia $\nabla P_r^n = (\nabla_{\theta}^n, \nabla_{\varphi}^n)$ en la posición actual de la iteración n (θ_r^n, φ_r^n) con respecto a la variación del ángulo de elevación θ y de acimut φ ;
 - obtener, a partir de dicho vector gradiente de potencia, las variaciones δ_{θ}^{n+1} y δ_{φ}^{n+1} en el ángulo de elevación θ y de acimut φ , respectivamente, que hay que realizar desde la posición actual en la iteración n (θ_r^n, φ_r^n) para aproximarse al máximo de potencia en la siguiente iteración n+1;
 - actuar sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (8) para posicionar el duplexor óptico (9) en la posición ($\theta_r^n + \delta_{\theta}^{n+1}, \varphi_r^n + \delta_{\varphi}^{n+1}$);
 - actualizar el valor estimado del módulo al cuadrado del gradiente ε .

19. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación anterior, donde la adquisición del valor local de la potencia recibida en la iteración n, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, comprende:

- adquirir, en la posición actual de la iteración n (θ_r^n, φ_r^n), la potencia recibida $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n)$;
- actuar sobre los motores de elevación y acimut del aparato de guiado (8) para posicionar el duplexor óptico (9) en las posiciones ($\theta_r^n + h_{\theta}, \varphi_r^n$), ($\theta_r^n - h_{\theta}, \varphi_r^n$), ($\theta_r^n, \varphi_r^n + h_{\varphi}$) y ($\theta_r^n, \varphi_r^n - h_{\varphi}$) y adquirir para cada una de dichas posiciones la potencia recibida, siendo respectivamente $P_r^n(\theta_r^n + h_{\theta}, \varphi_r^n)$, $P_r^n(\theta_r^n - h_{\theta}, \varphi_r^n)$, $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_{\varphi})$ y $P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_{\varphi})$, siendo h_{θ} y h_{φ} unos valores predeterminados.

20. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación anterior, donde la estimación el vector gradiente de potencia $\nabla P_r^n = (\nabla_{\theta}^n, \nabla_{\varphi}^n)$, en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, se realiza mediante diferencias centrales, cumpliéndose:

$$\nabla_{\theta}^n = (P_r^n(\theta_r^n + h_{\theta}, \varphi_r^n) - P_r^n(\theta_r^n - h_{\theta}, \varphi_r^n)) / (2 \cdot h_{\theta});$$

$$\nabla_{\varphi}^n = (P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n + h_{\varphi}) - P_r^n(\theta_r^n, \varphi_r^n - h_{\varphi})) / (2 \cdot h_{\varphi}).$$

21. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, donde la obtención de las variaciones δ_{θ}^{n+1} y δ_{φ}^{n+1} , en las iteraciones del algoritmo de seguimiento, se realiza según las siguientes ecuaciones:

$$\delta_{\theta}^{n+1} = h \cdot \nabla_{\theta}^n;$$

$$\delta_{\varphi}^{n+1} = h \cdot \nabla_{\varphi}^n;$$

siendo h un valor predeterminado.

22. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, donde el circuito de control (18) del sistema de seguimiento (13) está configurado para aplicar el algoritmo de seguimiento según un período de muestreo T_m , cumpliéndose $T_m < 0.5/f_s$, siendo f_s la máxima frecuencia esperada en la variación de la posición del máximo de potencia.

23. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sistema de acondicionamiento del aire interior (14) basado en recirculación, que permite una temperatura estable en los componentes del transceptor (1) minimizando las partículas en suspensión y los efectos oxidativos.

24. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación anterior, donde el sistema de acondicionamiento del aire interior (14) comprende:

- un conducto cerrado de acondicionamiento (49, 46) por el que circula el aire interior de la cubierta (4) del transceptor (1) por la acción de una turbina (42), siguiendo un camino cerrado de recirculación;

- una bomba de calor activa (51) cuyo foco frío (50') está en contacto con el conducto cerrado de acondicionamiento y cuyo foco caliente está configurado para recibir aire procedente del exterior impulsado por una turbina (43);

- un condensador-evaporador (48) en contacto con el foco frío (50') de la bomba de calor activa (51) y con una de sus caras en contacto con el exterior.

25. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 23 a 24, donde el sistema de acondicionamiento del aire interior (14) comprende un sensor de temperatura interior (37) y un sensor de temperatura exterior (45), conectados al sistema supervisor (6), el cual está configurado para, en función de los valores de temperatura medidos por dichos sensores (37, 45), controlar la activación y desactivación de las turbinas (42, 43) y de la bomba de calor activa (51).

26. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende un sistema antivaho predictivo (15) que impide la deposición de vaho externo en el visor (57) del transceptor óptico (1), el sistema antivaho predictivo (15) a su vez comprendiendo:

- primeros medios sensores de temperatura (58), encargados de medir la temperatura T_o de una primera superficie del objeto (57) a evitar la deposición de vaho;

- primeros medios actuadores (59) configurados, cuando están activados, para:

- disminuir la humedad relativa local del aire circundante a la primera superficie del objeto (57); y
- aumentar la temperatura de dicha primera superficie;

- segundos medios sensores de temperatura (45), encargados de medir la temperatura T_a del aire enfrentado a la primera superficie y fuera de la influencia de los primeros medios actuadores (59);

- primeros medios sensores de humedad relativa del aire (44), encargados de medir la humedad relativa H_a del aire enfrentado a la primera superficie y fuera de la influencia de los primeros medios actuadores (59);

donde el sistema supervisor (6) dispone de medios de control configurados para, cada cierto tiempo t_m :

- obtener de los primeros medios sensores de temperatura (58), segundos medios sensores de temperatura (45) y primeros medios sensores de humedad relativa del aire (44), la temperatura T_o de la primera superficie, la temperatura T_a del aire y la humedad relativa H_a del aire;

- calcular, a partir de la temperatura T_a del aire y la humedad relativa H_a del aire, la temperatura T_r de rocío del aire;

- comparar la temperatura T_r de rocío del aire con la temperatura T_o de la primera superficie, y activar o no los primeros medios actuadores (59) en función de dicha comparación.

ES 2 360 040 A1

27. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación 26, donde los medios de control del sistema supervisor (6) están adicionalmente configurados para, una vez realizada la comparación de la temperatura T_r de rocío del aire con la temperatura T_o de la primera superficie, desactivar o no los primeros medios actuadores (59) en función de dicha comparación.

28. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 26 a 27, donde los medios de control del sistema supervisor (6) están configurados para activar los primeros medios actuadores (59) si se cumple la siguiente condición:

$$T_o < T_r + \delta T$$

donde δT es un margen térmico de seguridad de valor predeterminado.

29. Transceptor óptico inteligente según cualquiera de las reivindicaciones 26 a 28, donde los primeros medios actuadores (59) comprenden:

- una cavidad encargada de confinar localmente el aire circundante a la primera superficie del objeto (57);

- una serie de superficies (330, 332, 333, 334) colocadas en ángulo con respecto a la primera superficie y configurada, cuando los primeros medios actuadores (59) están activados, para, mediante la generación de calor unidireccional en su superficie más cercana a la primera superficie del objeto (57), crear en el aire localmente confinado en la cavidad una corriente de convección de aire caliente sobre la primera superficie del objeto (57).

30. Transceptor óptico inteligente según la reivindicación 29, donde los primeros medios actuadores (59) comprenden:

- una superficie metálica (330), que corresponde a la superficie del actuador más cercana a la primera superficie del objeto (57);

- una resistencia eléctrica calefactora (332) que cubre la parte posterior de dicha superficie metálica (330);

- una lámina aislante térmica (333) adosada a la parte posterior de la resistencia eléctrica (24) con un recubrimiento metálico para reflejar el calor generado por radiación hacia la superficie metálica (23).

31. Red de comunicación óptica basado en láser no guiado en el espacio libre, **caracterizada** por que comprende una pluralidad de nodos, cada nodo formado por una pluralidad de transceptores ópticos inteligentes (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1-30 dispuestos en un asentamiento común e interconectados entre sí a través de su respectivo conmutador multipuerto (7), estando cada nodo interconectado con al menos un nodo de un asentamiento remoto mediante enlace óptico entre transceptores (1) de los respectivos nodos.

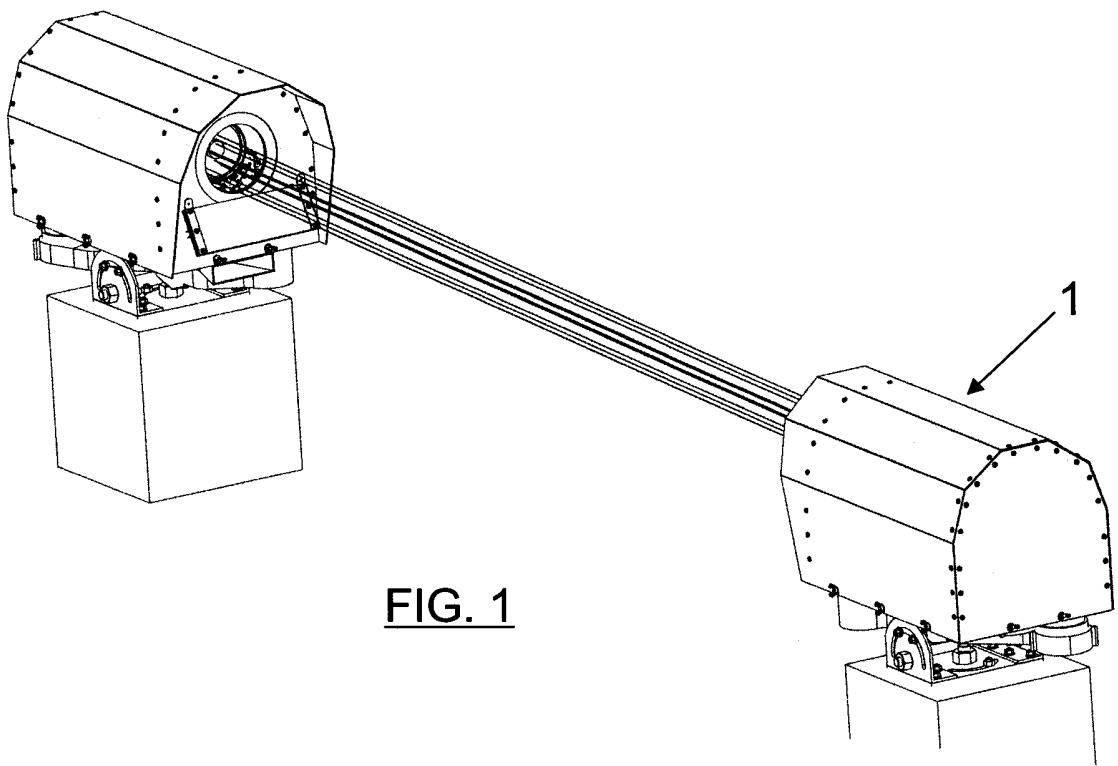


FIG. 1

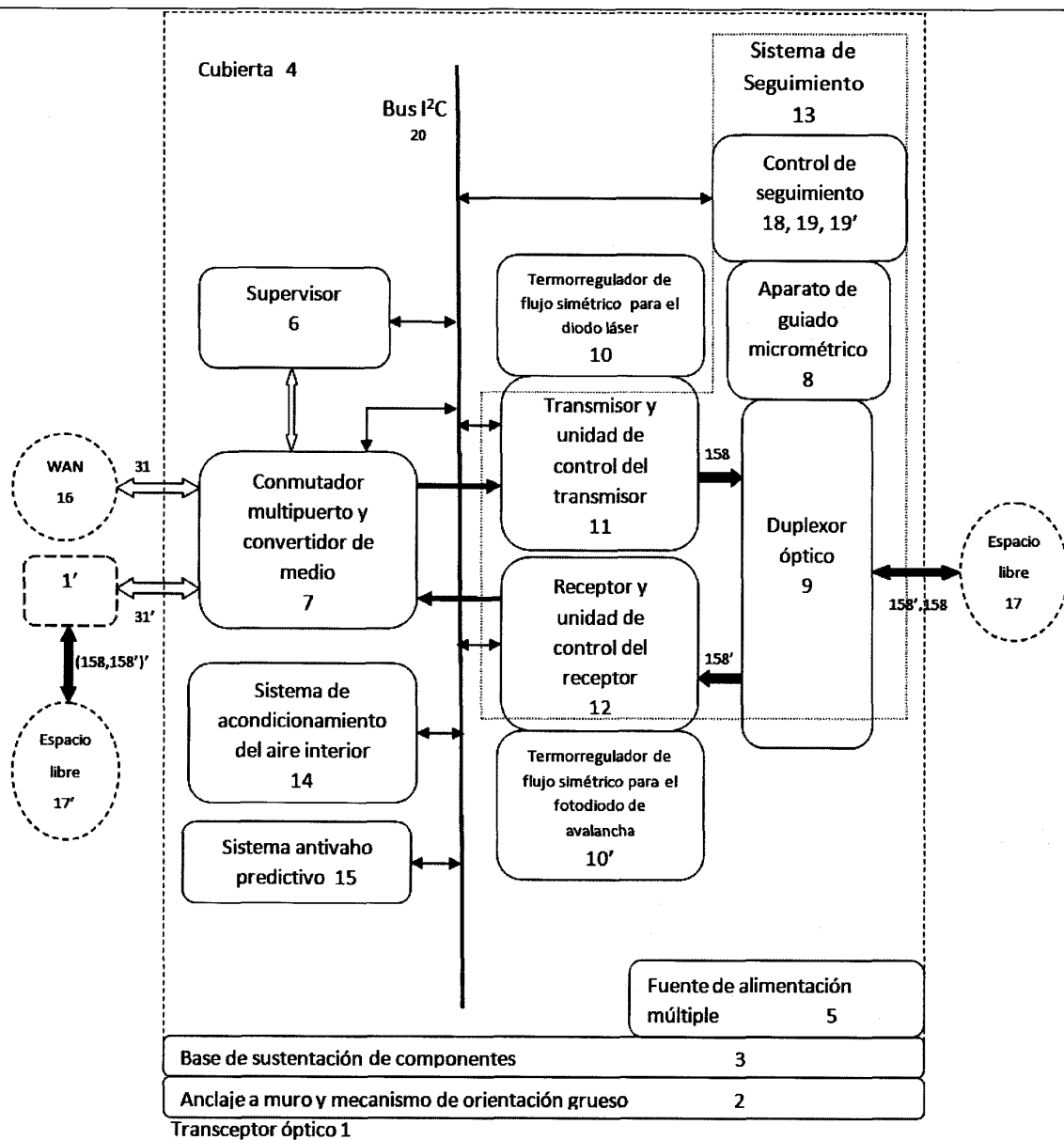


FIG. 2

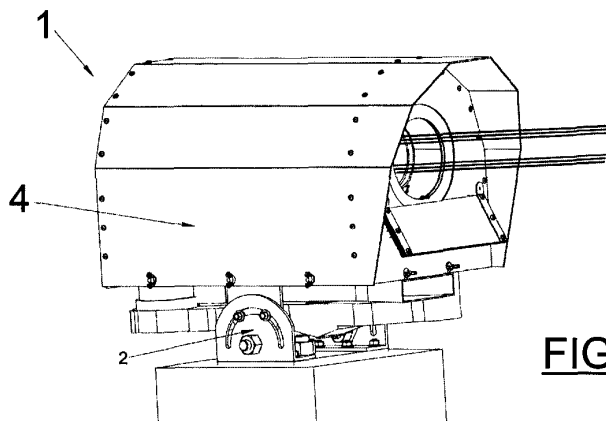


FIG. 3A

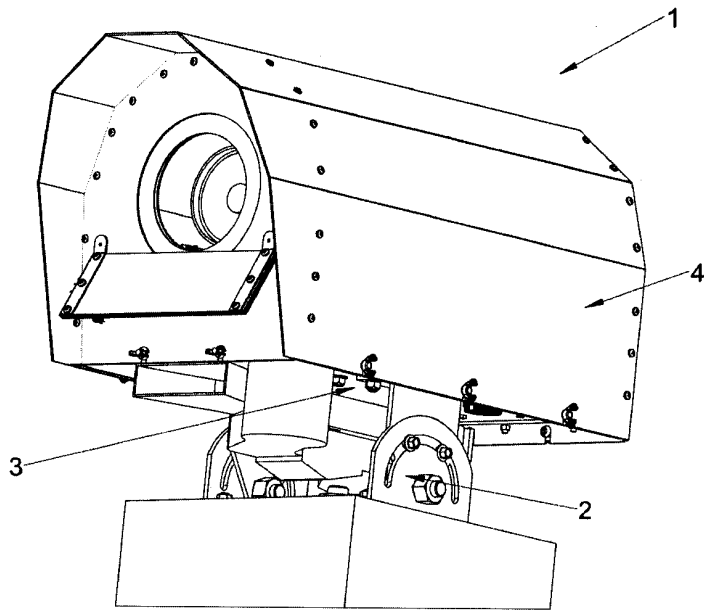


FIG. 3B

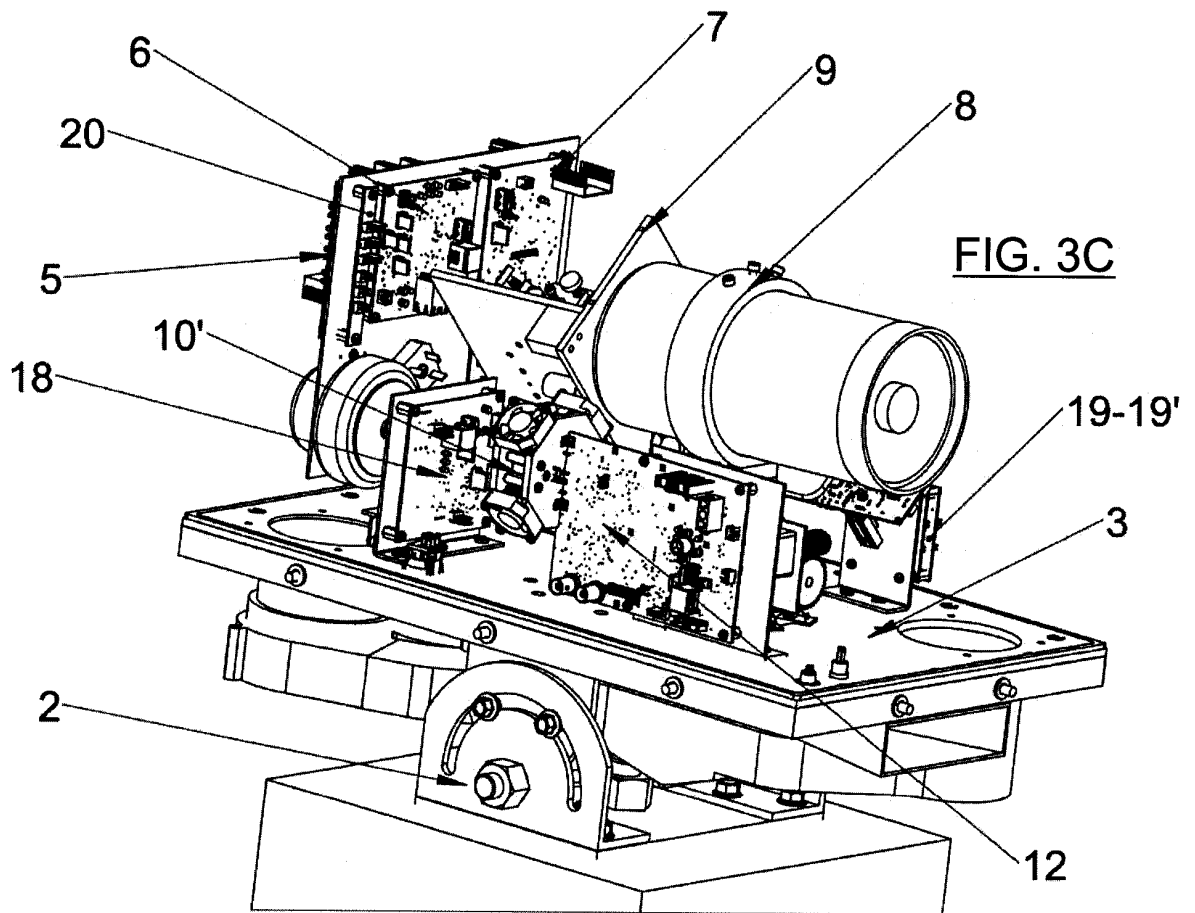


FIG. 3C

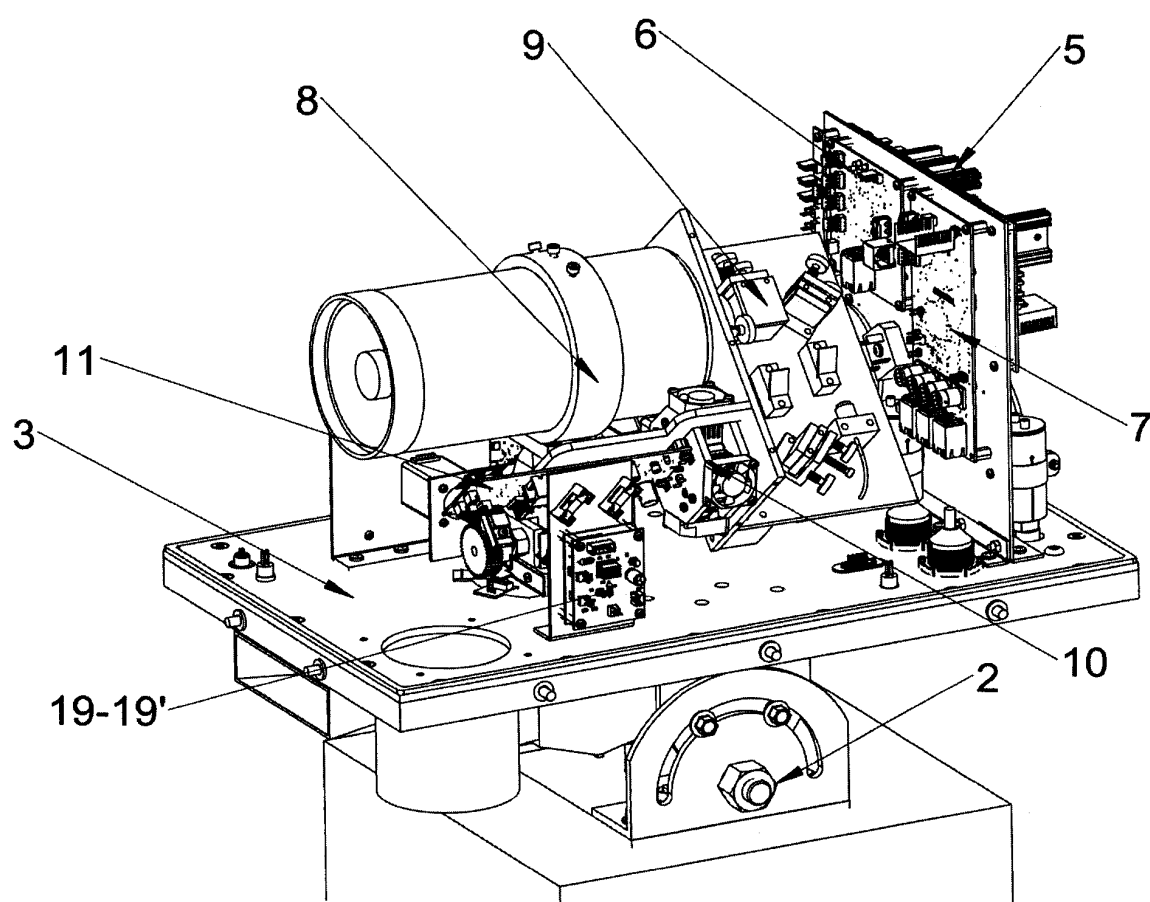


FIG. 3D

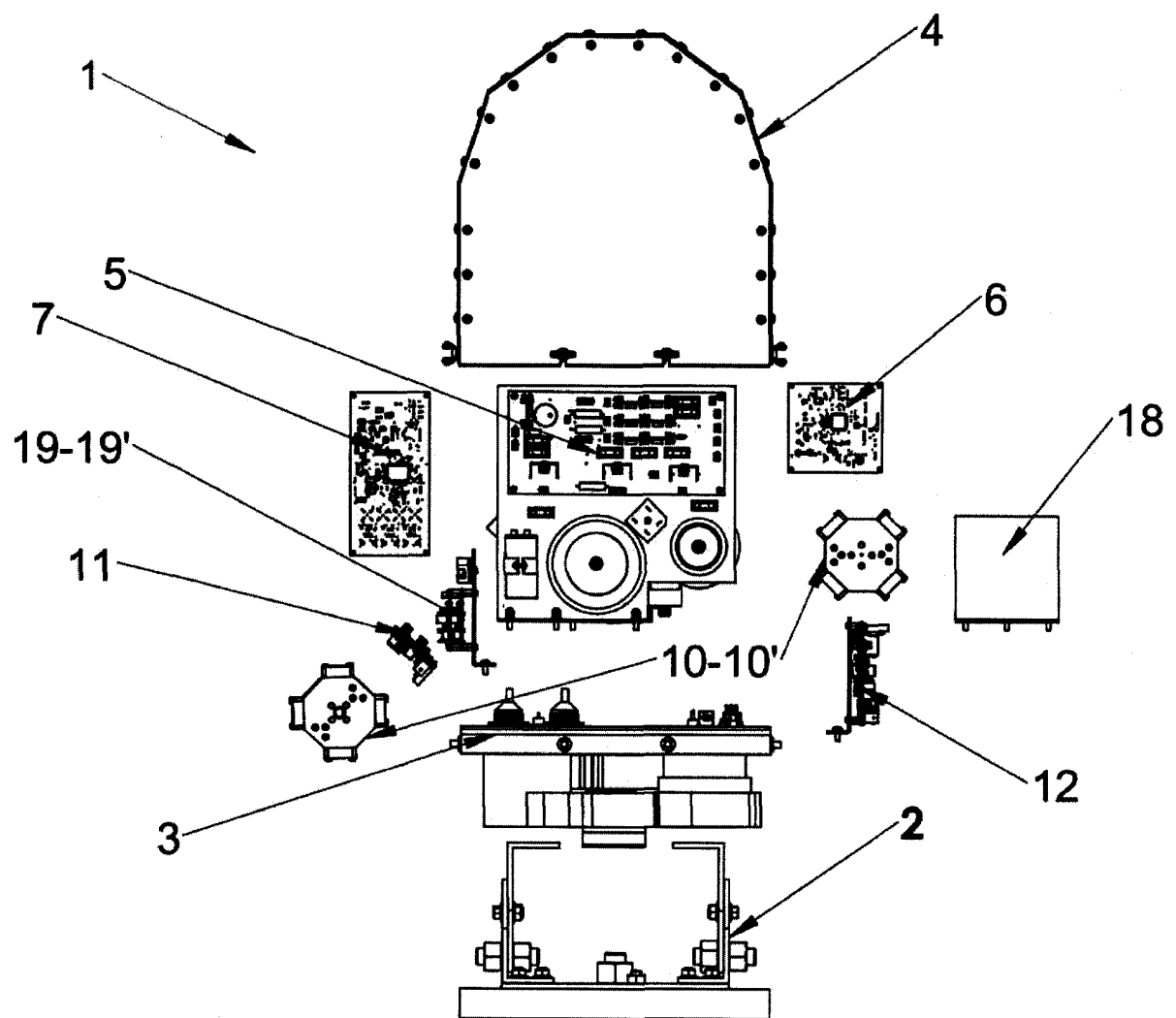


FIG. 4A

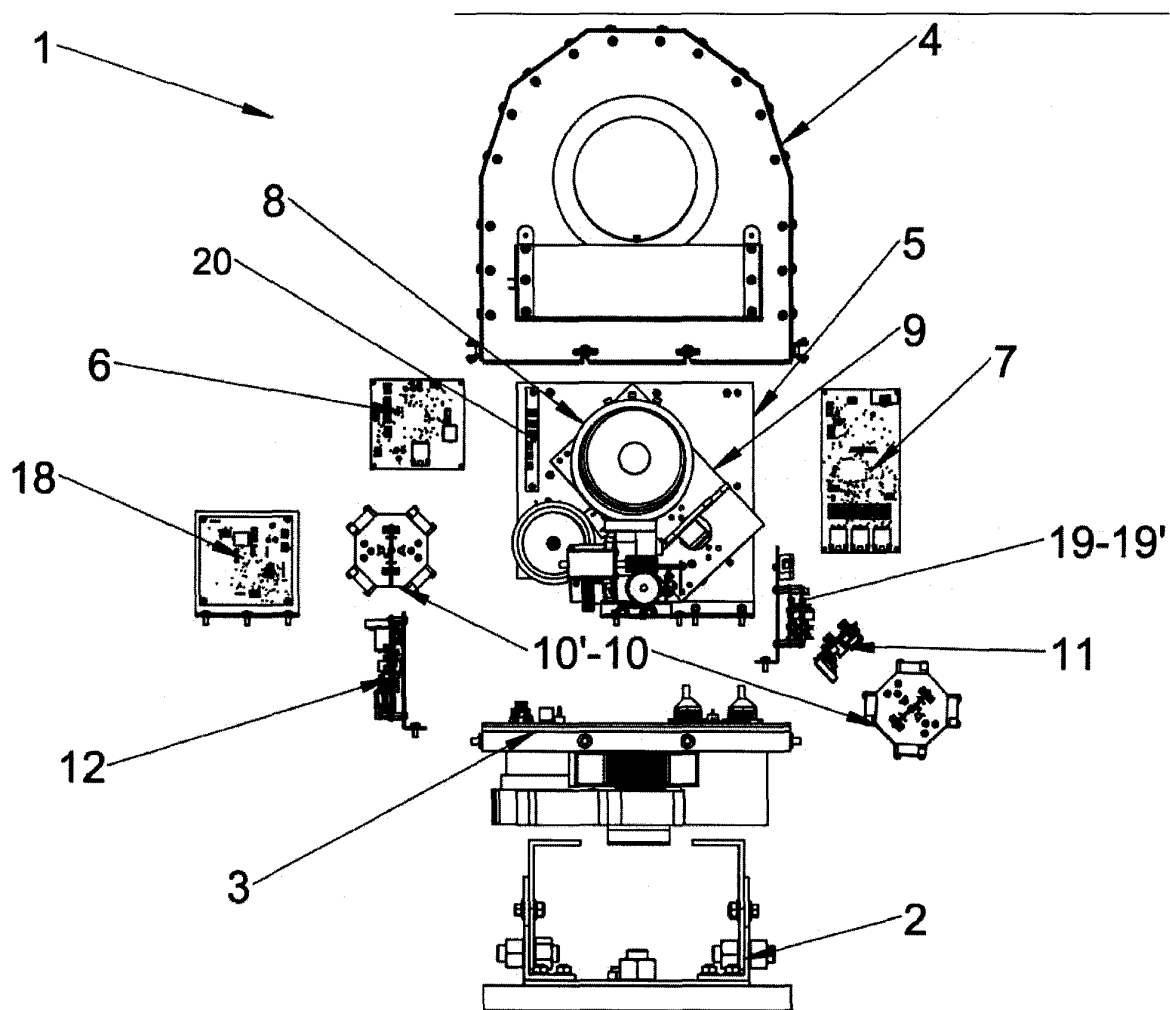
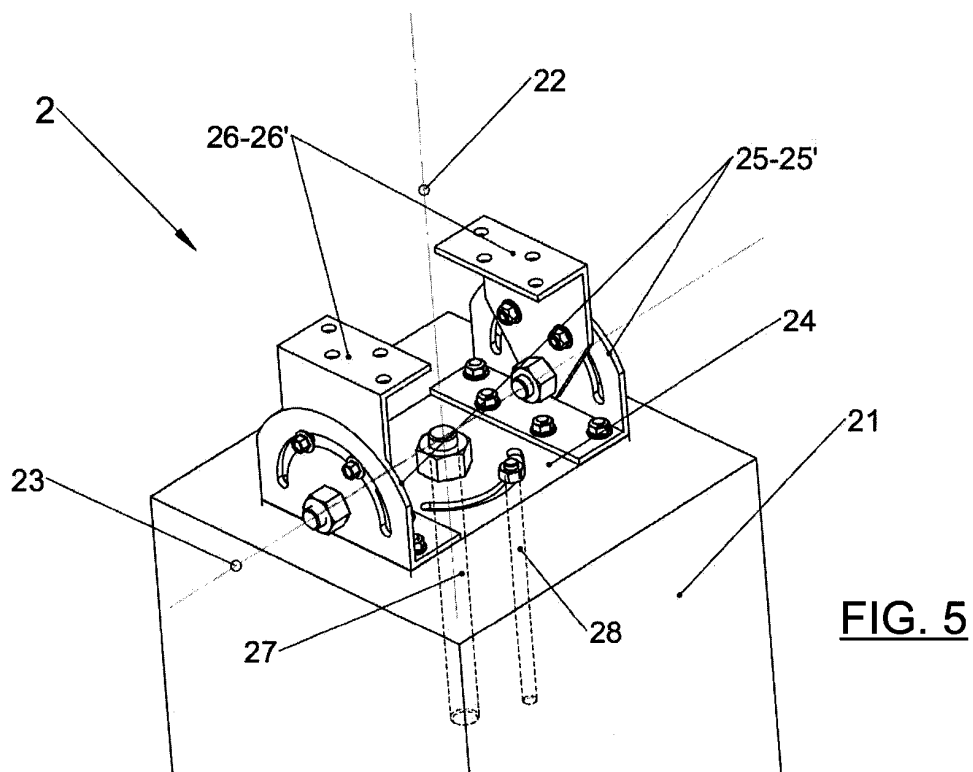
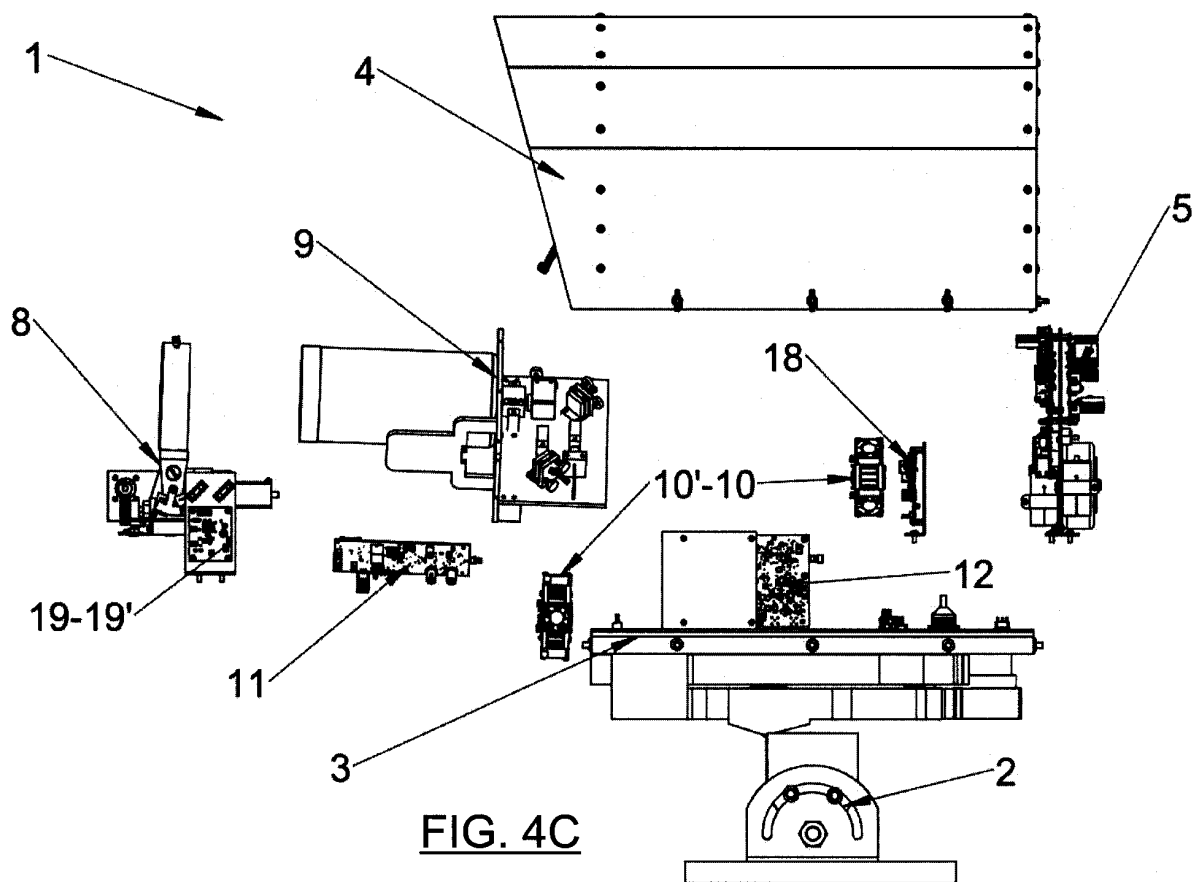
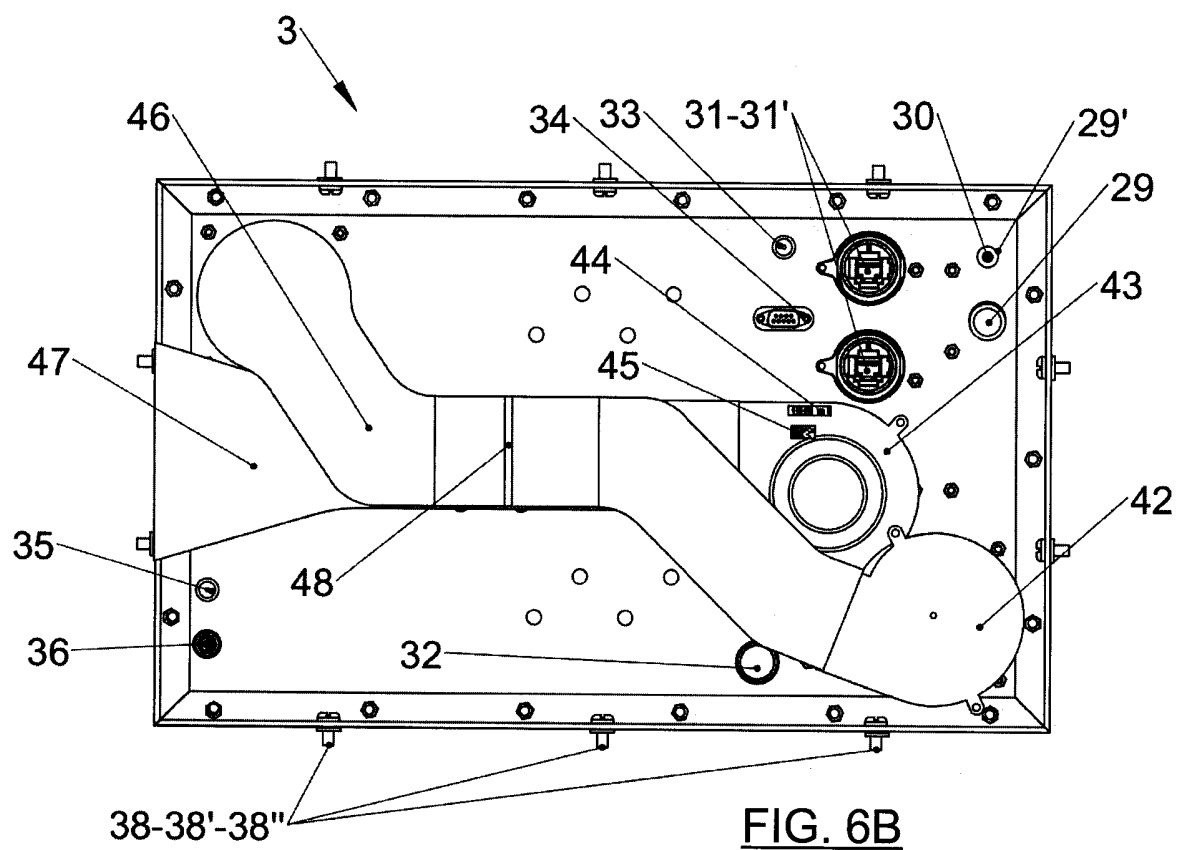
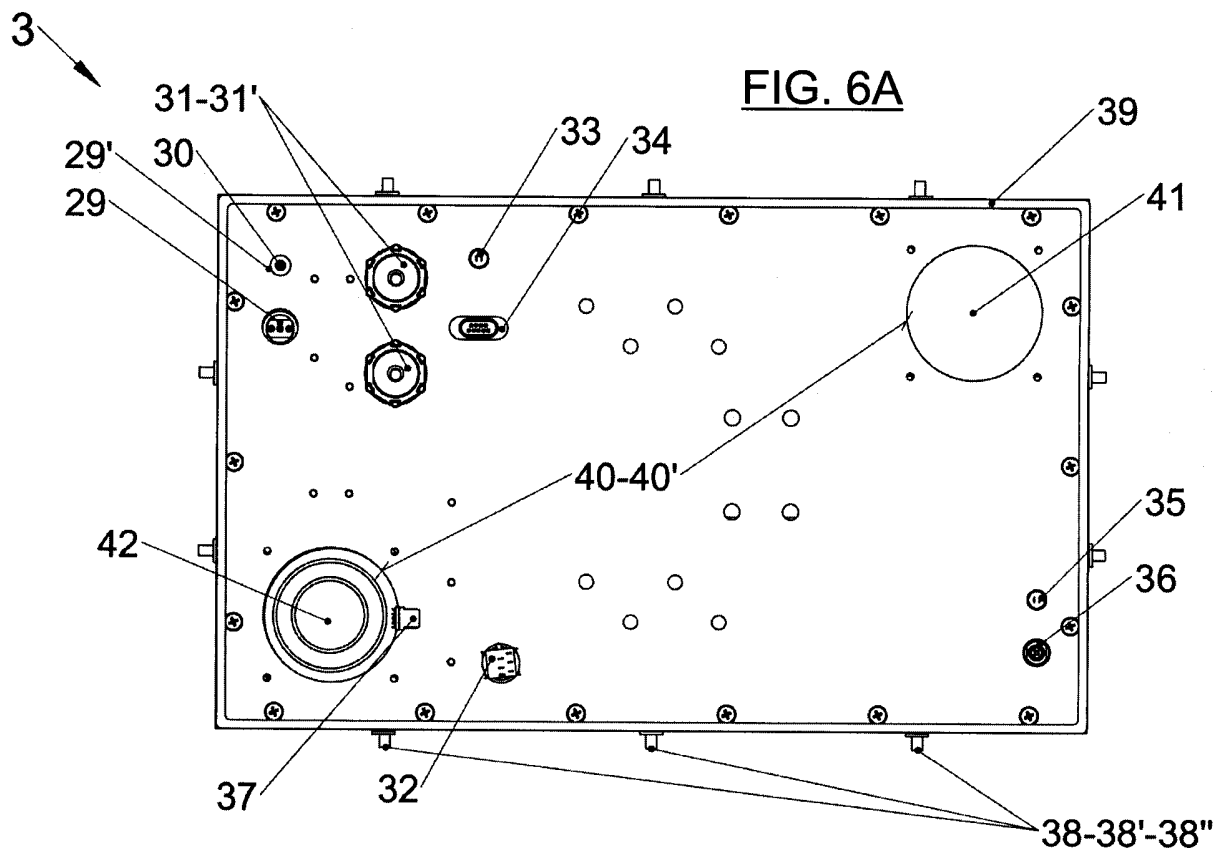
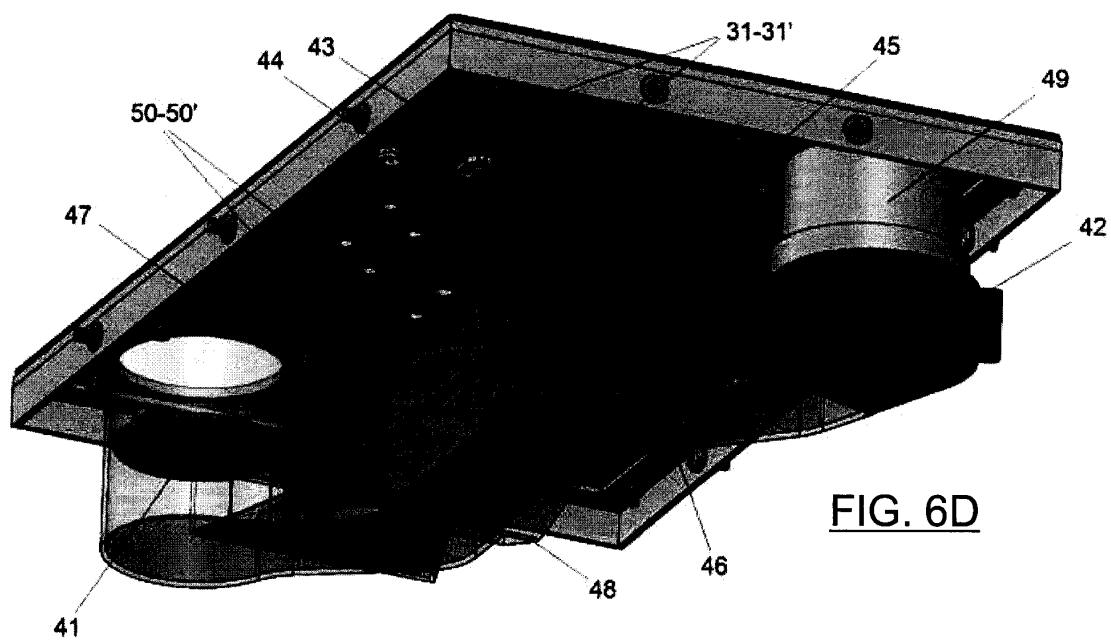
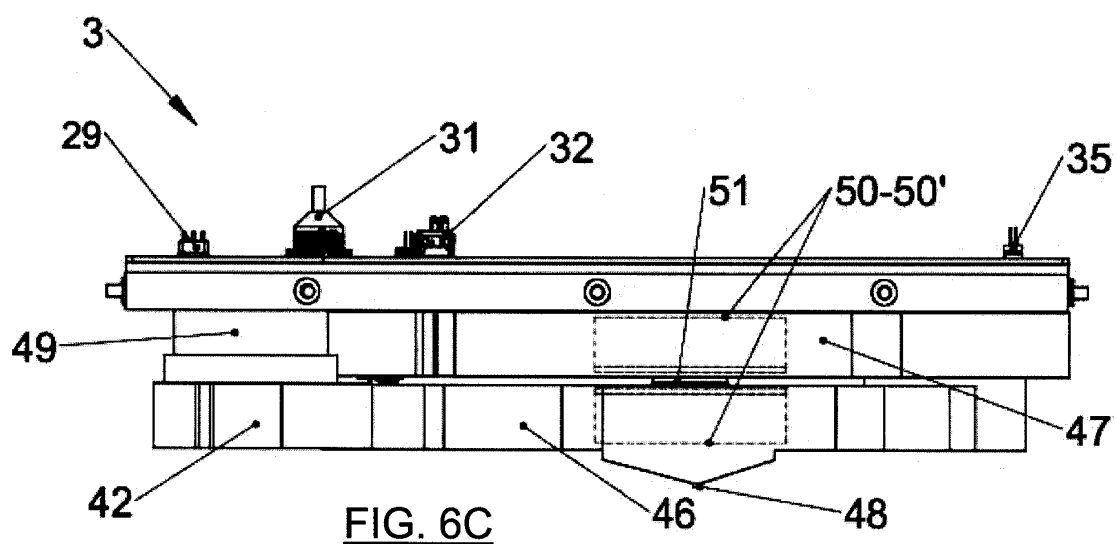
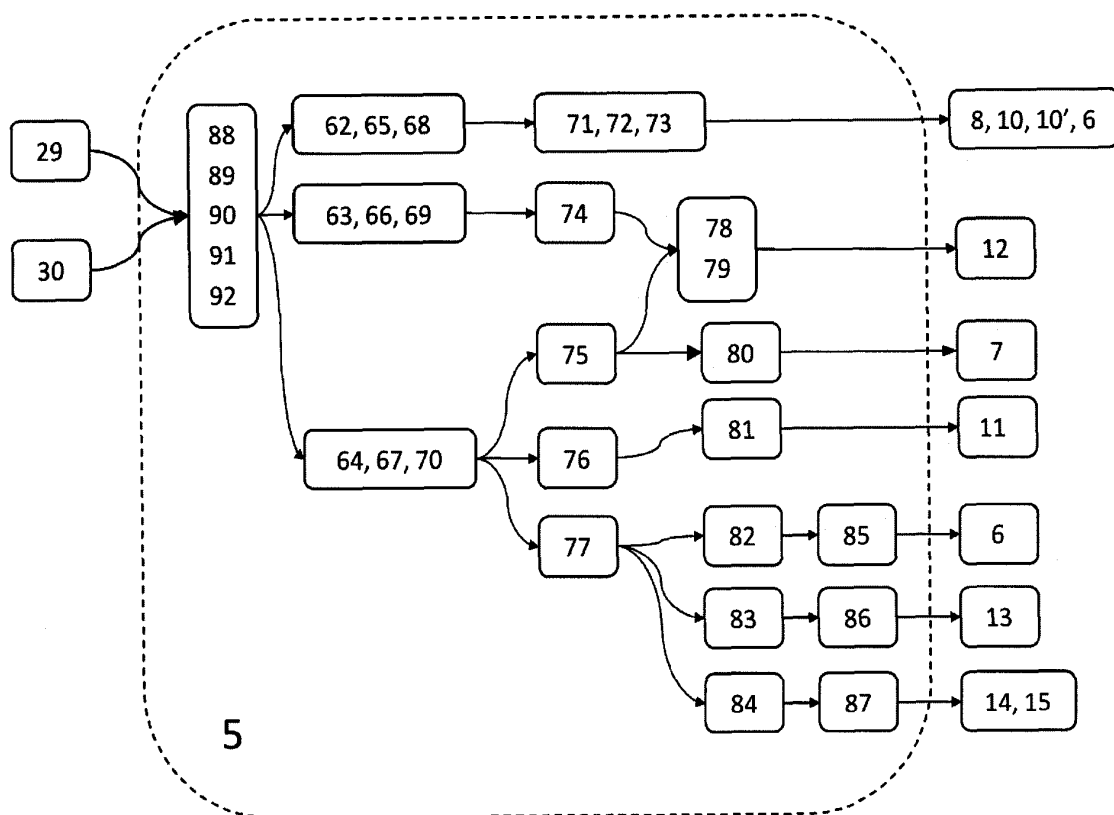
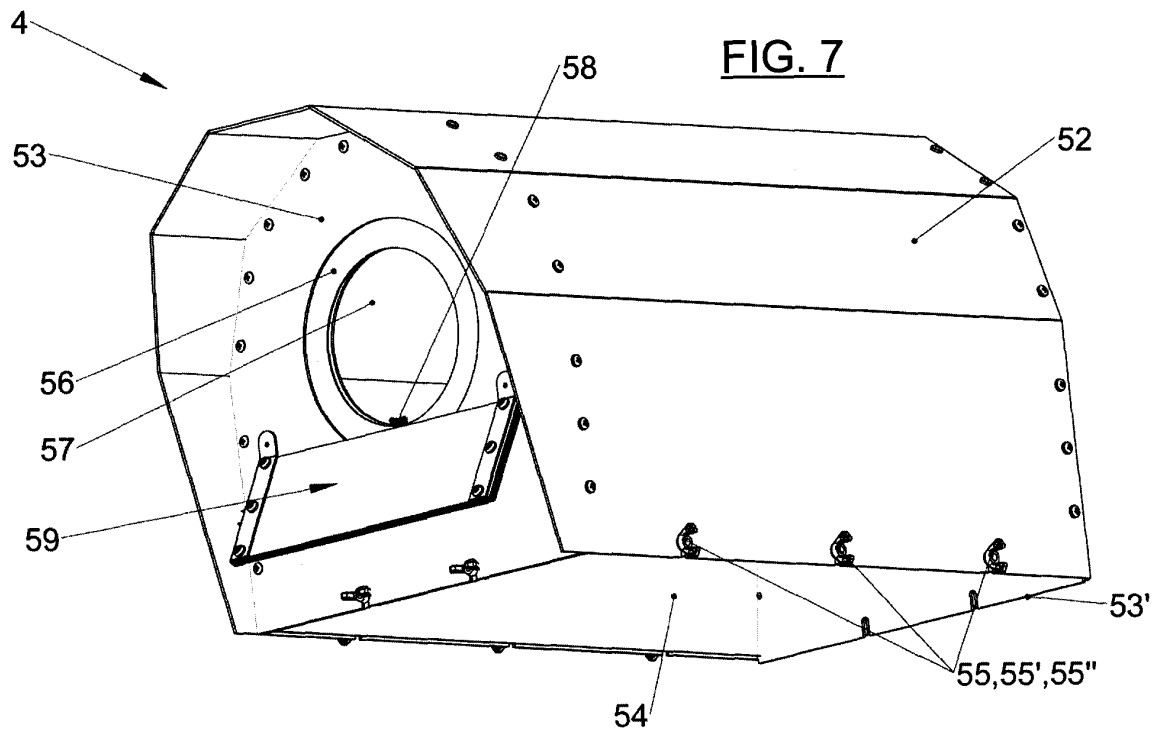


FIG. 4B









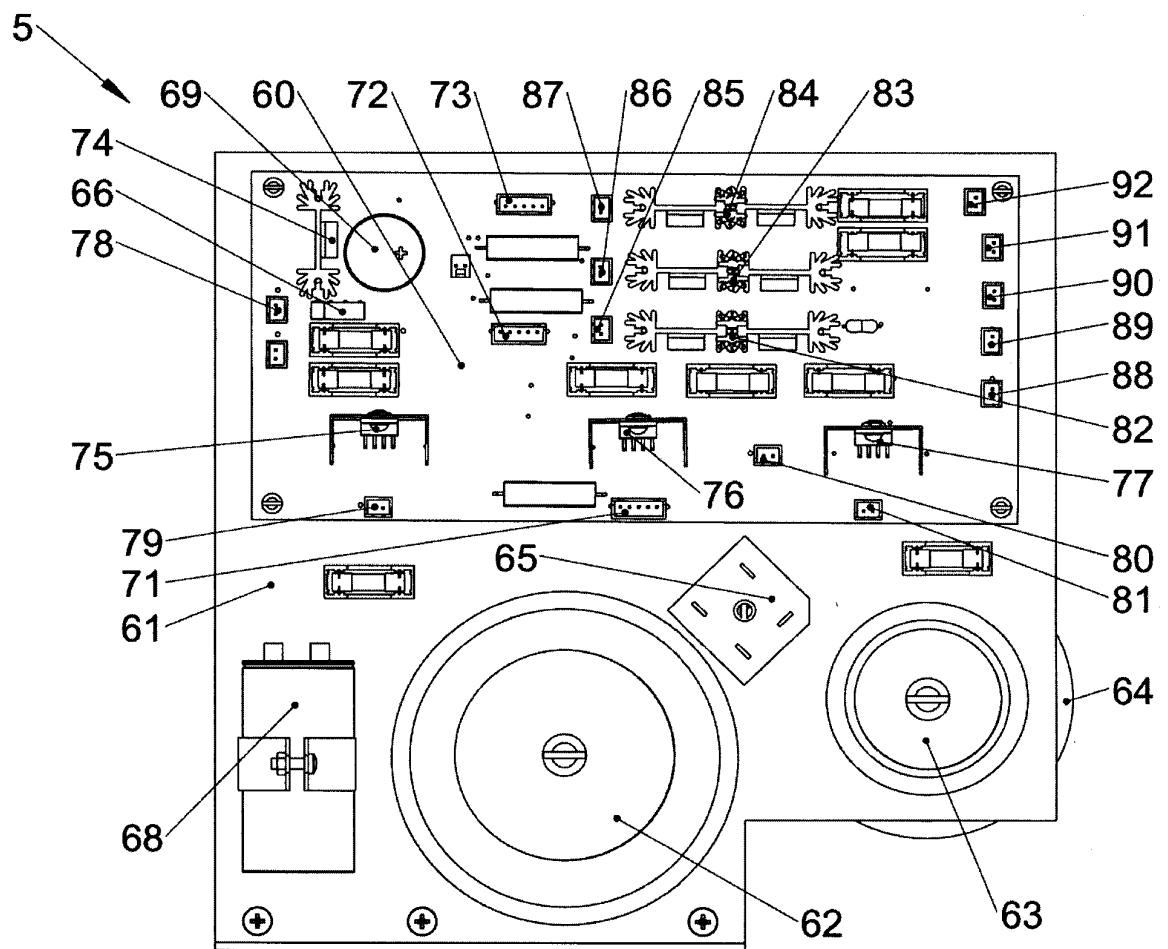


FIG. 8B

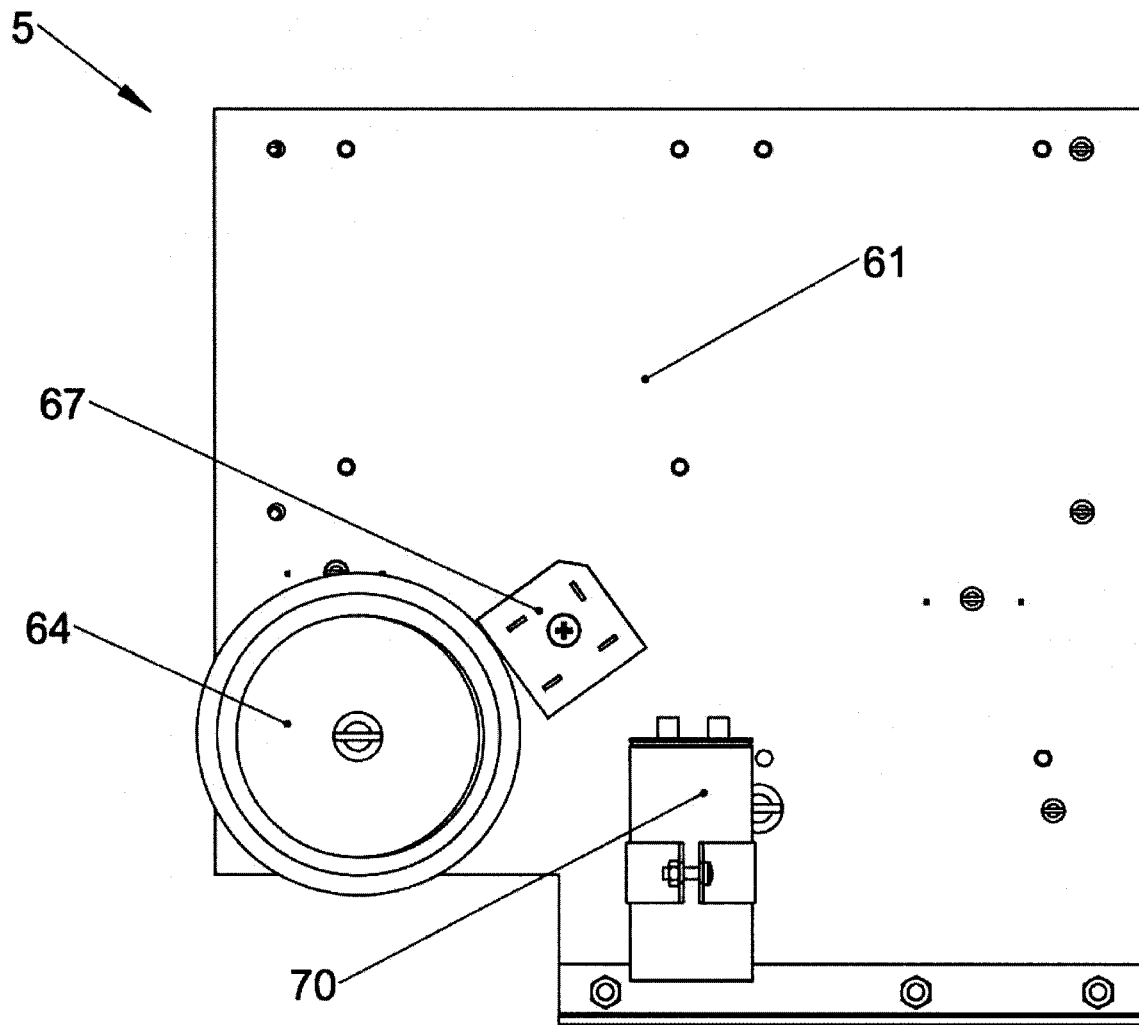
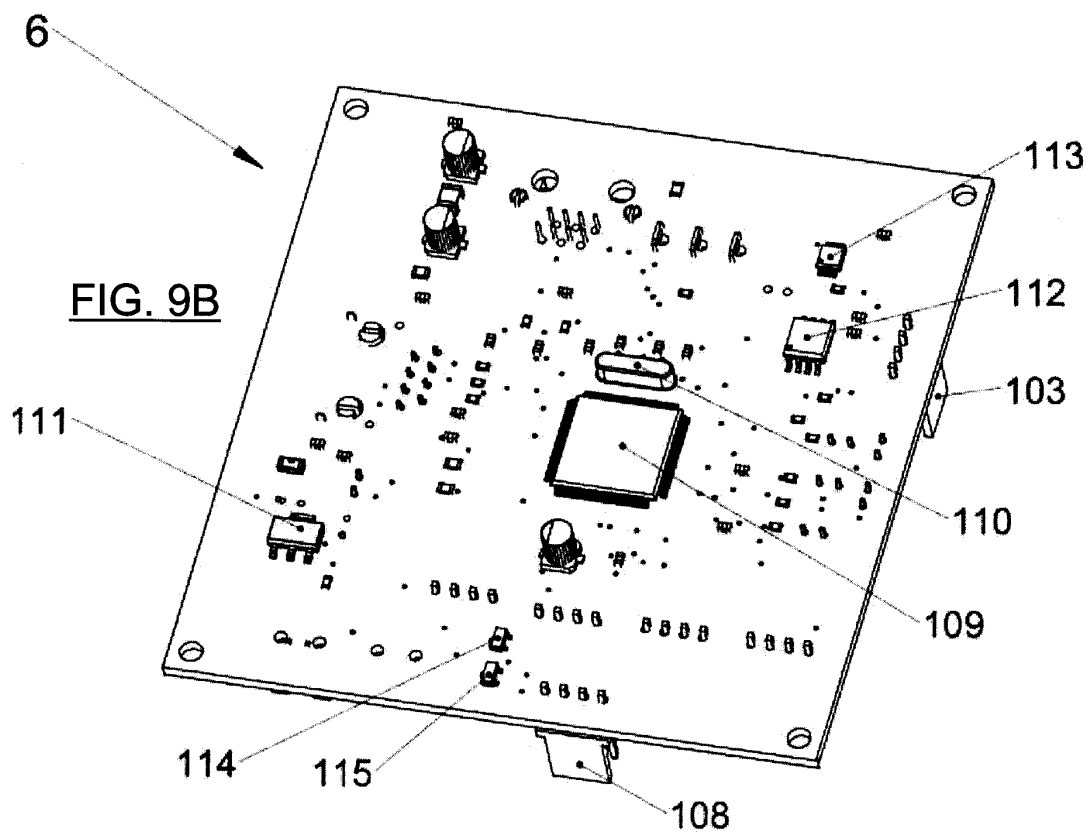
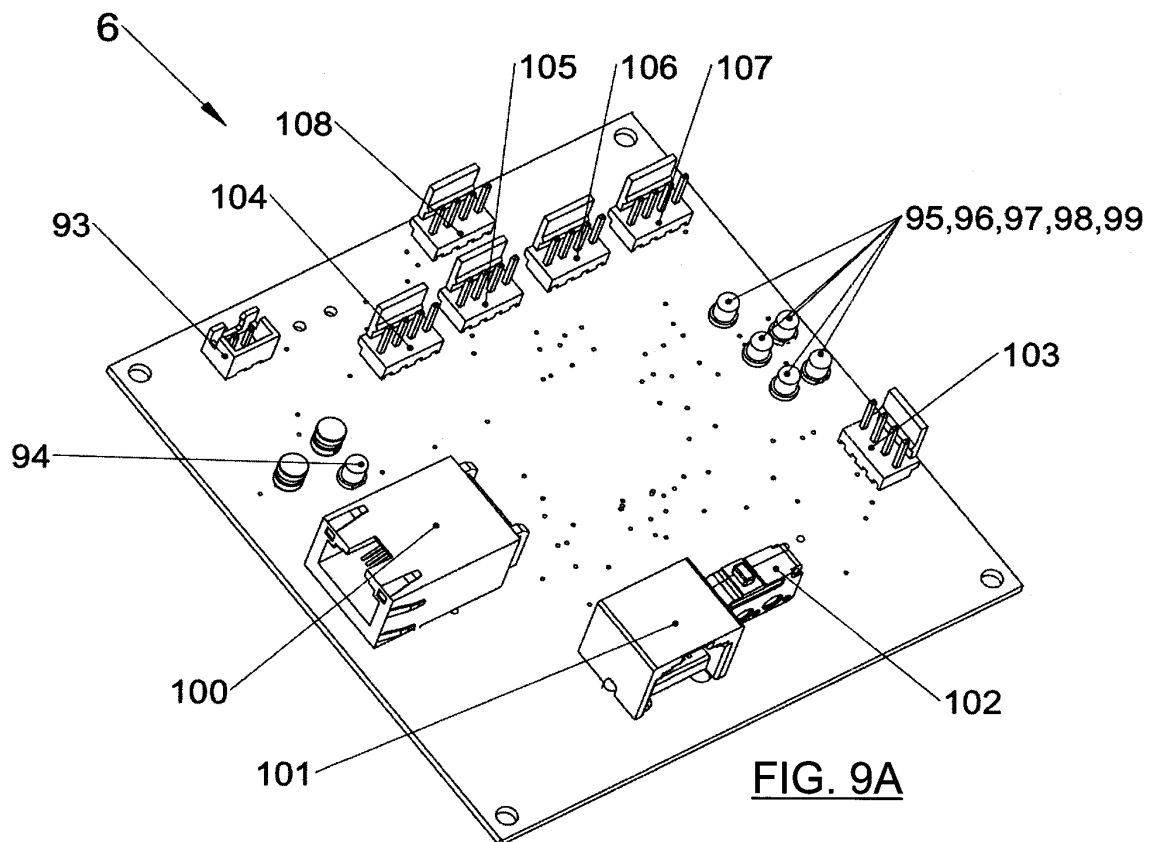
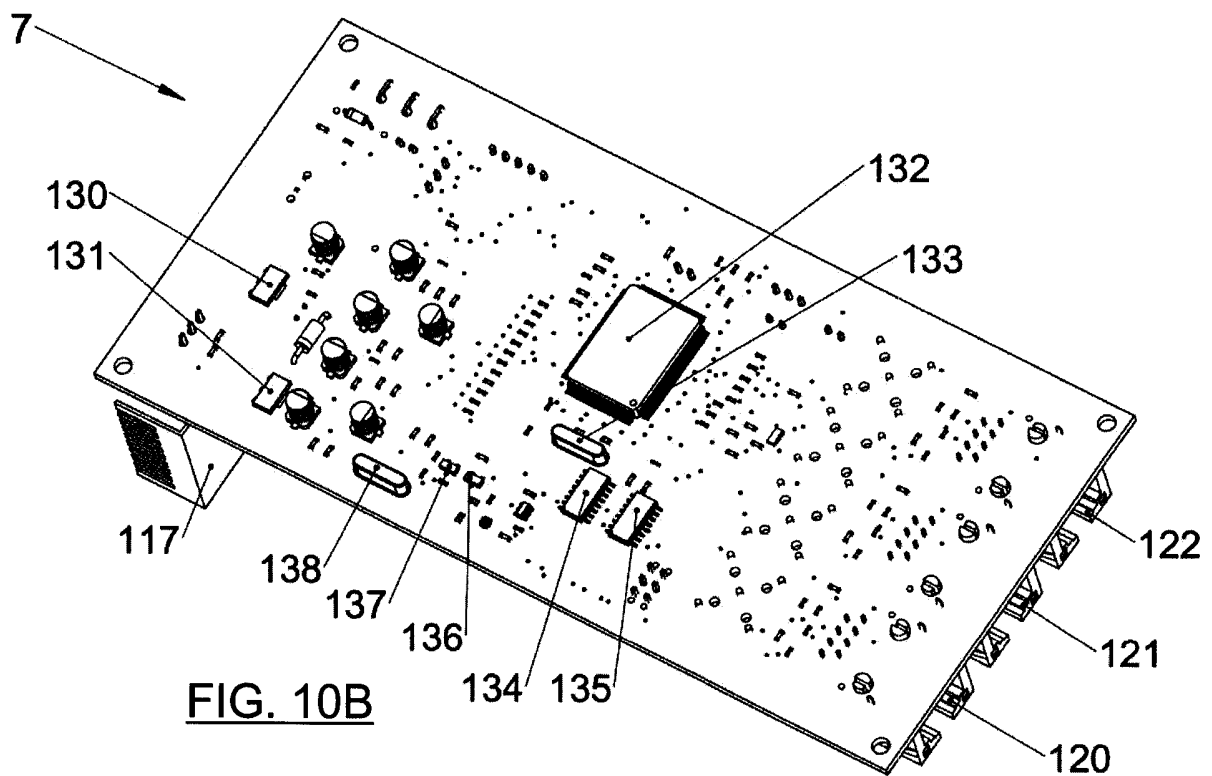
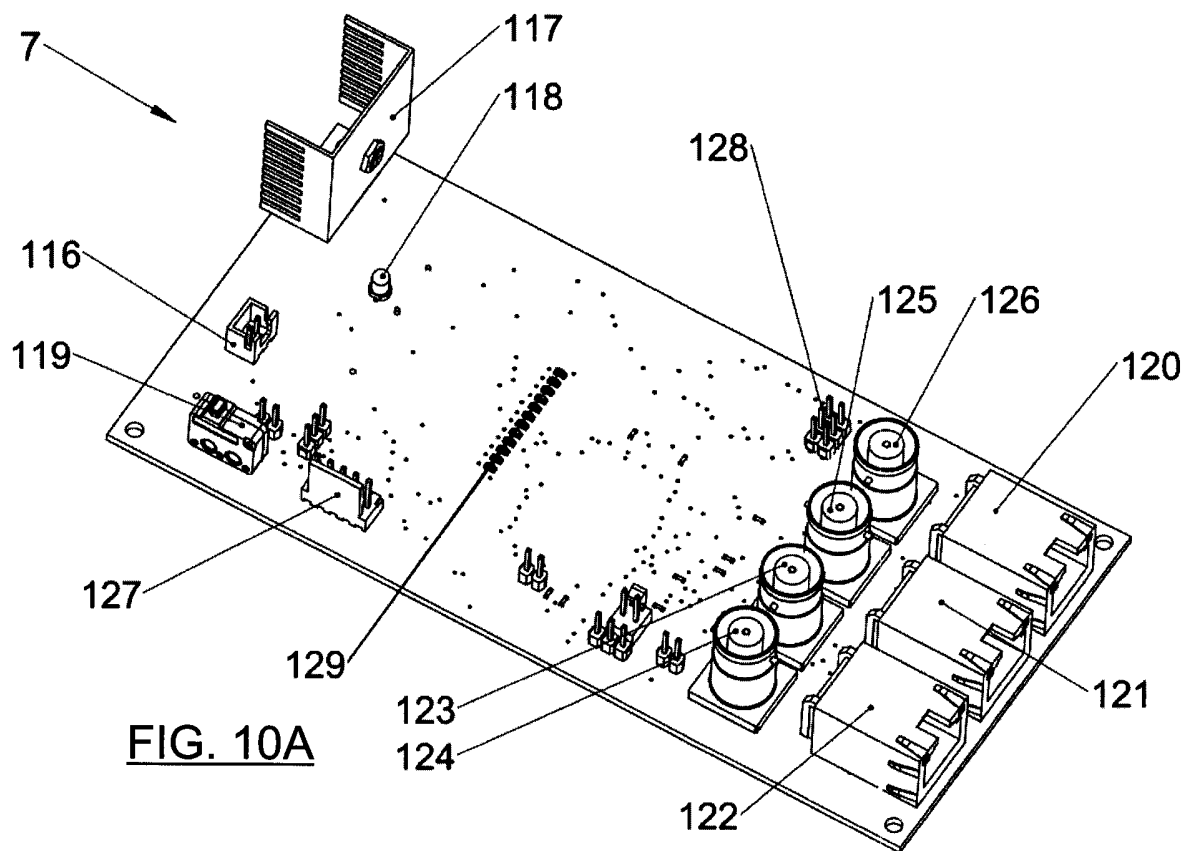
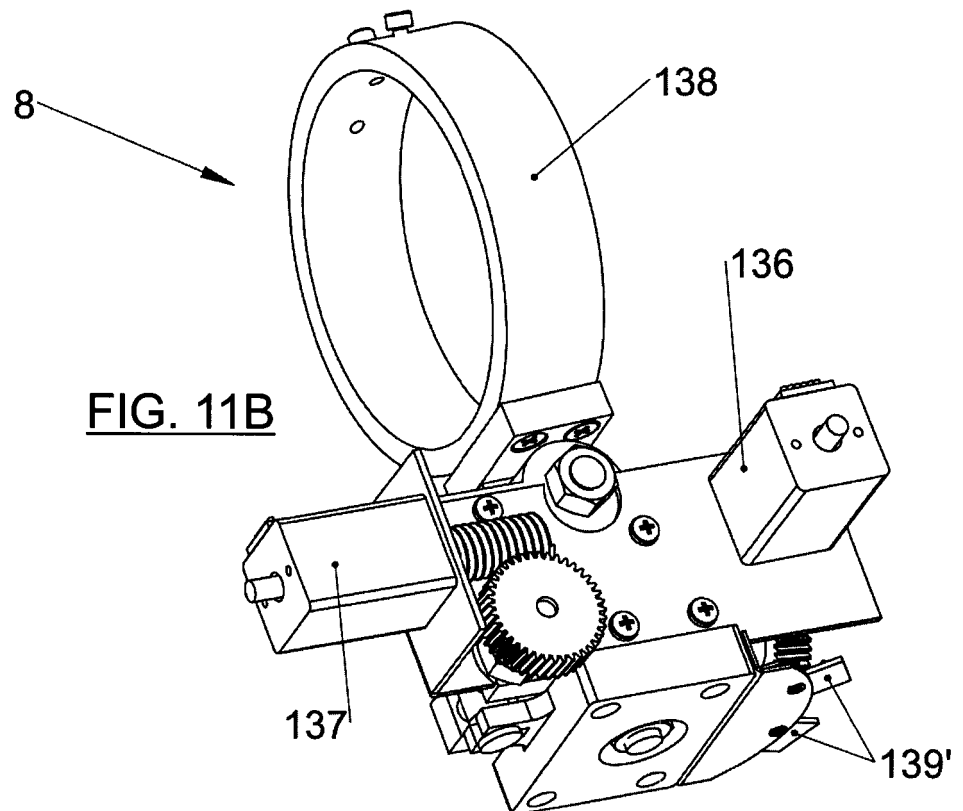
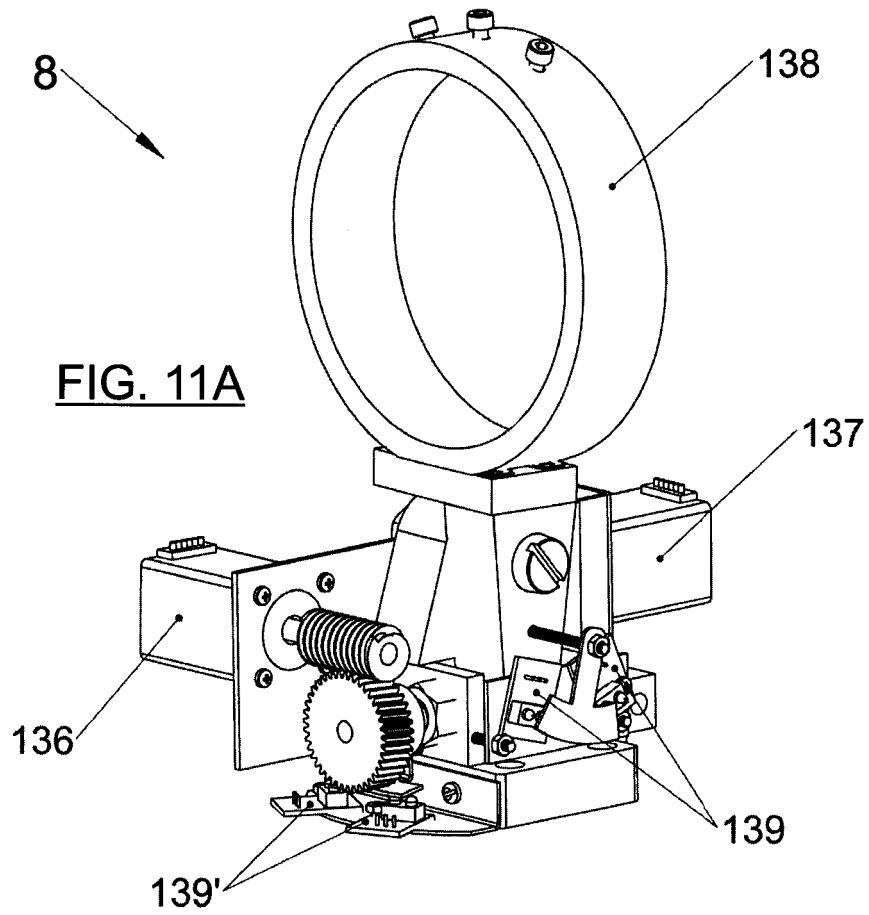
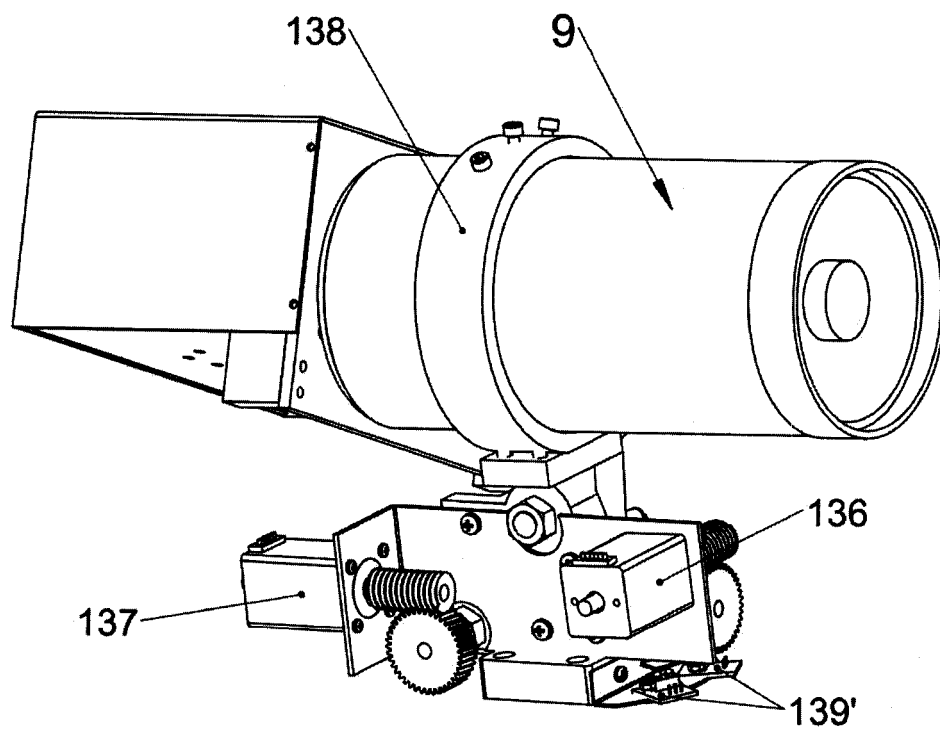
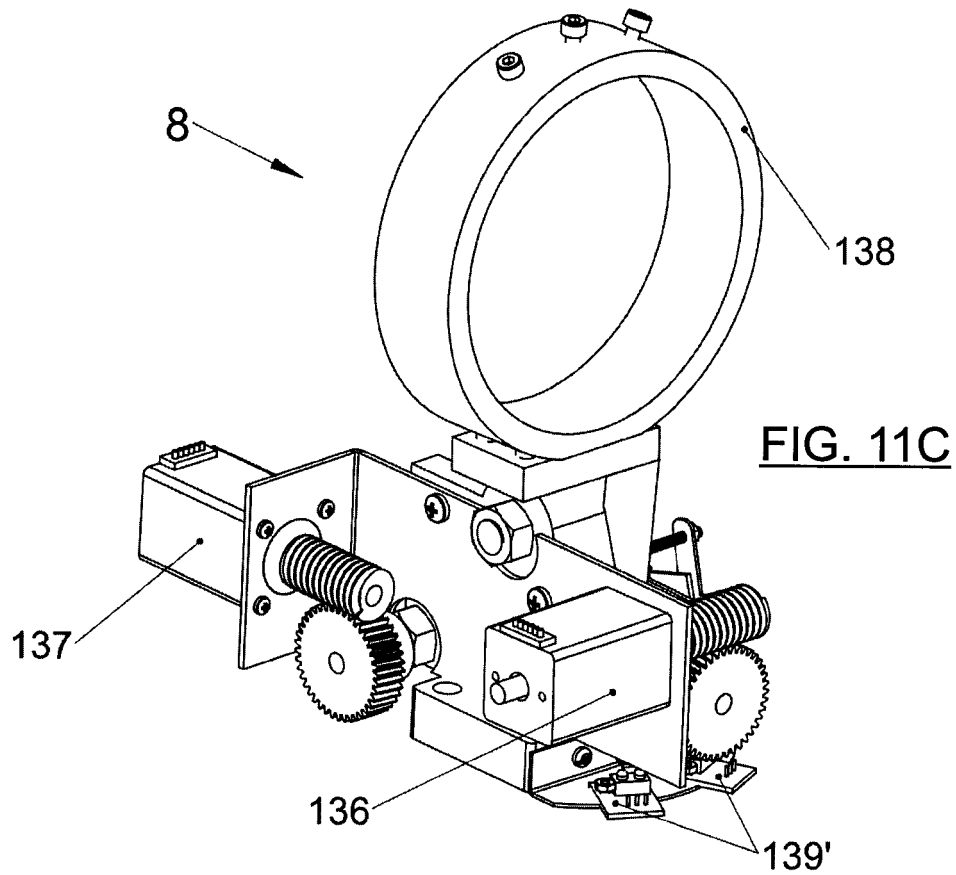


FIG. 8C









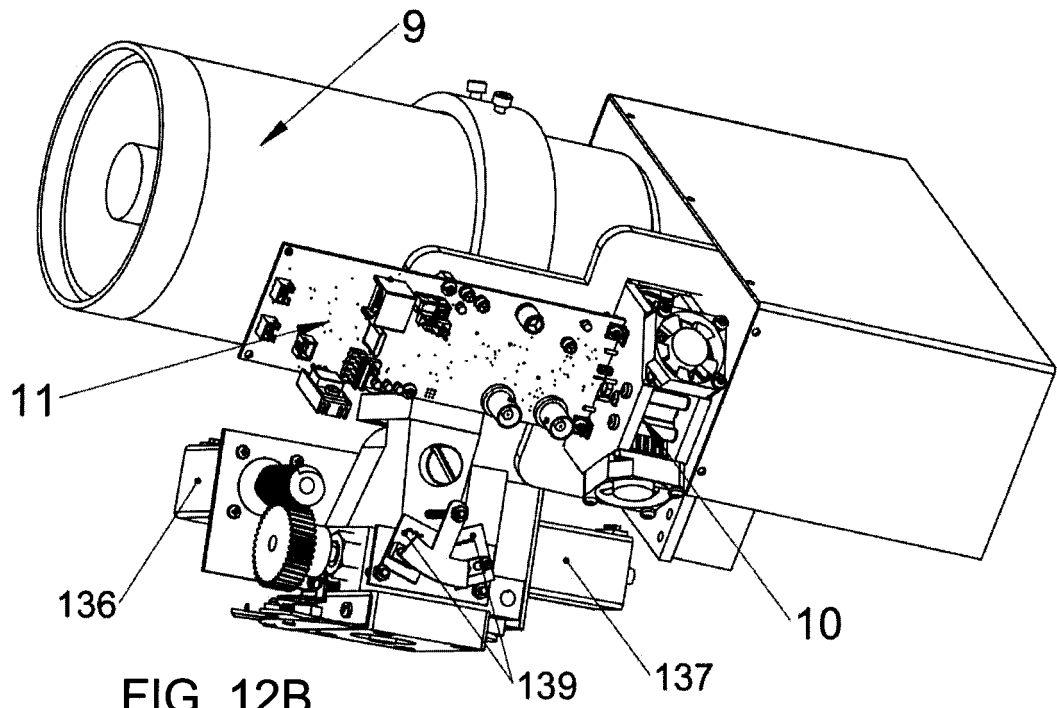


FIG. 12B

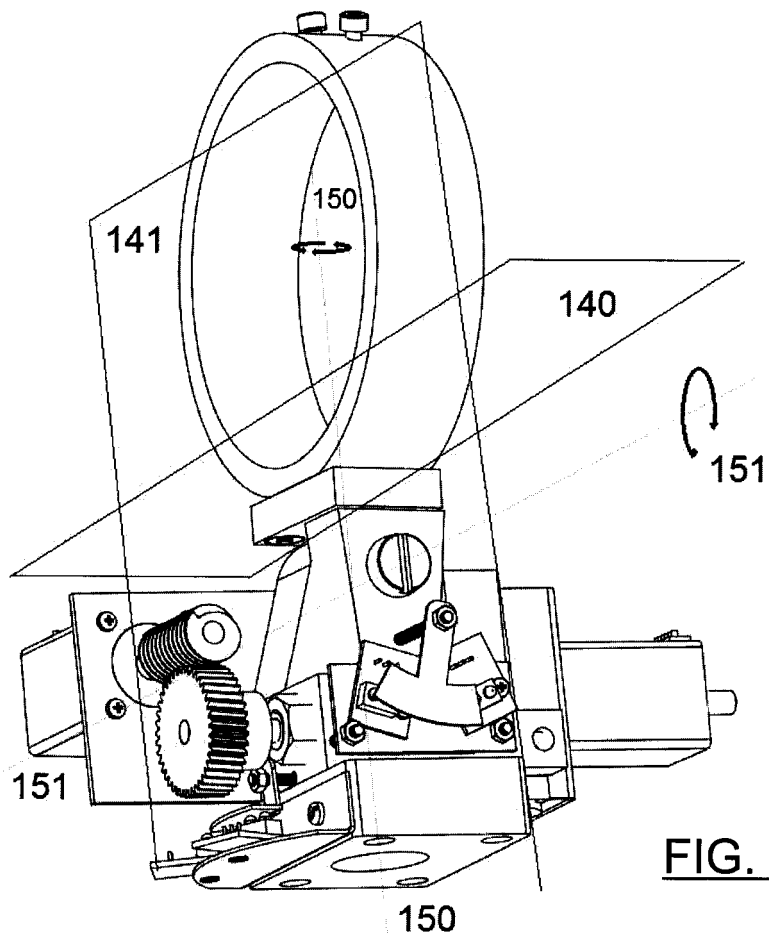
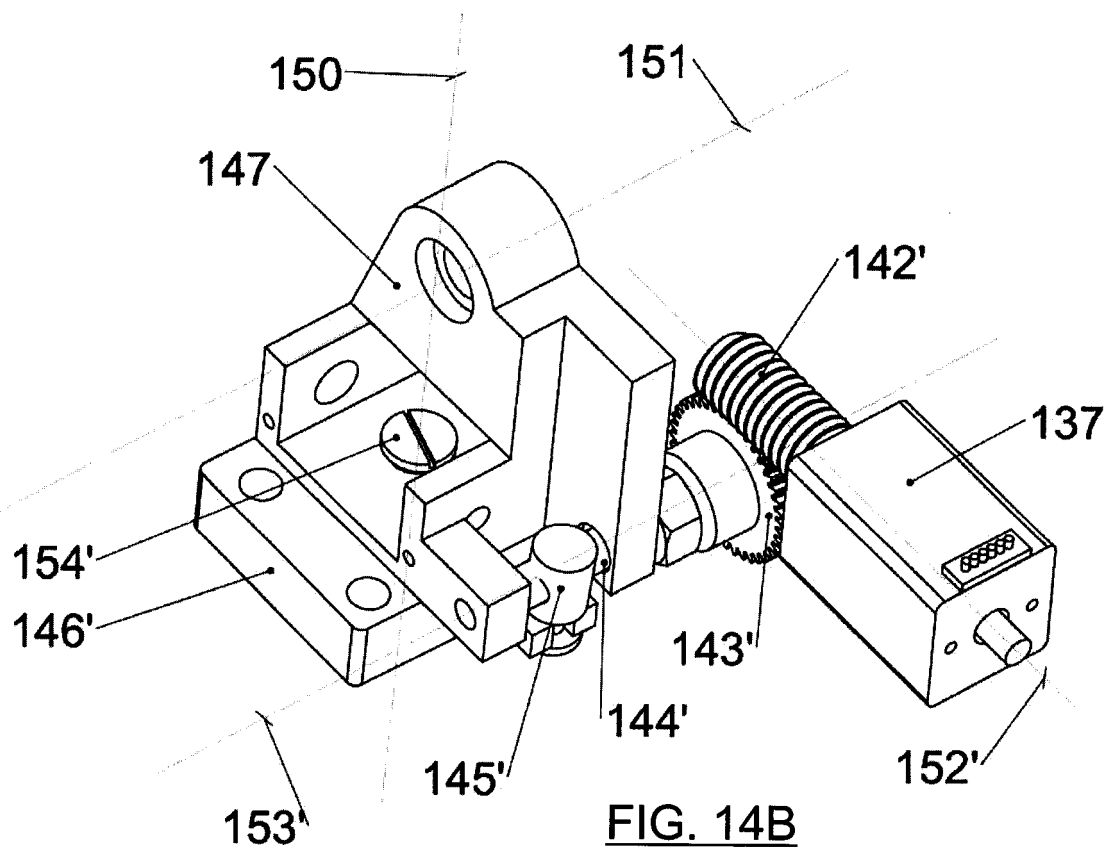
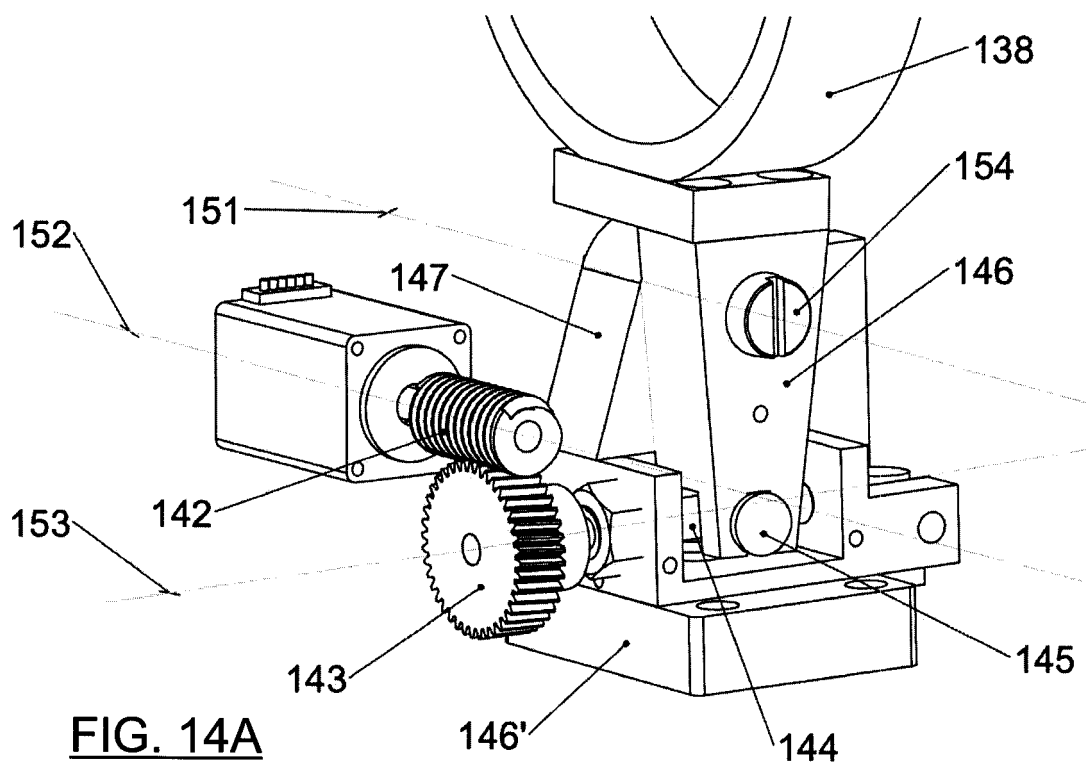
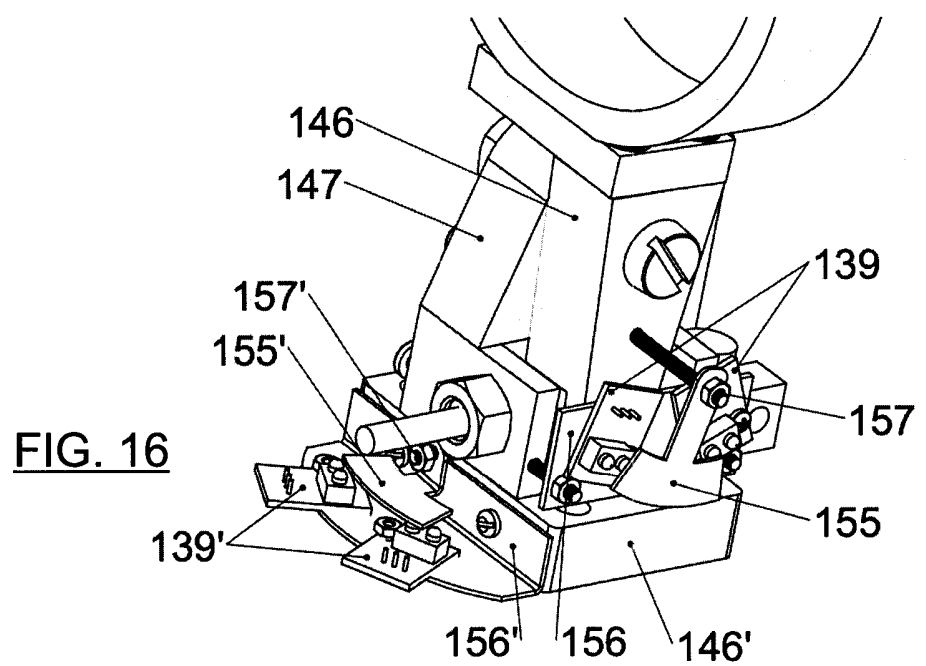
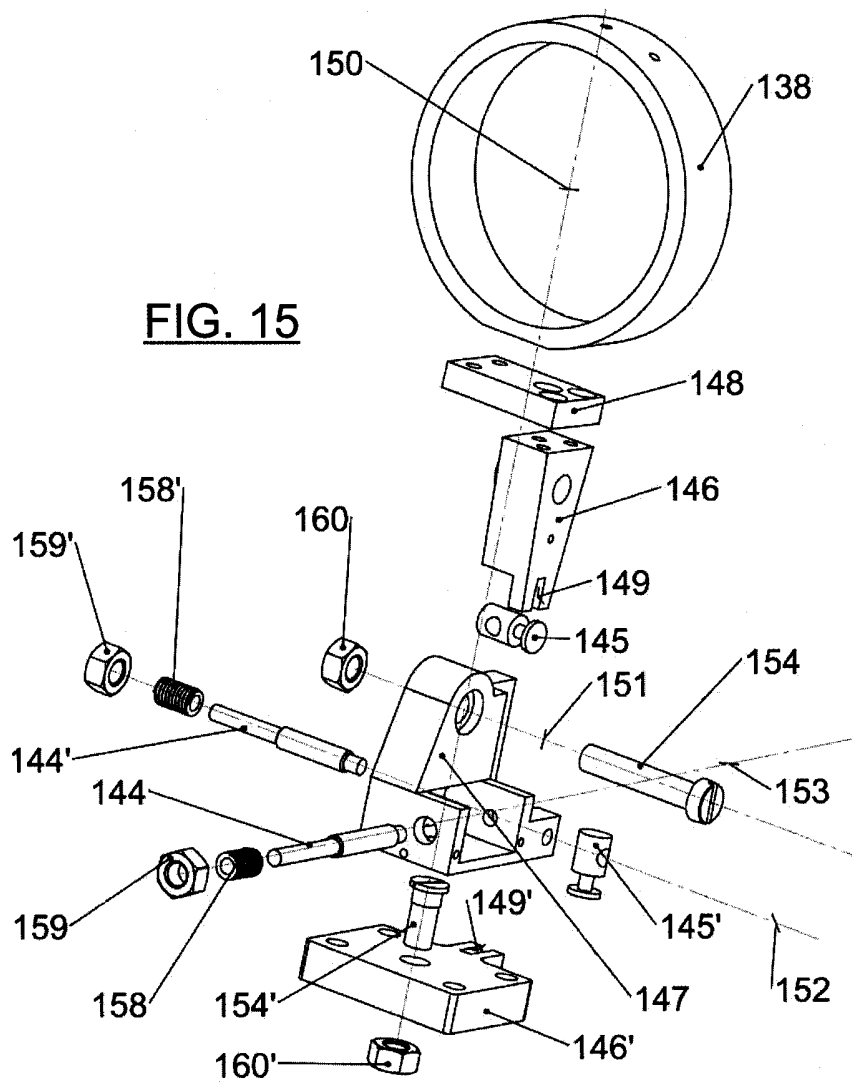
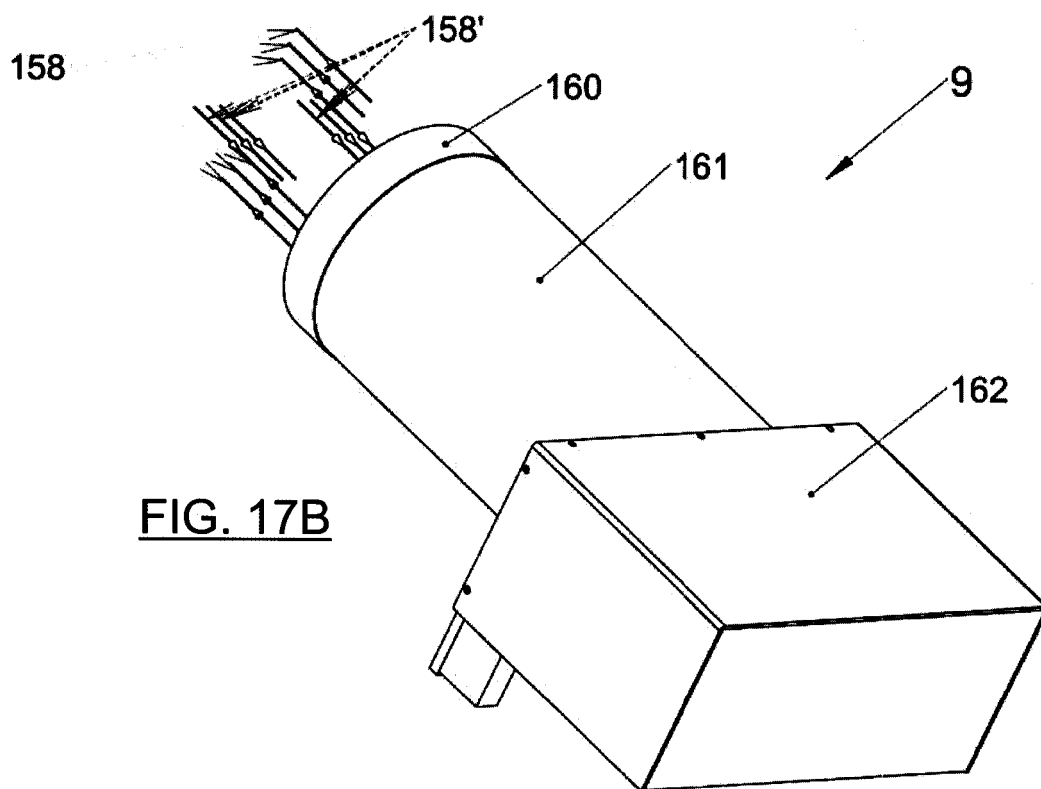
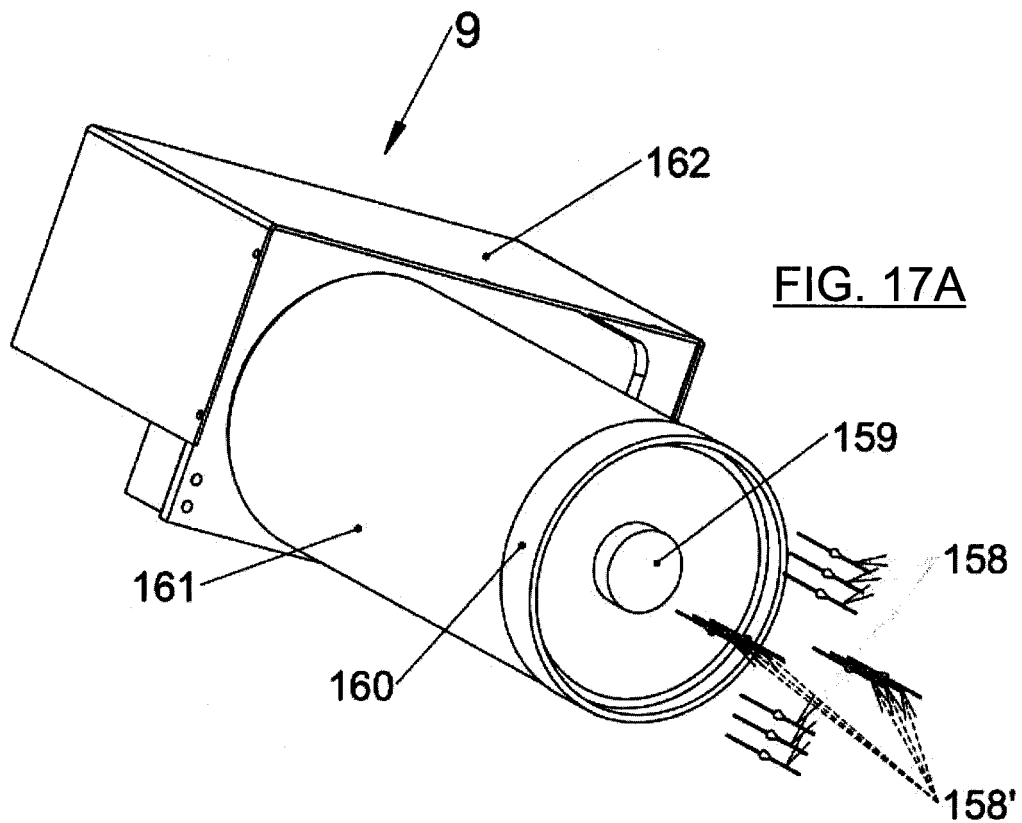
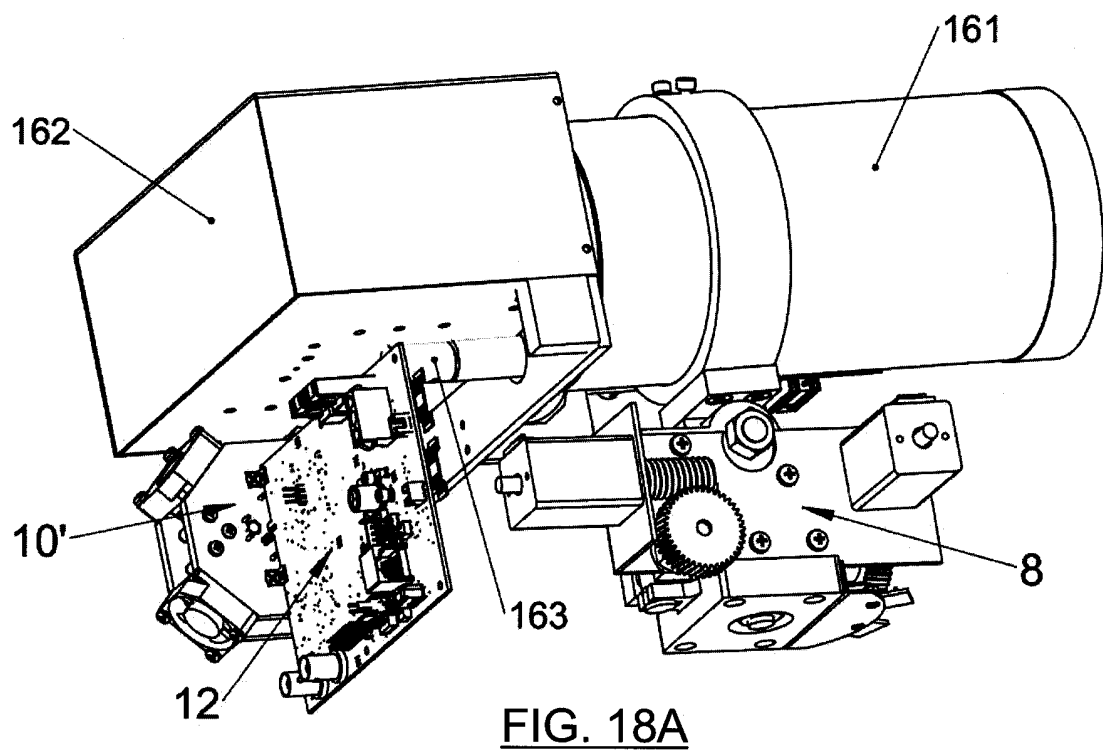
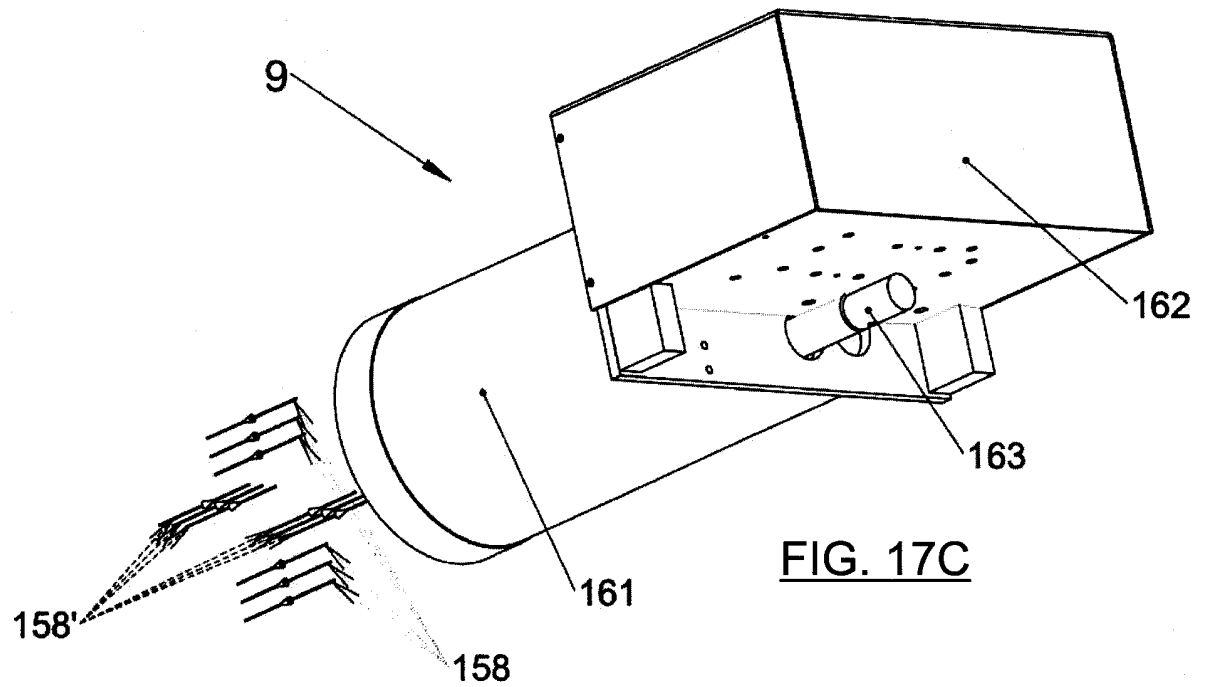


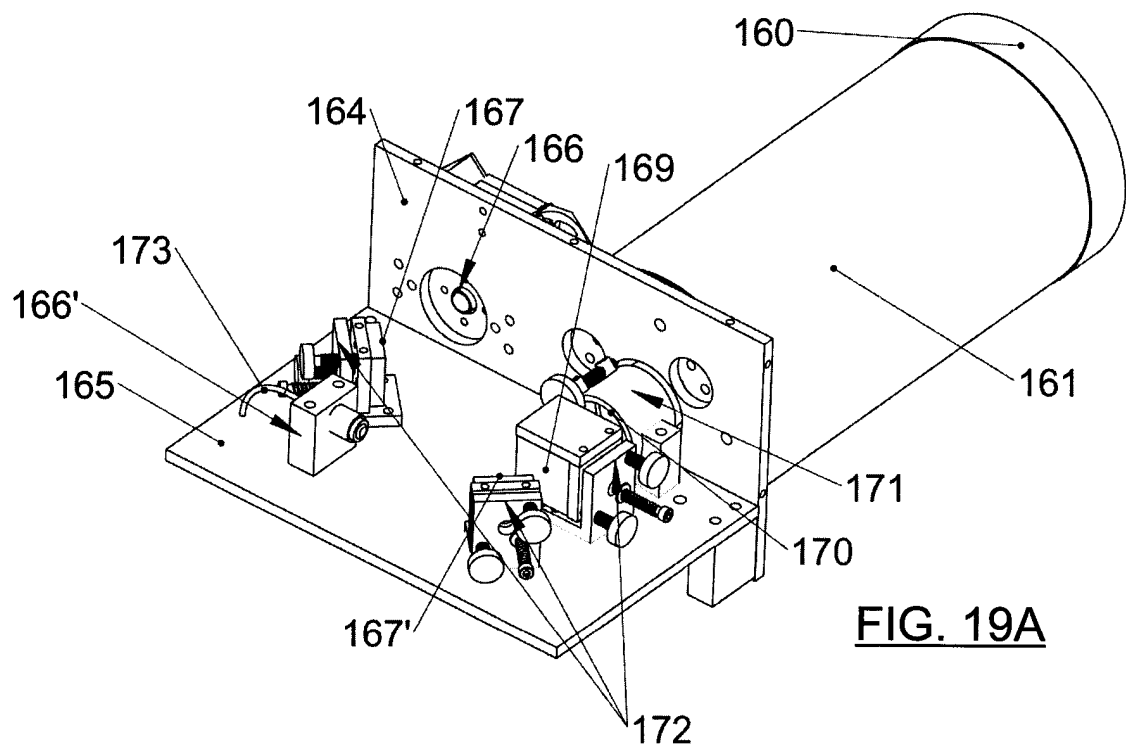
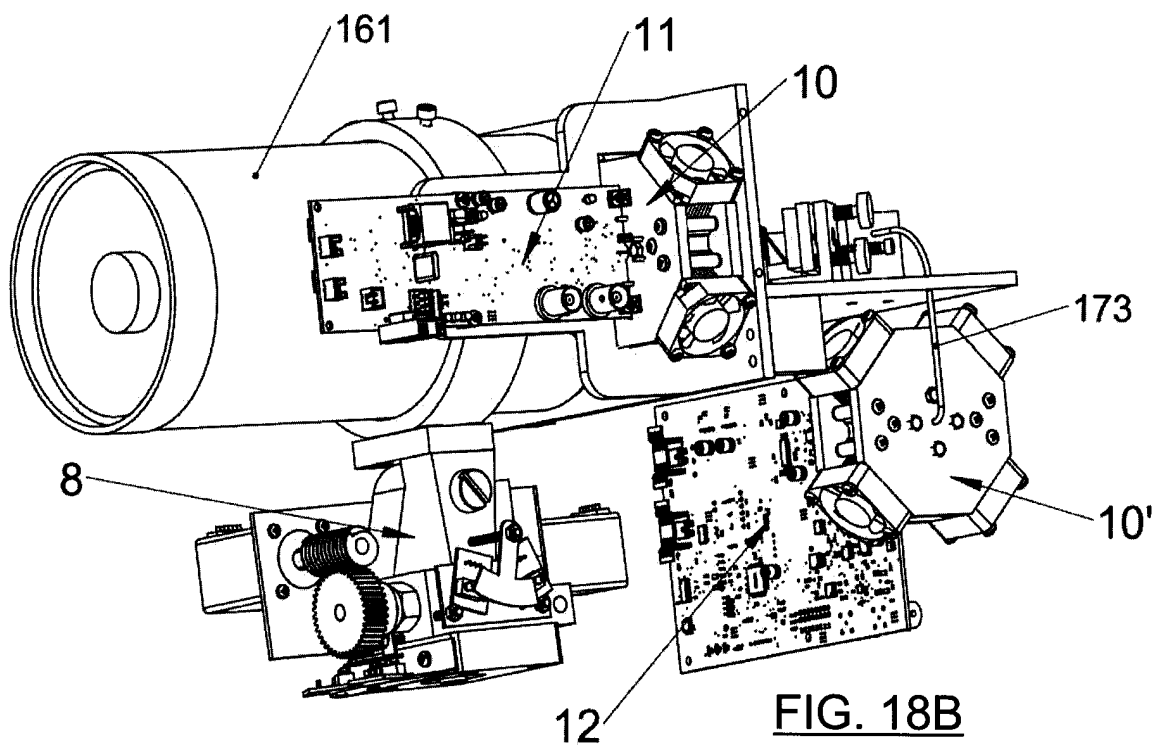
FIG. 13

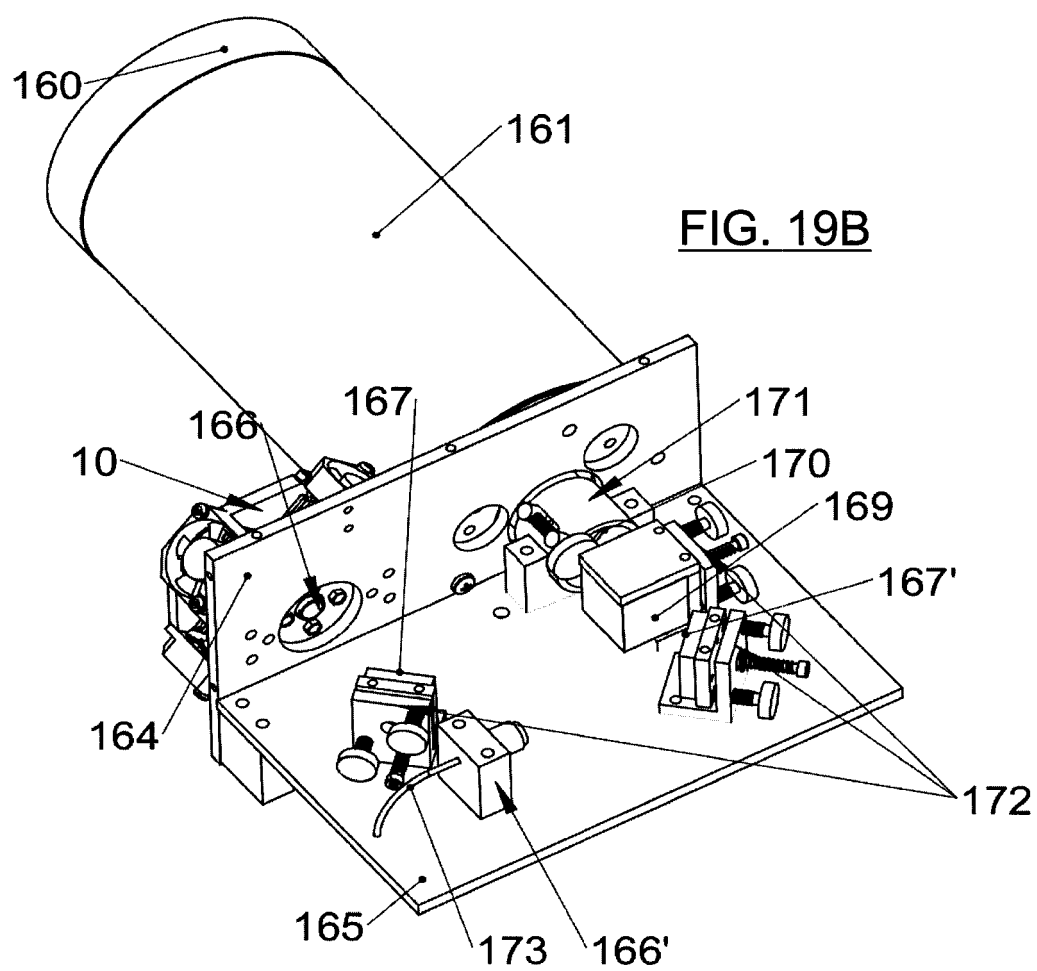


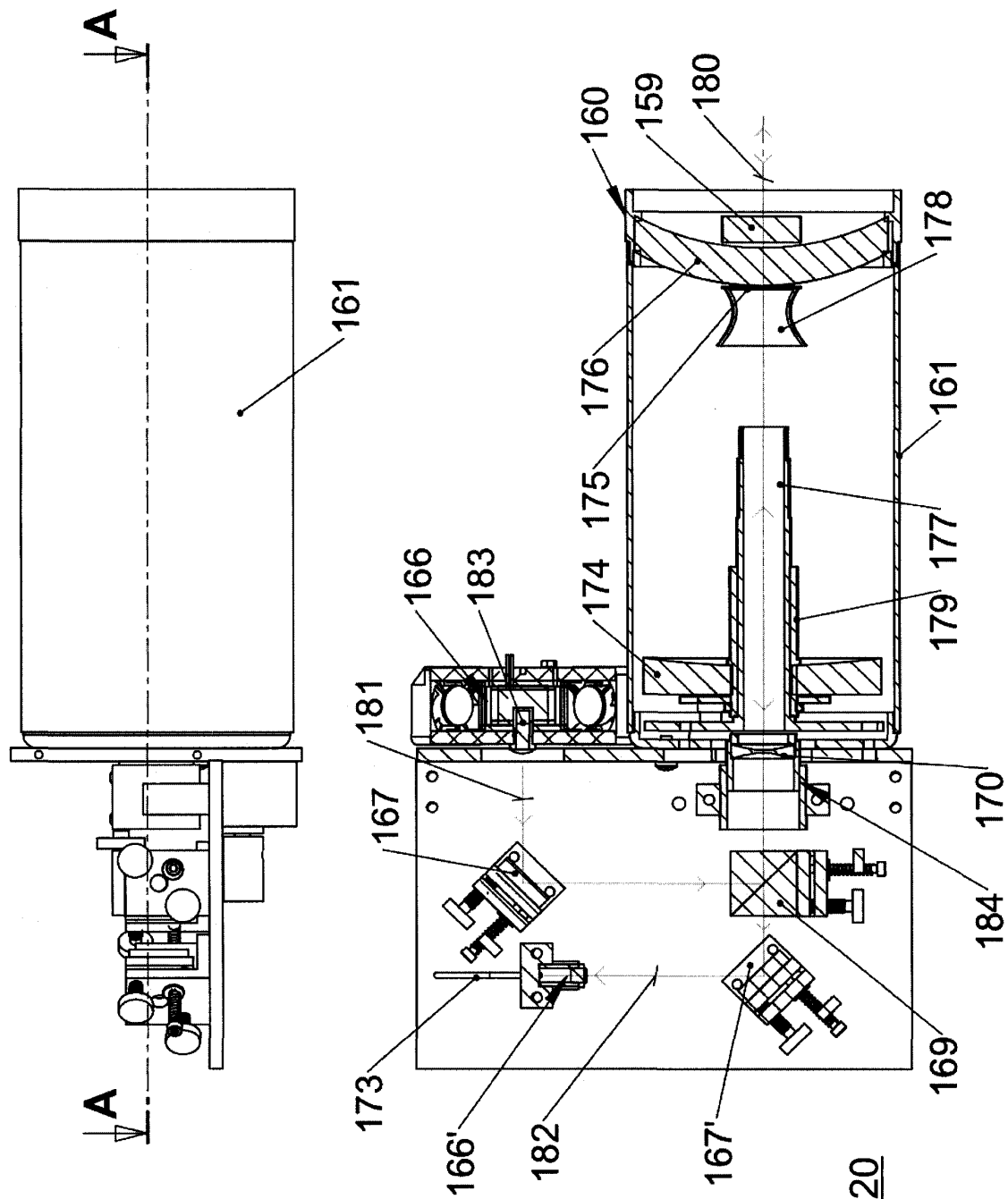


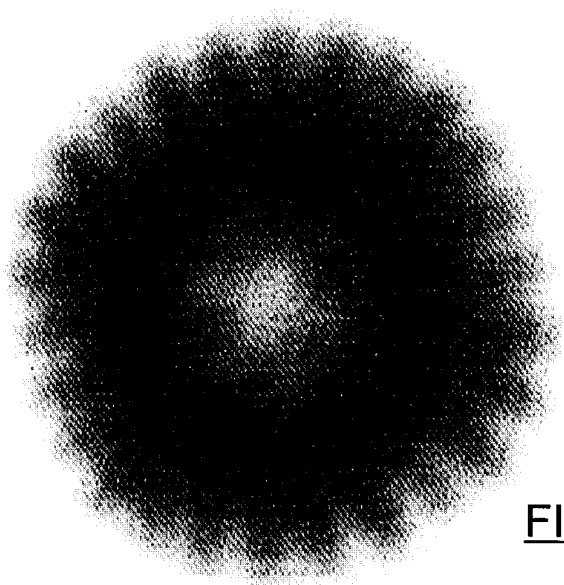
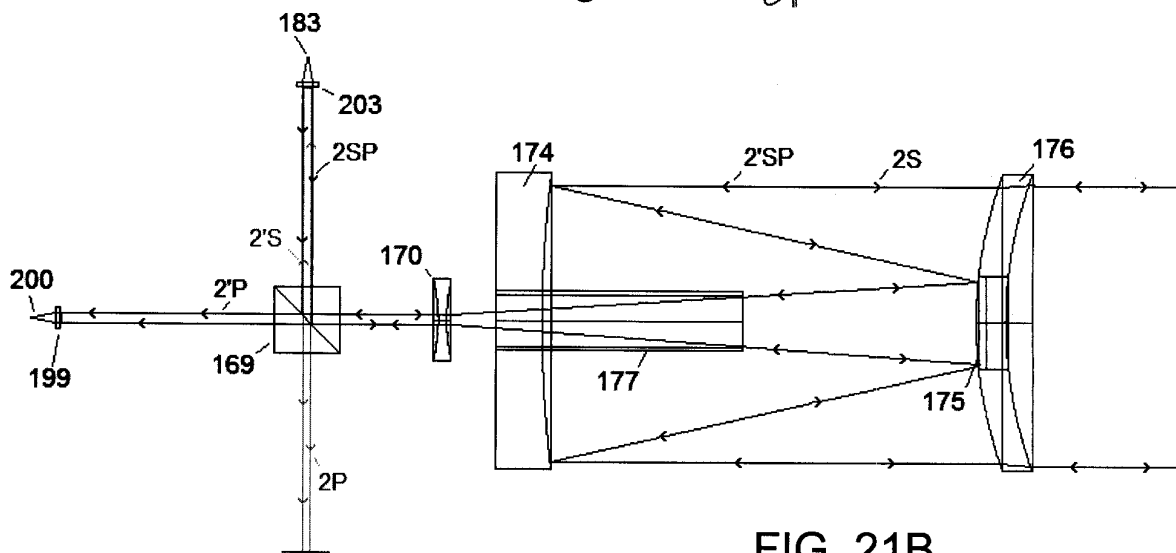
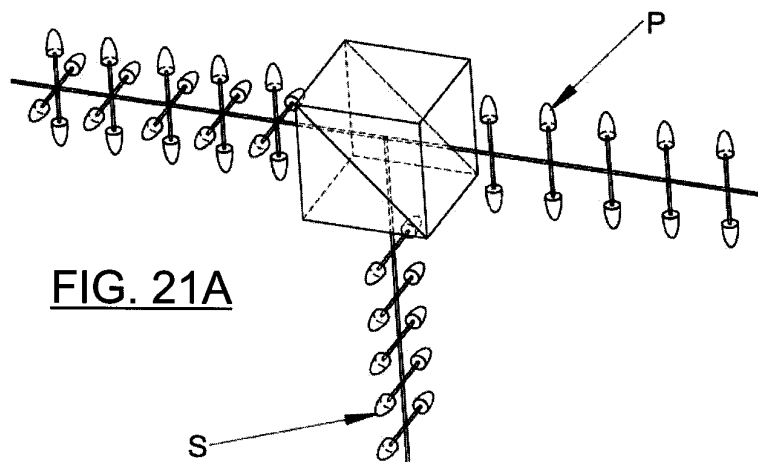












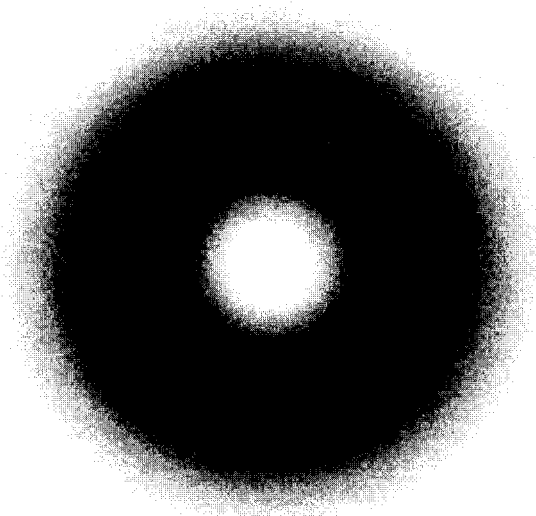


FIG. 22B

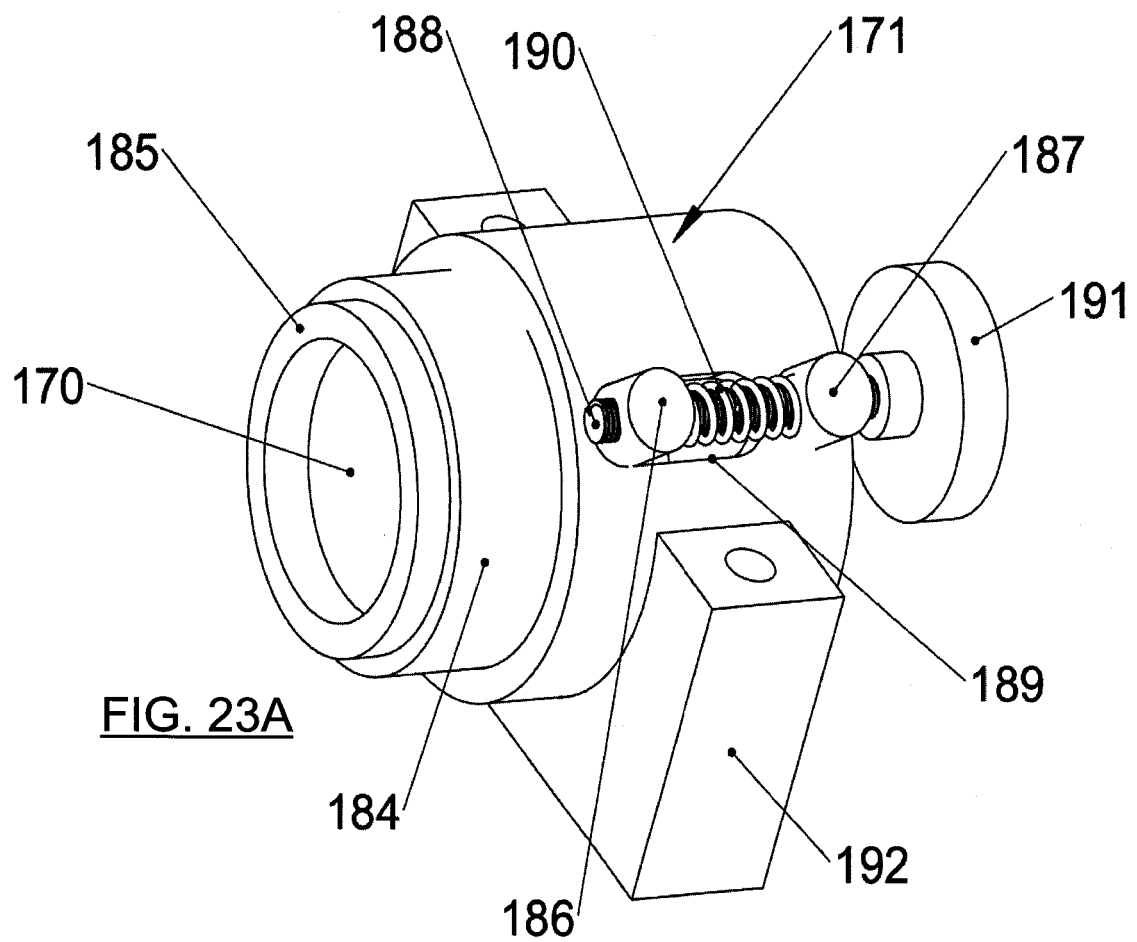
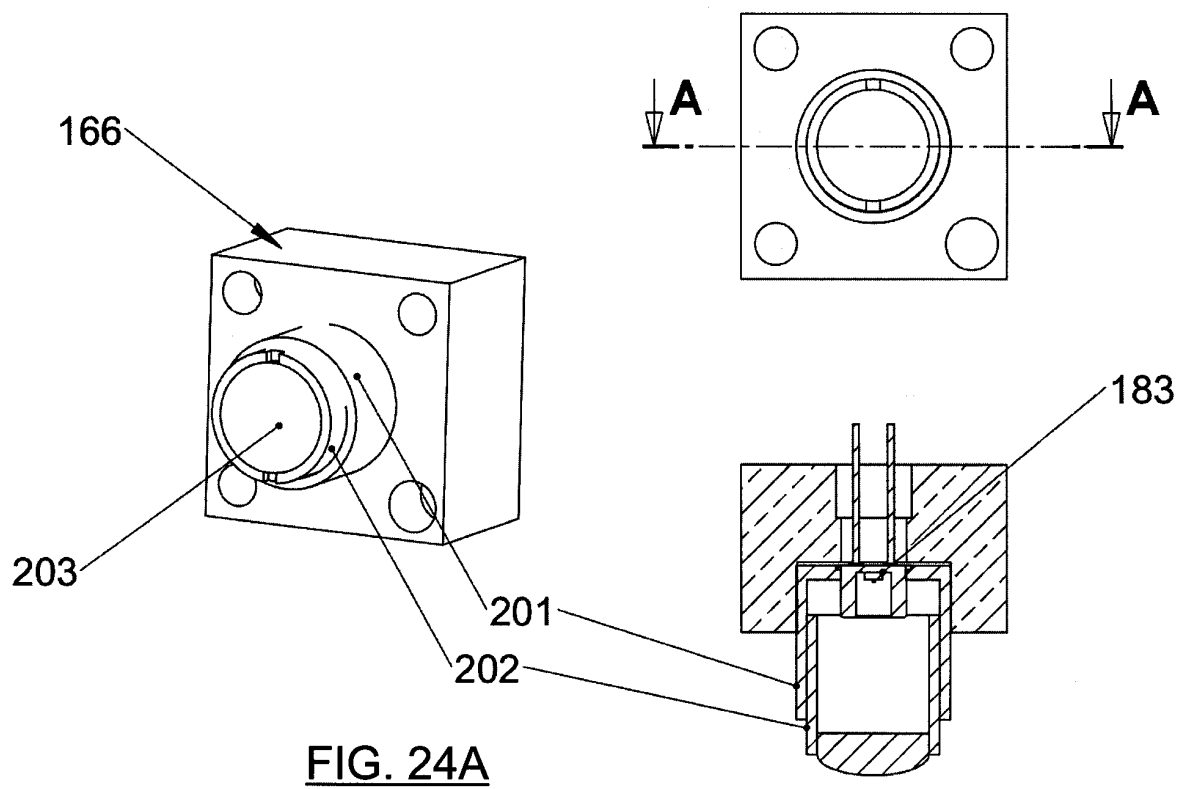
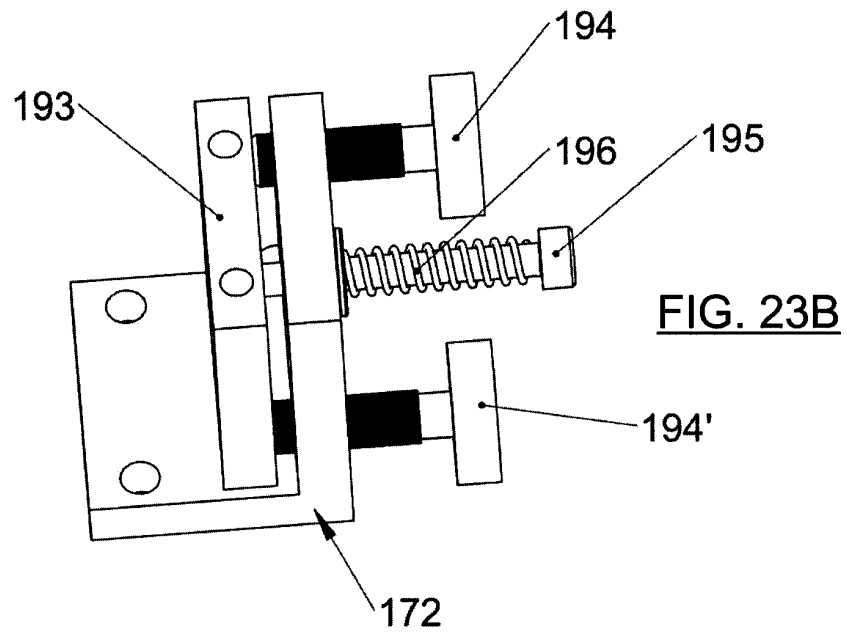


FIG. 23A



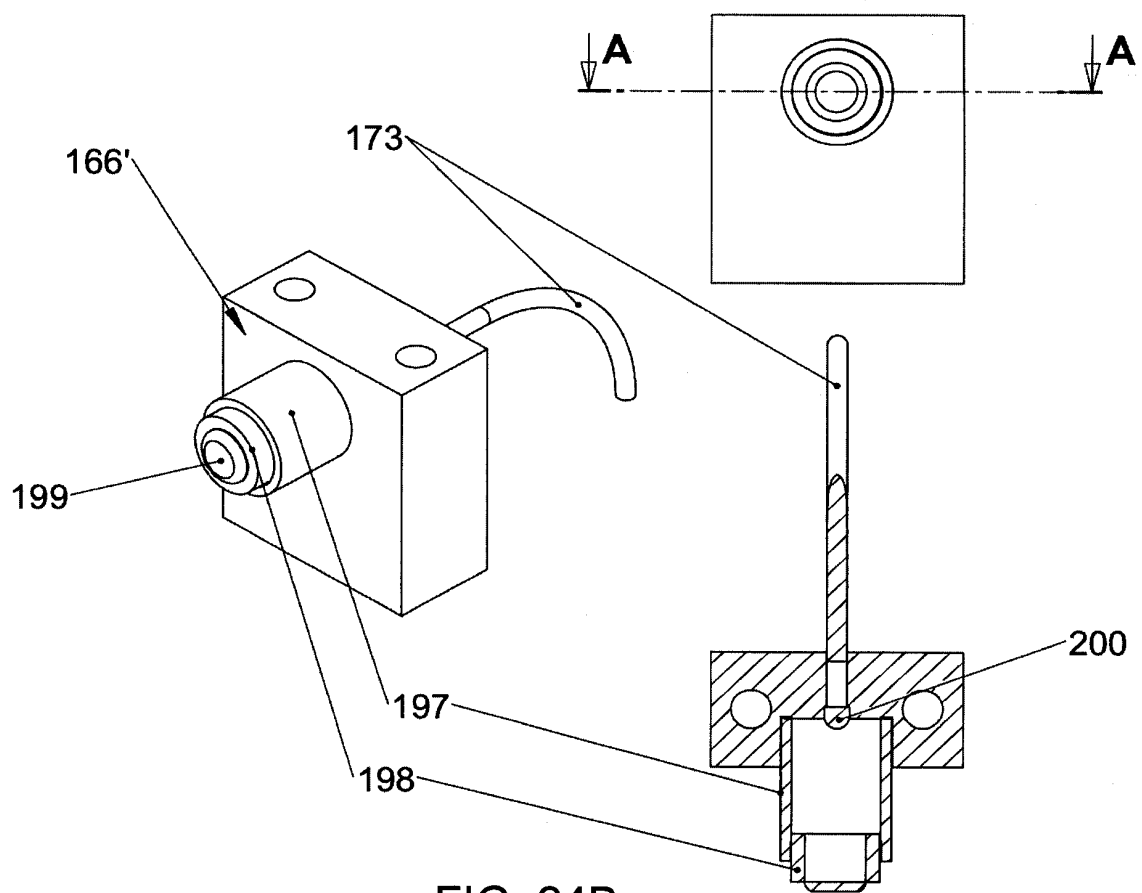
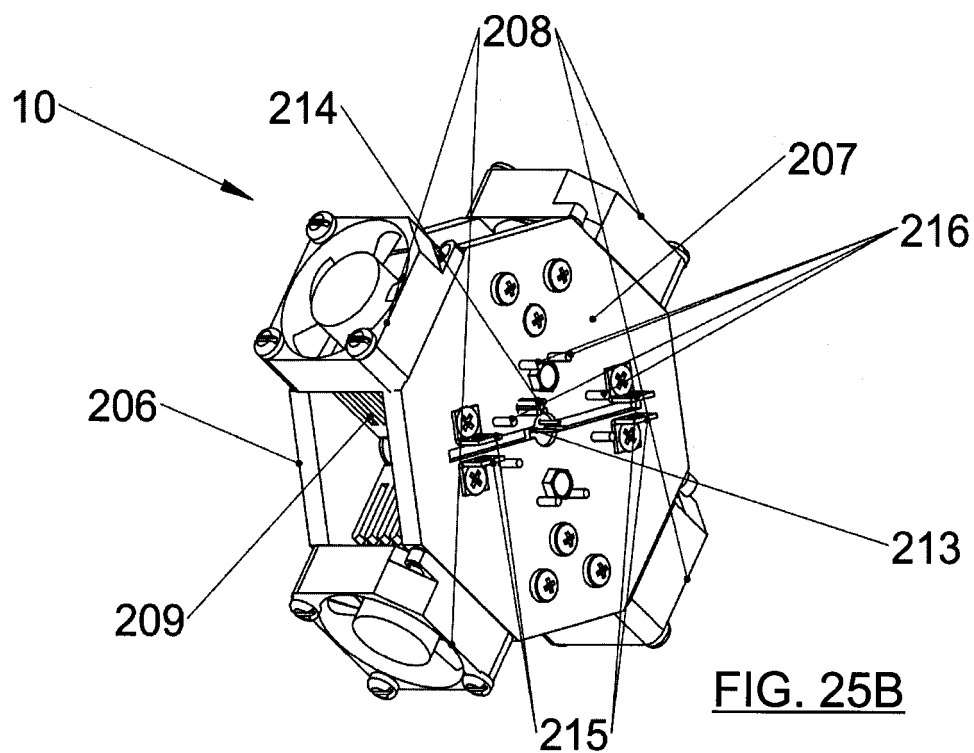
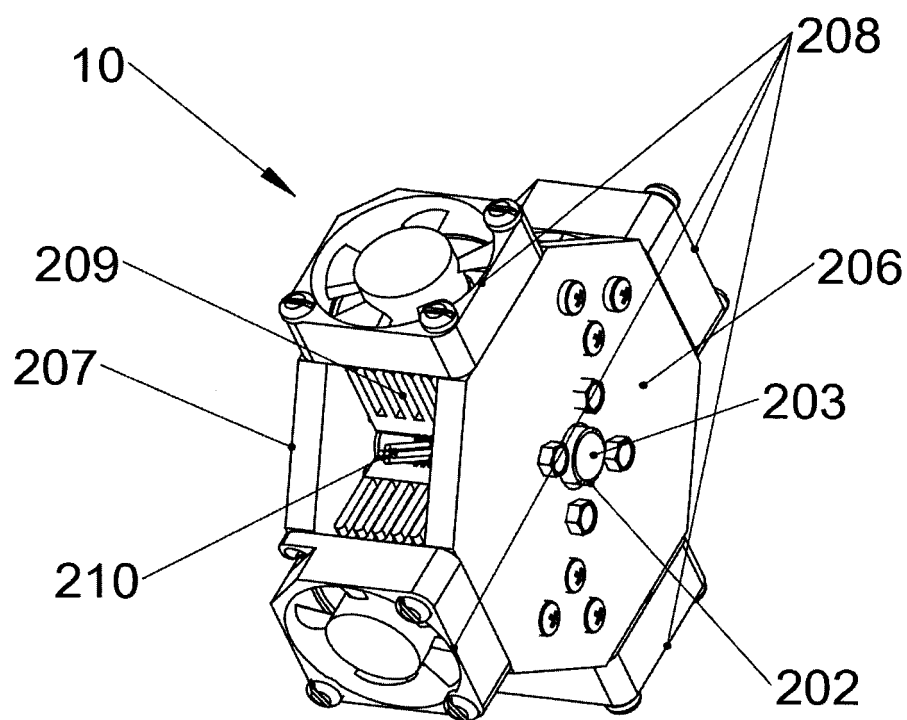
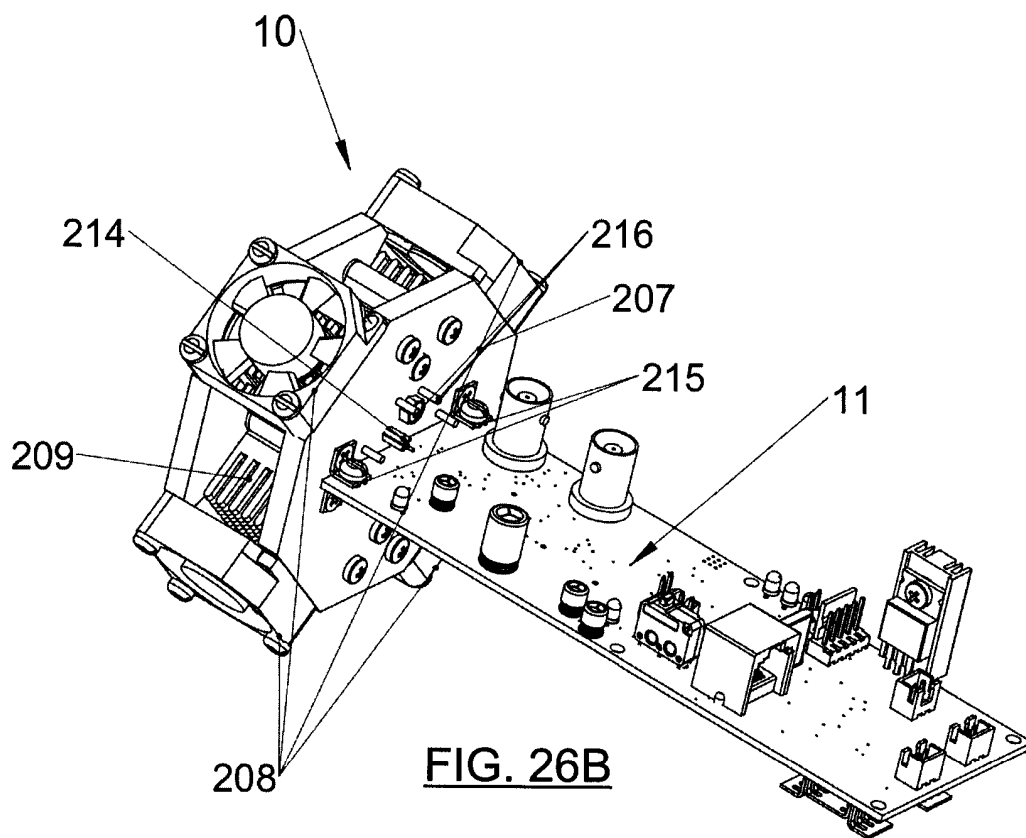
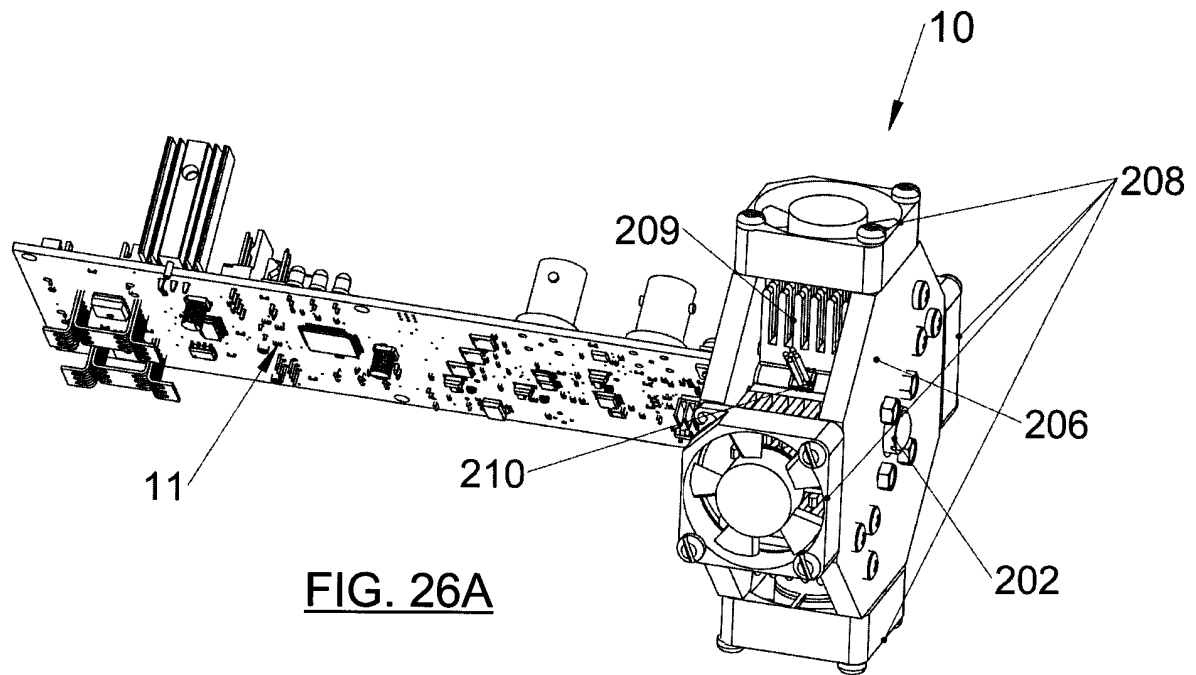


FIG. 24B





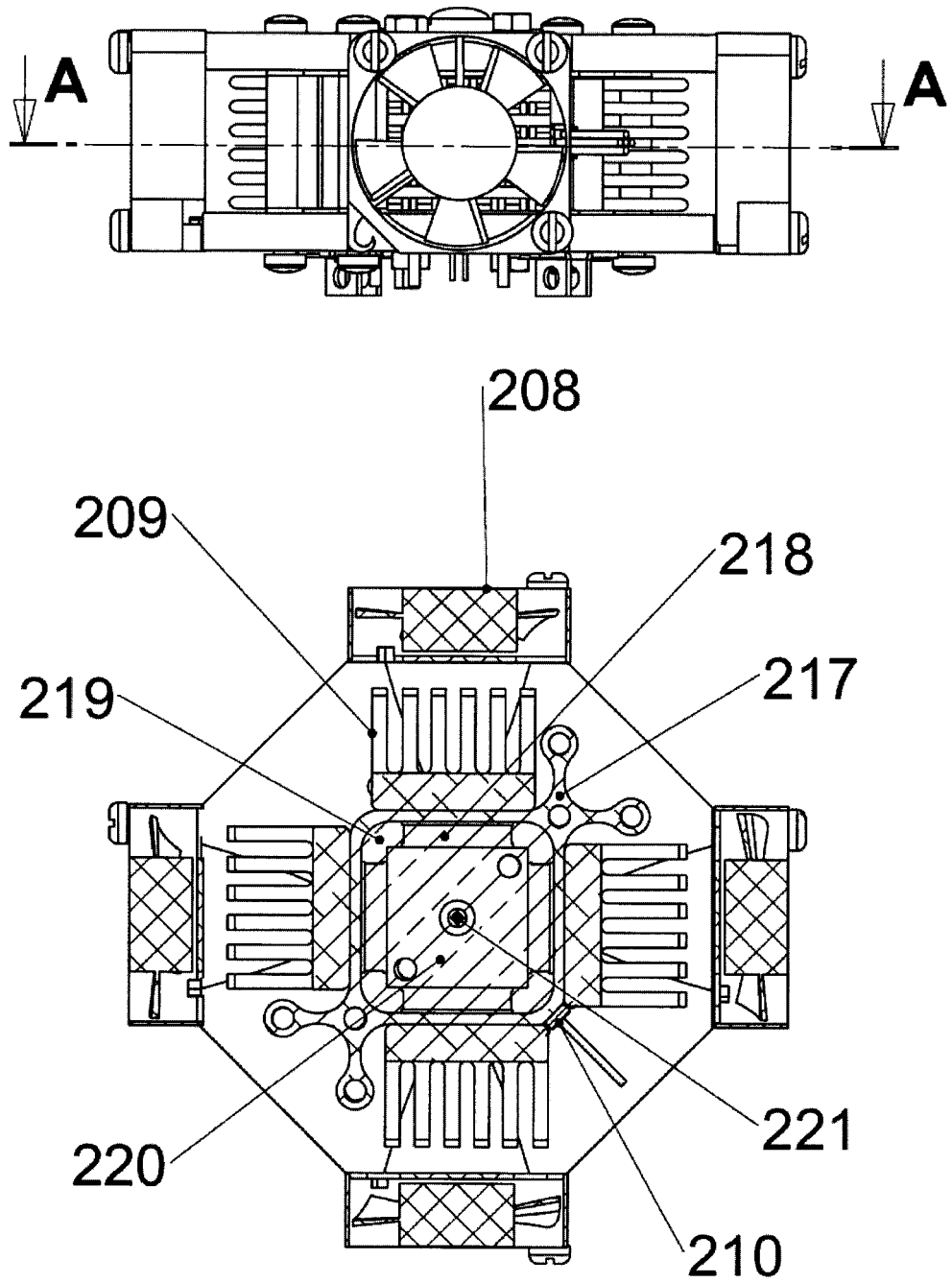


FIG. 27

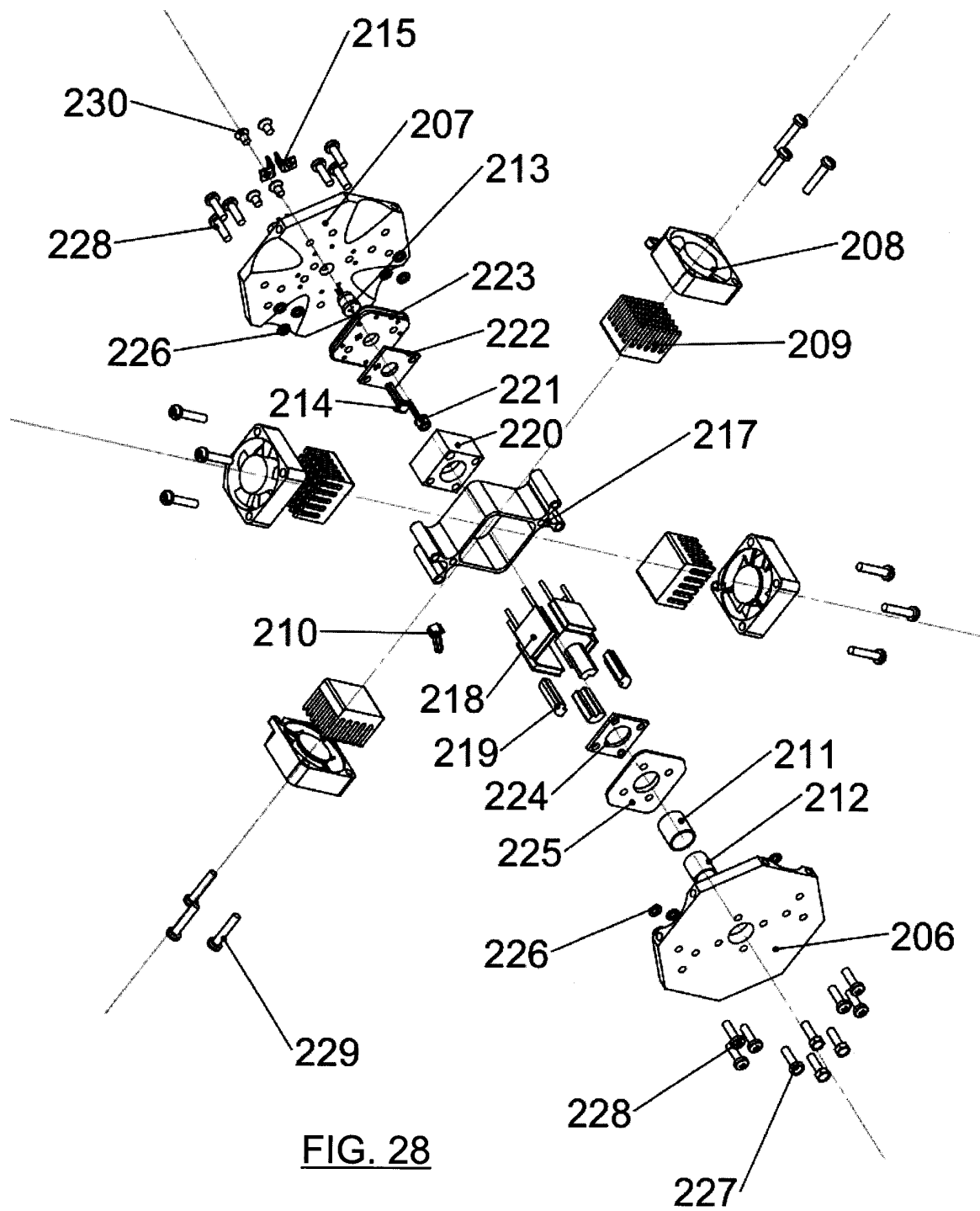


FIG. 28

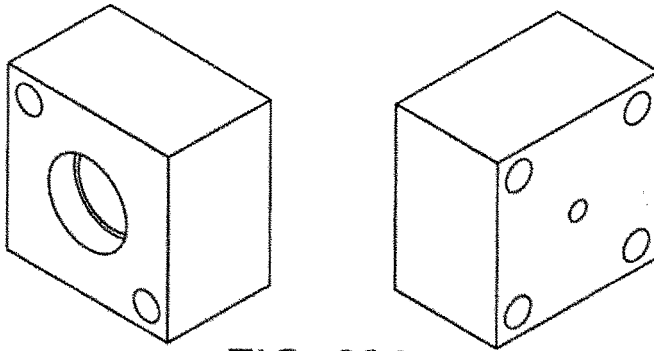


FIG. 29A

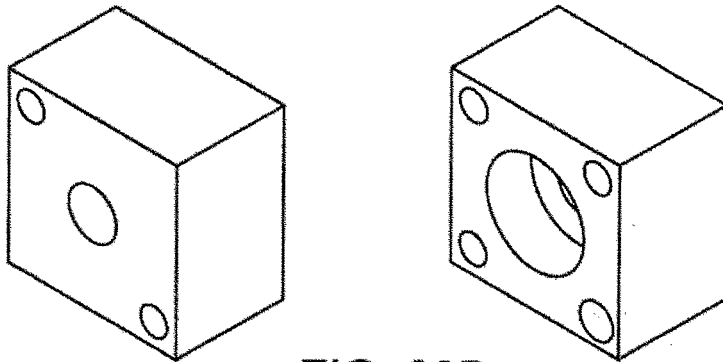
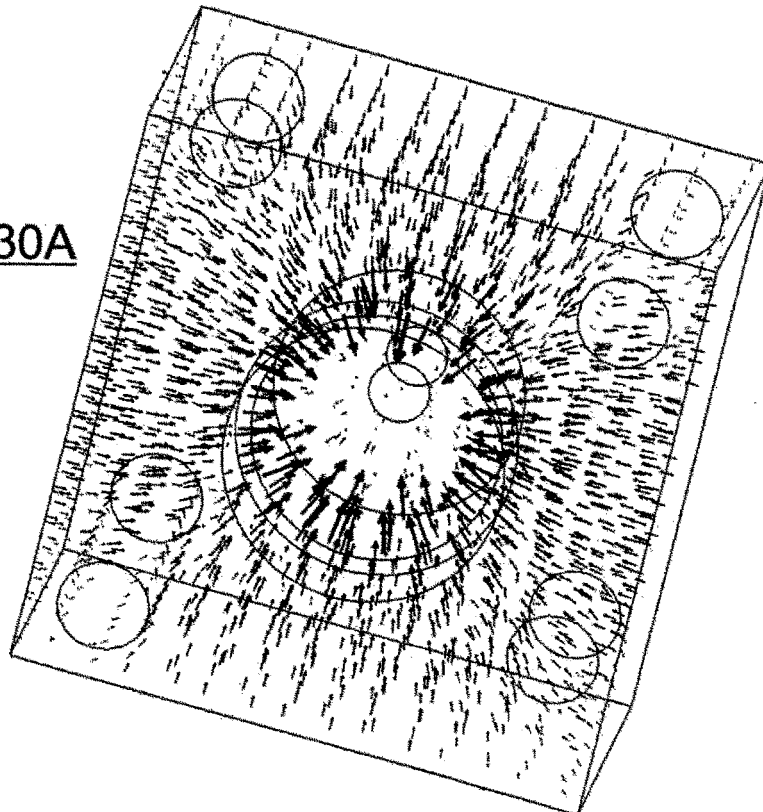


FIG. 29B

FIG. 30A



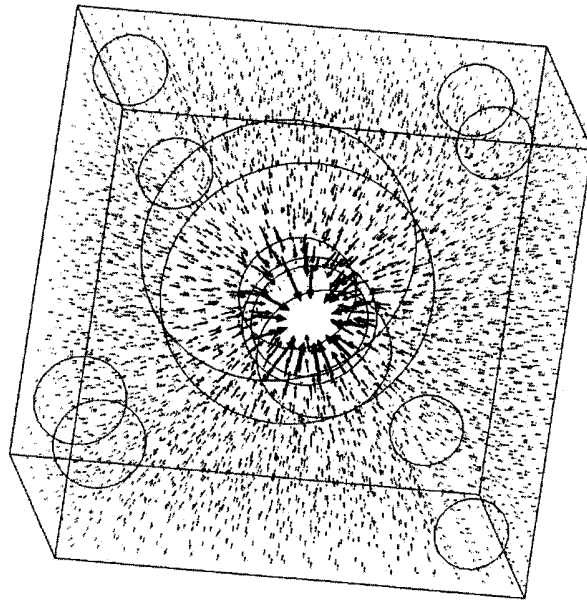


FIG. 30B

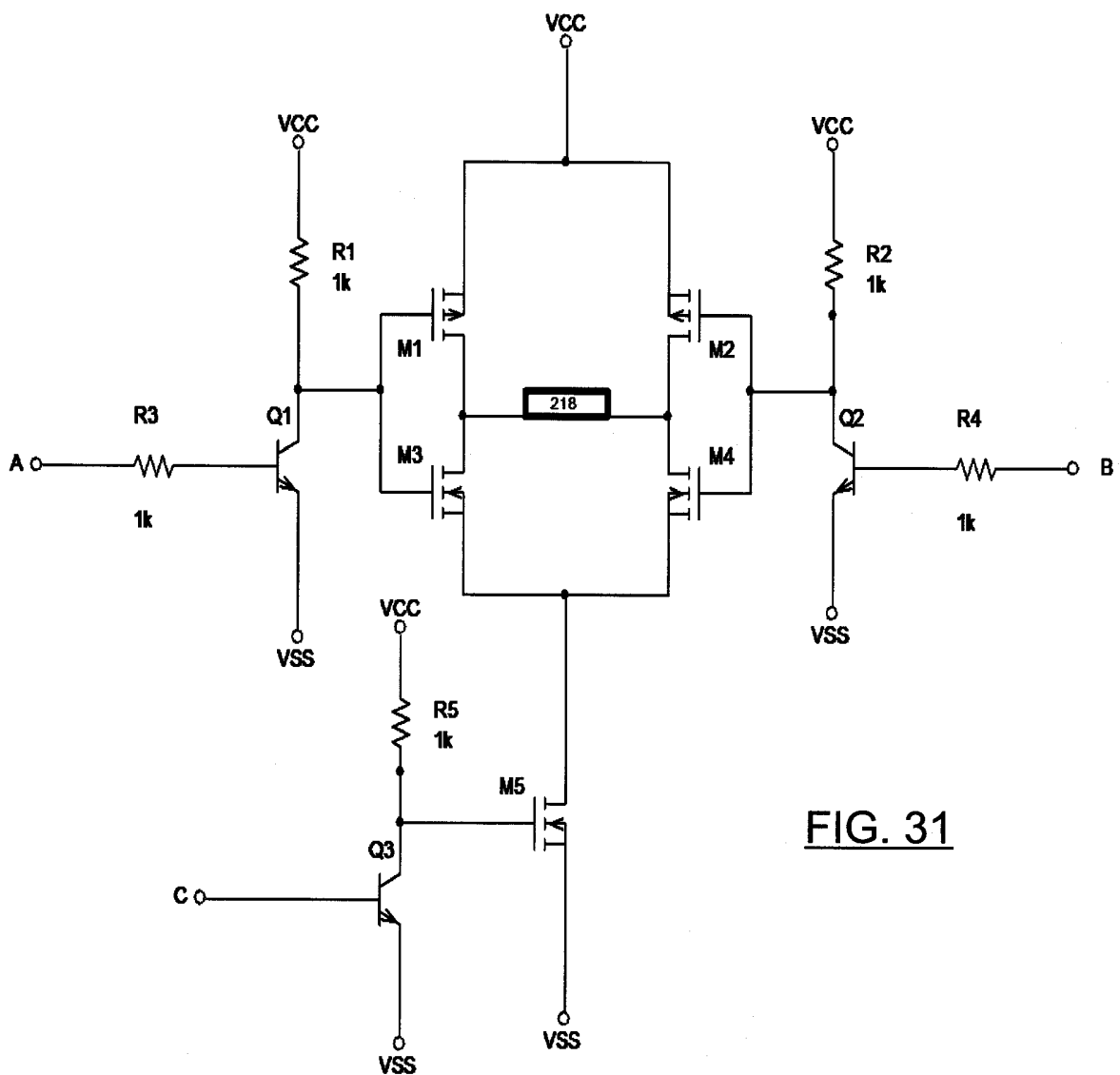


FIG. 31

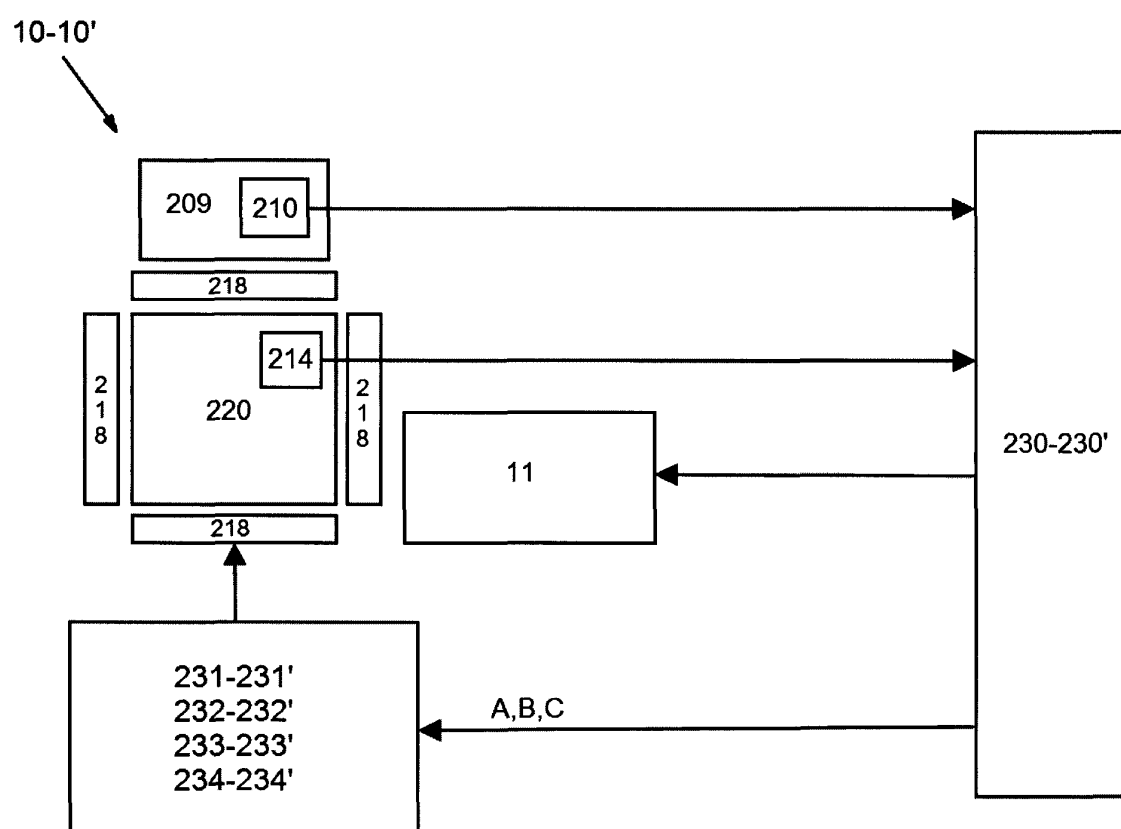
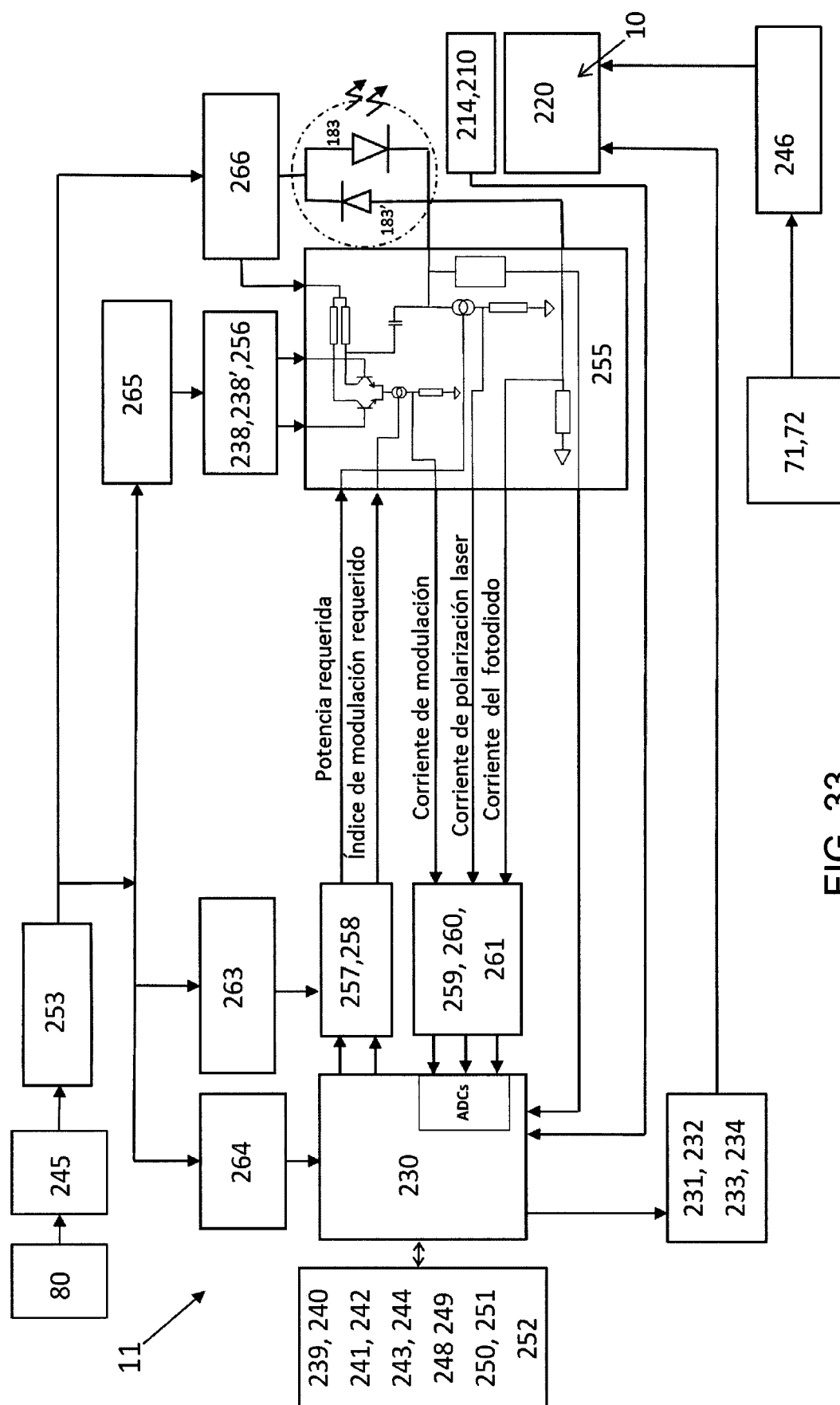
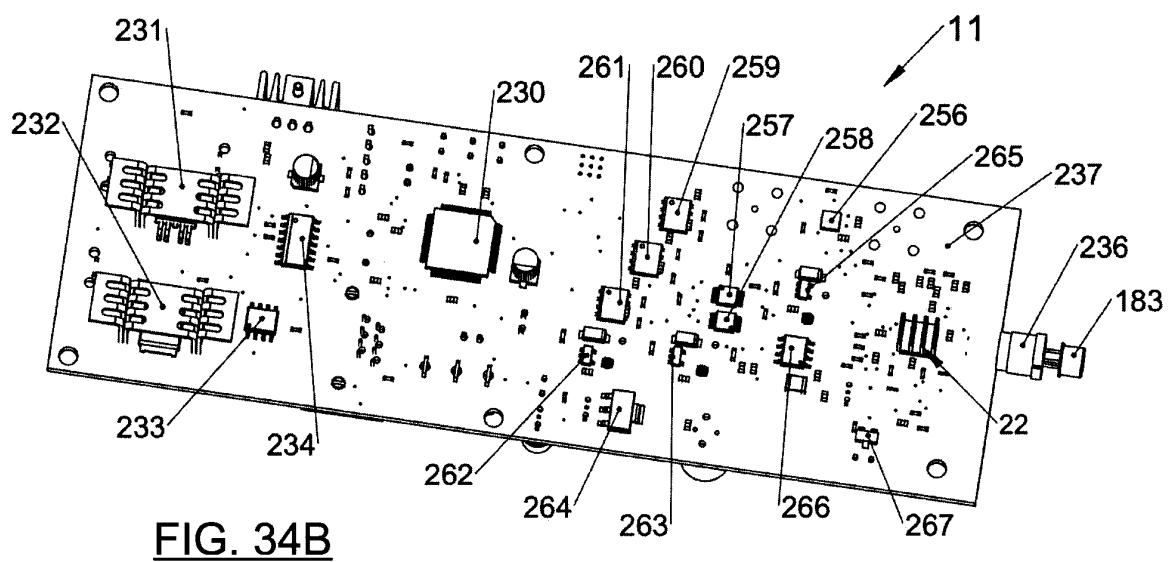
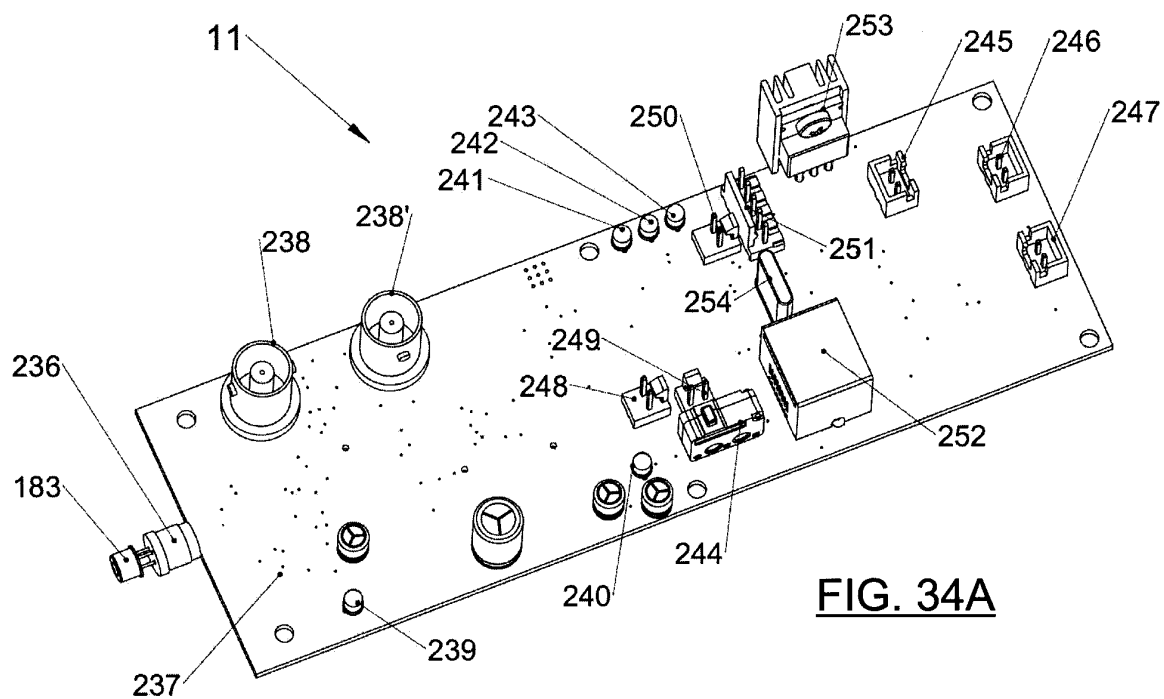


FIG. 32





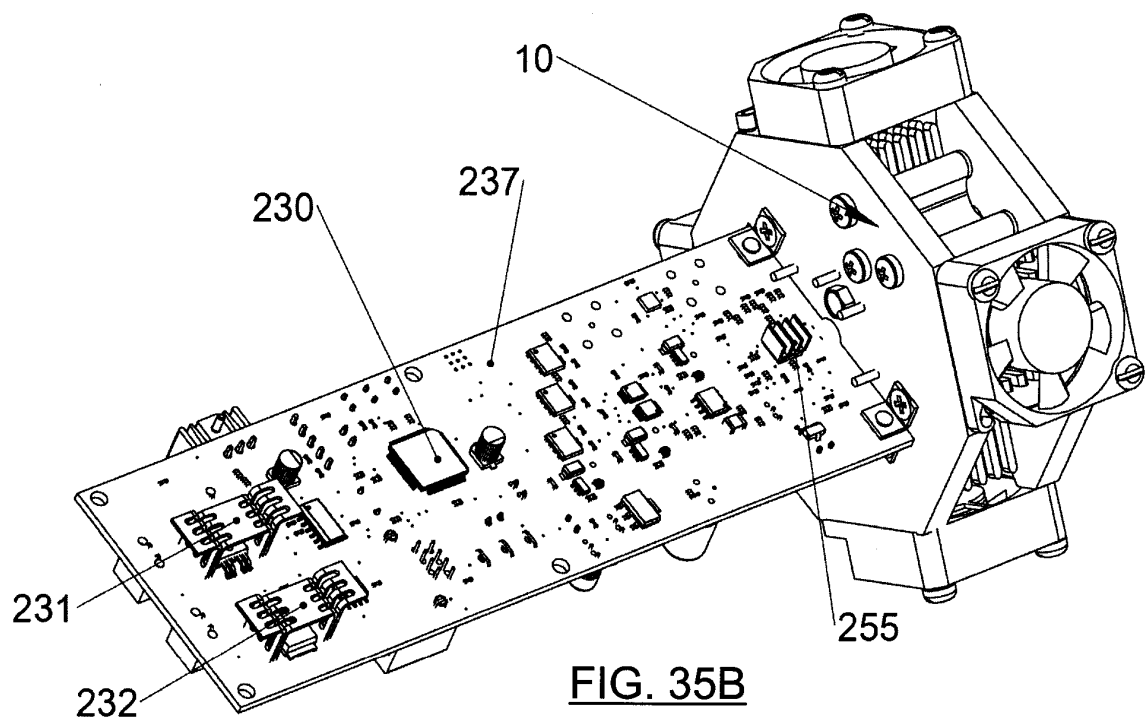
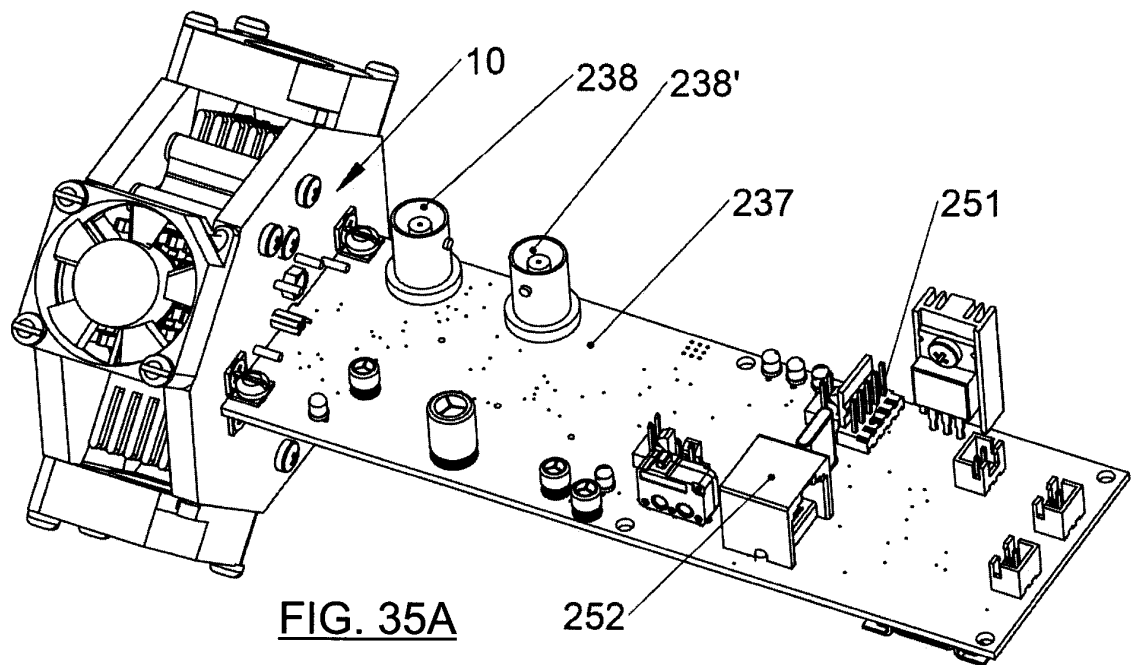
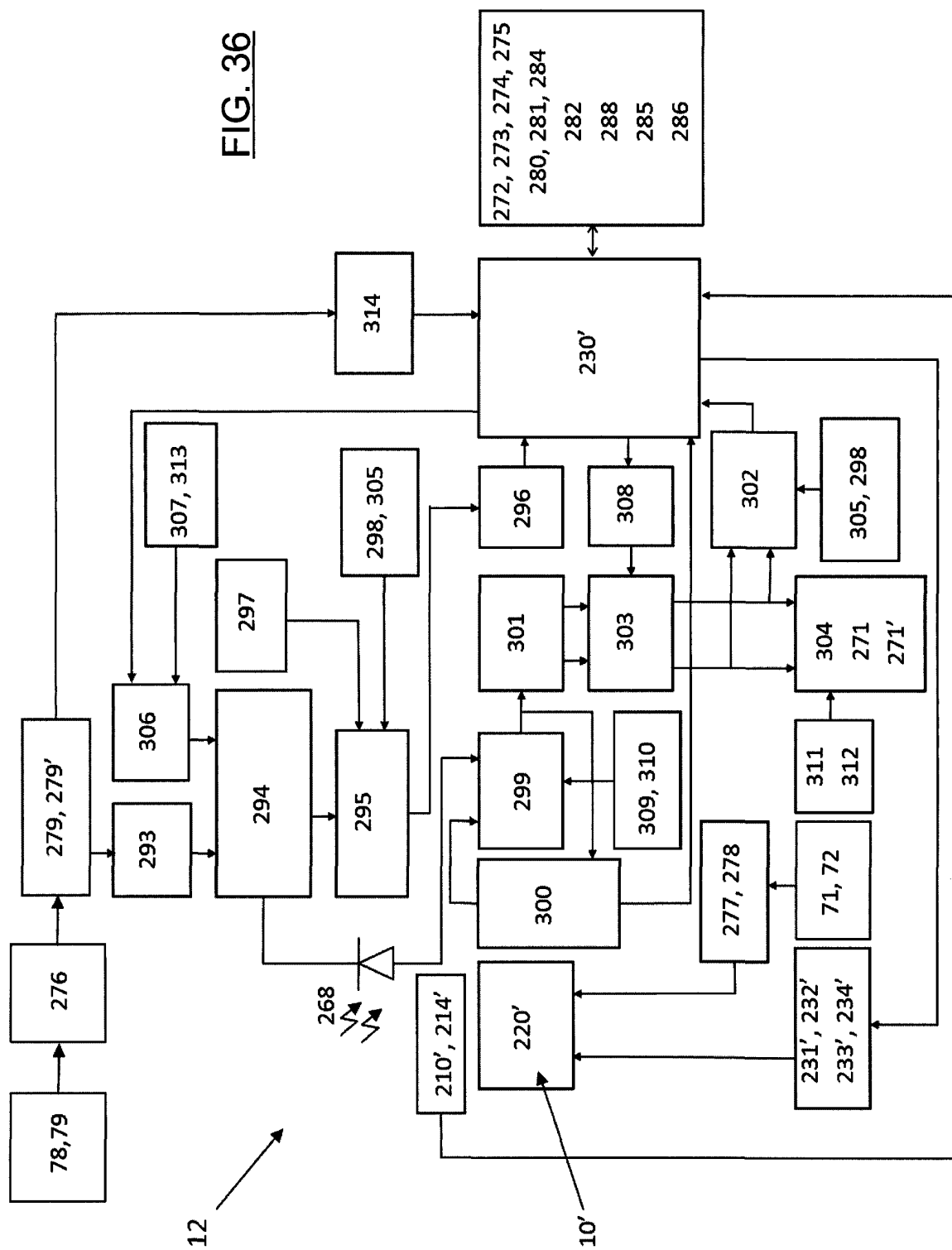


FIG. 36



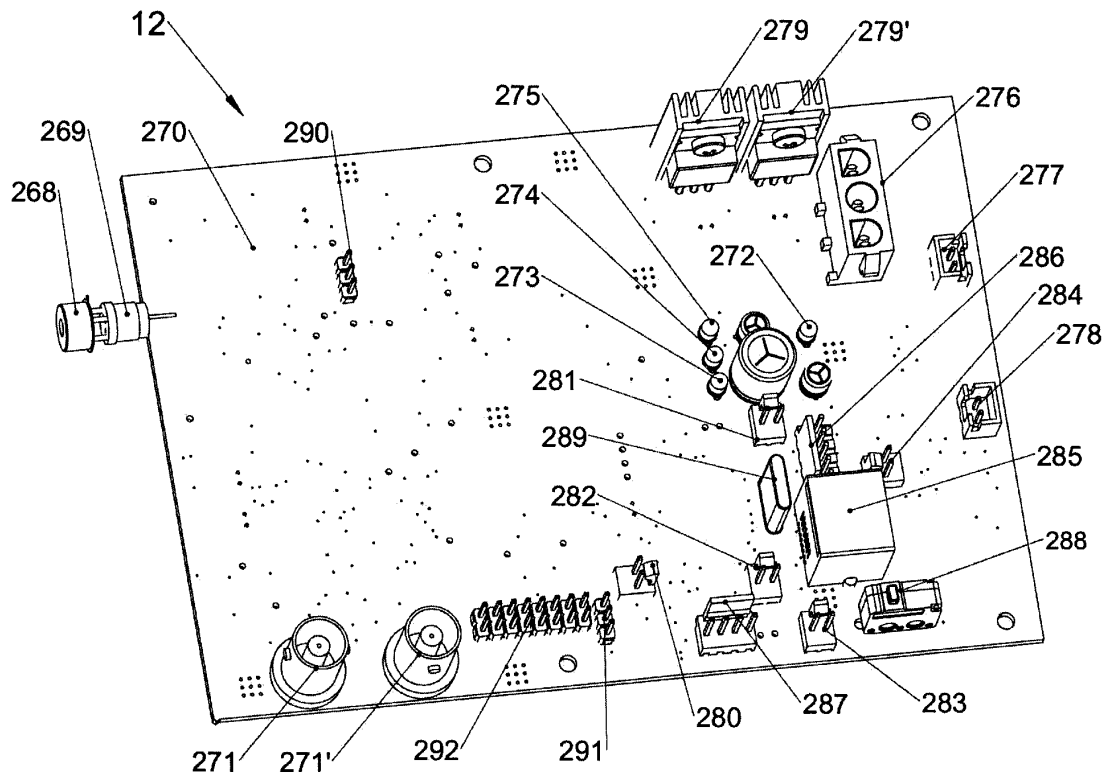


FIG. 37A

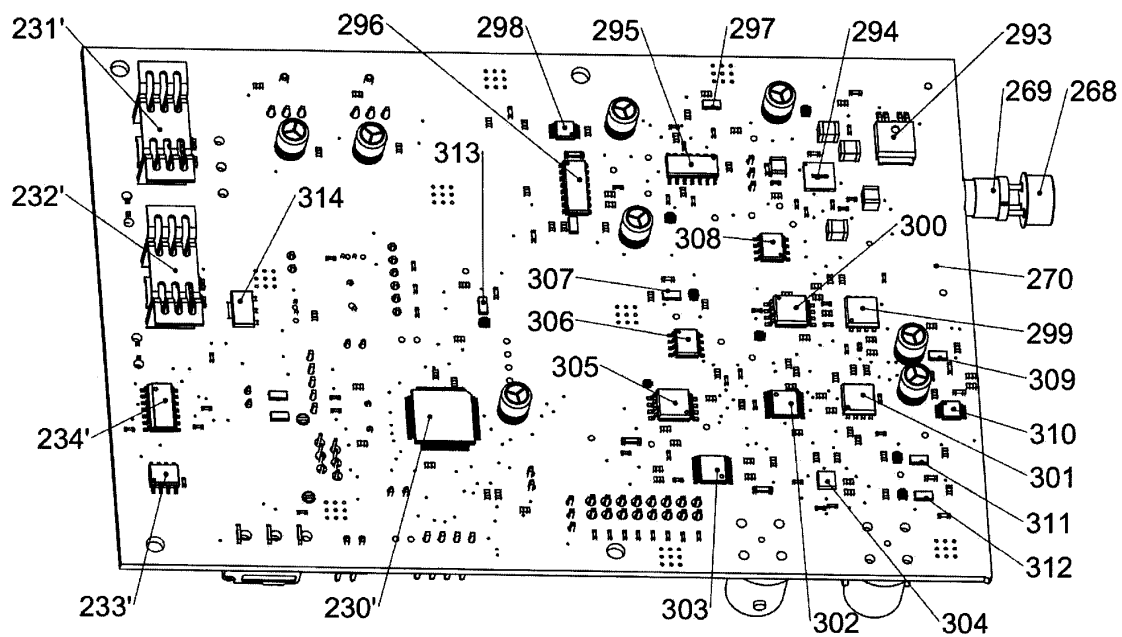
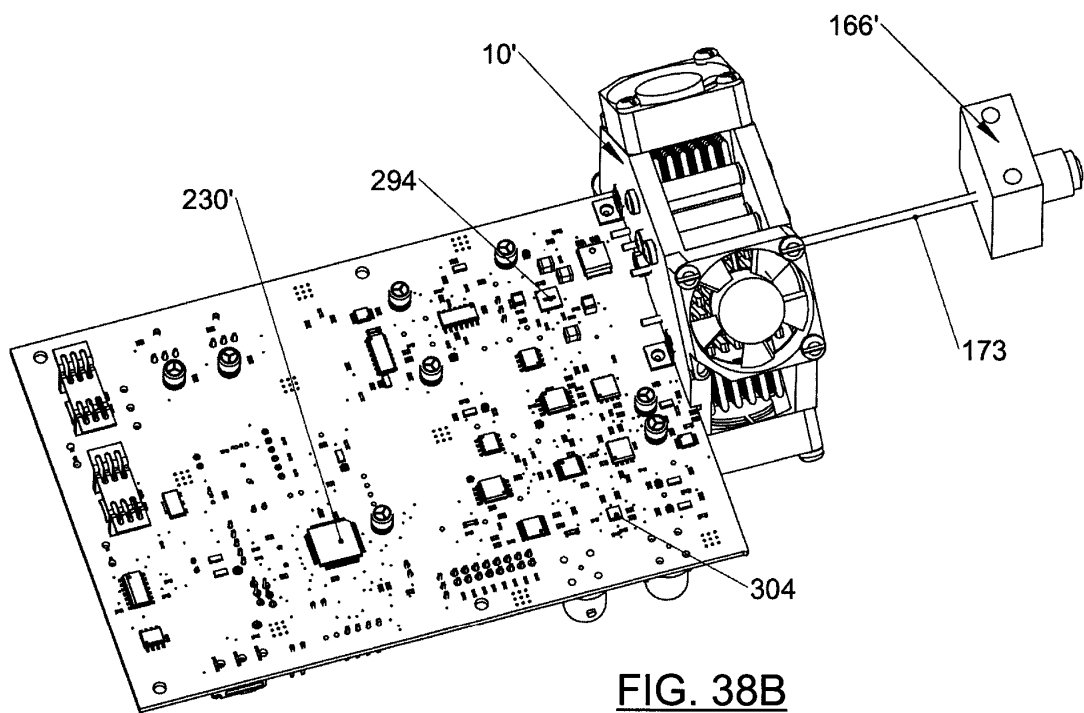
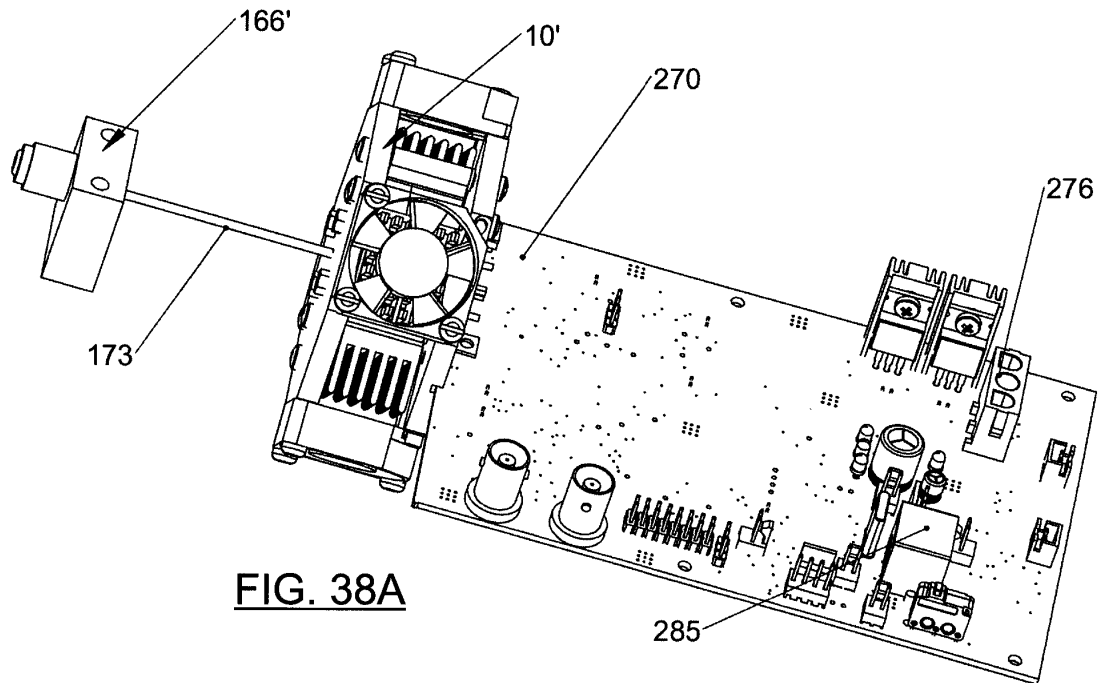


FIG. 37B



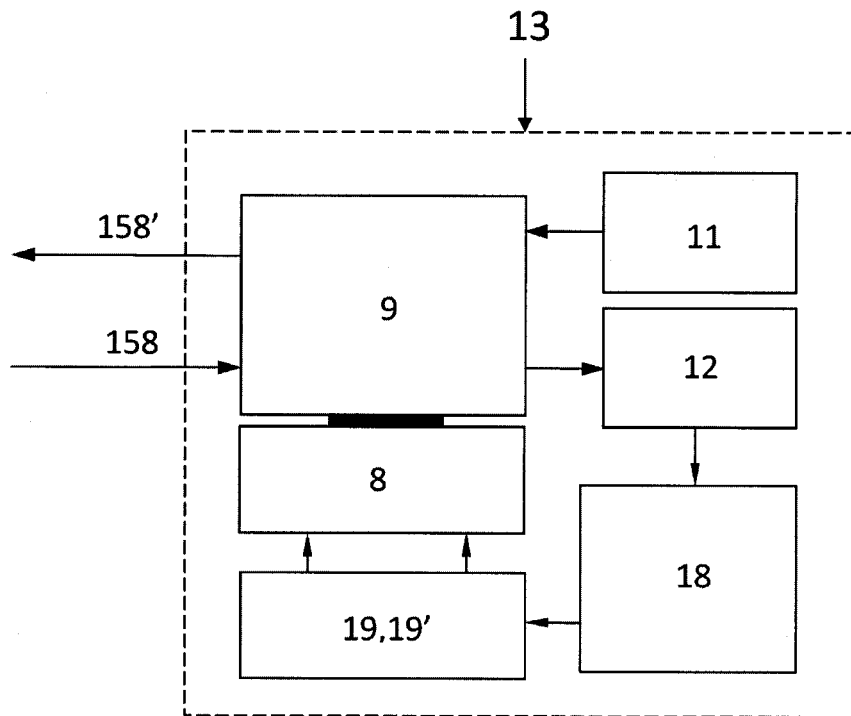


FIG. 39

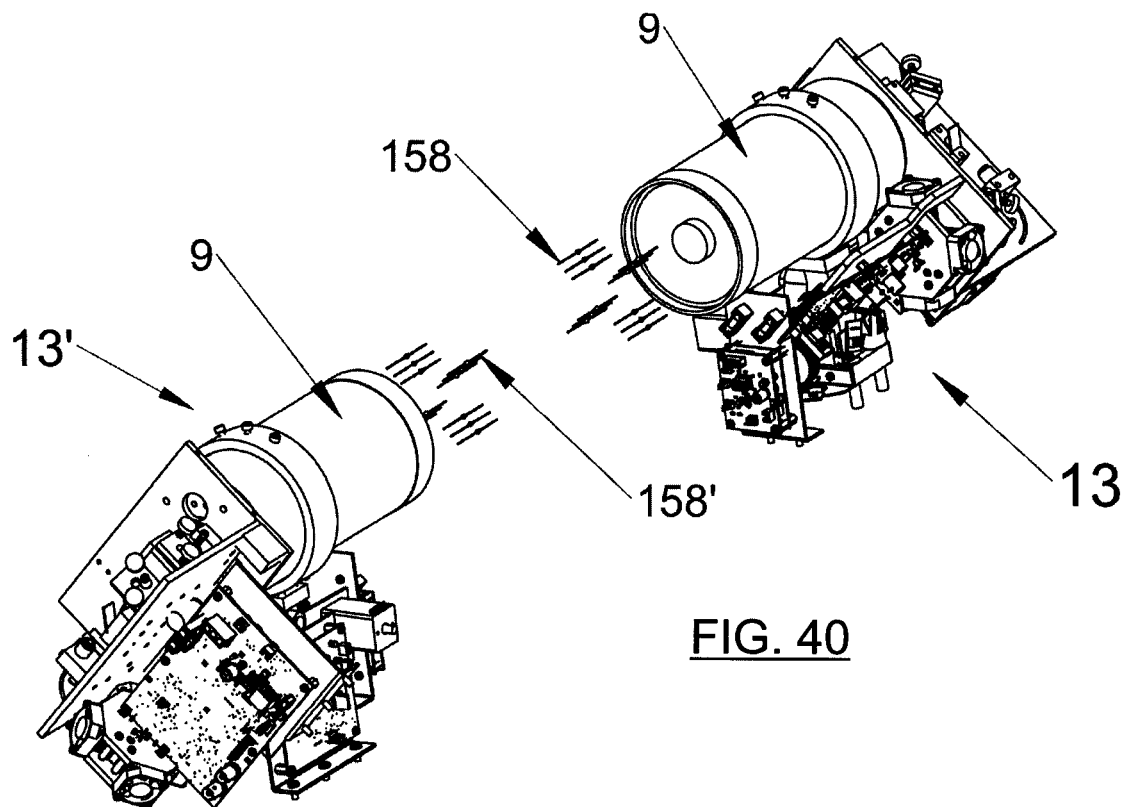
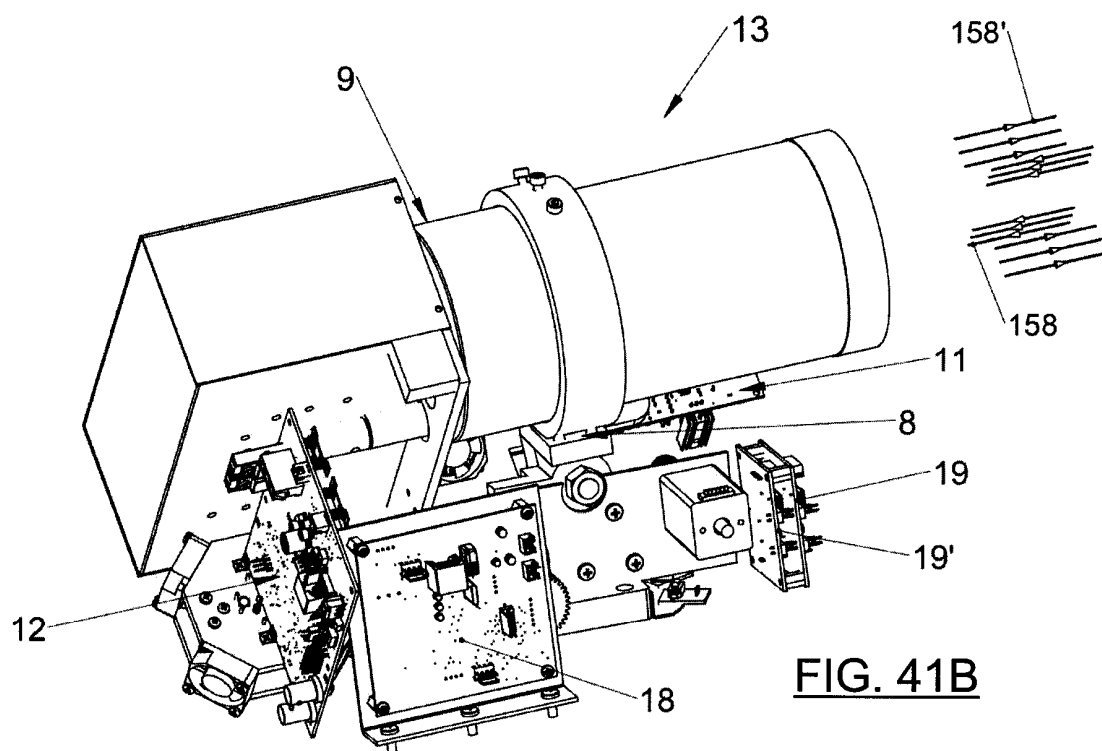
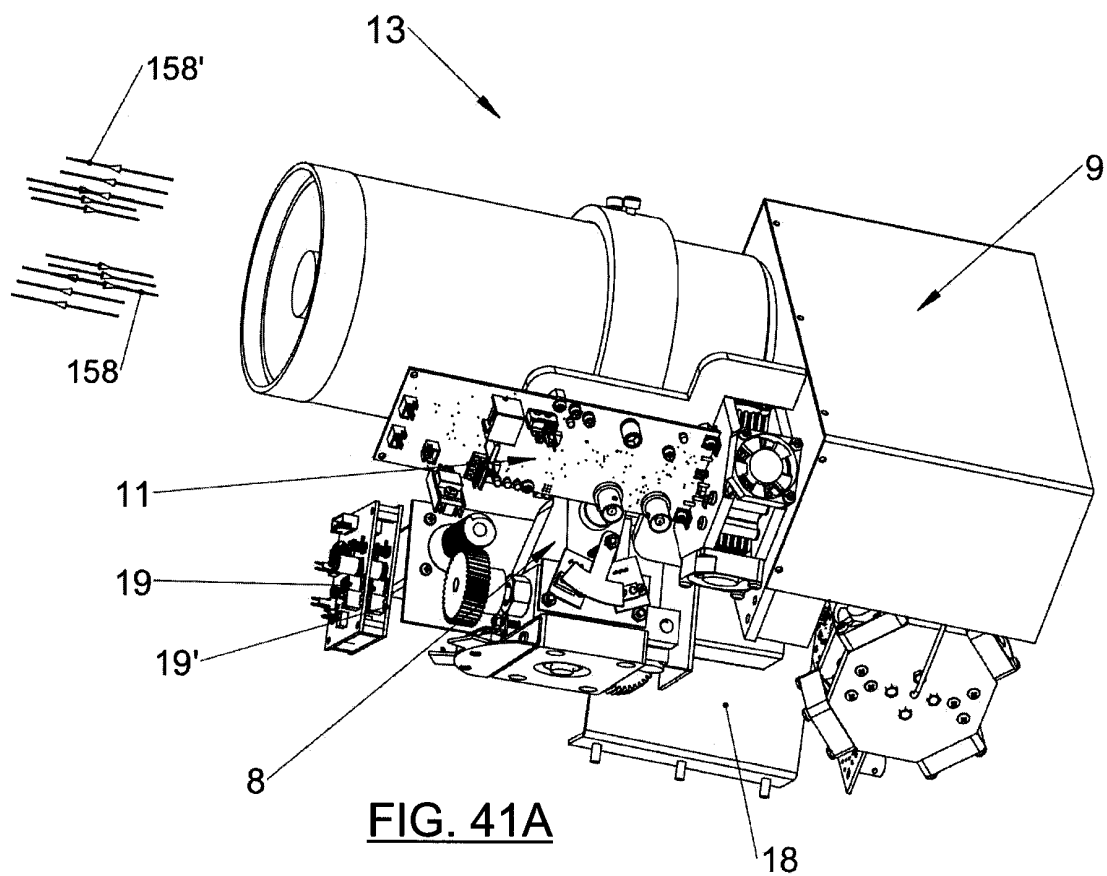


FIG. 40



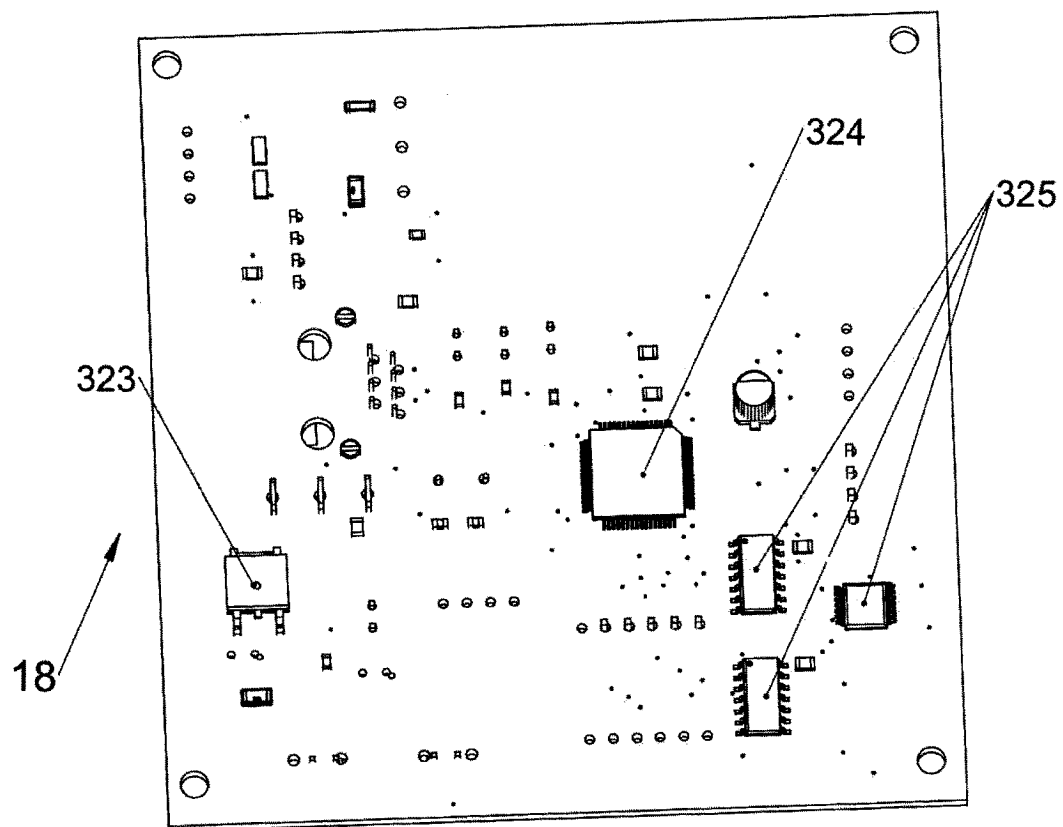
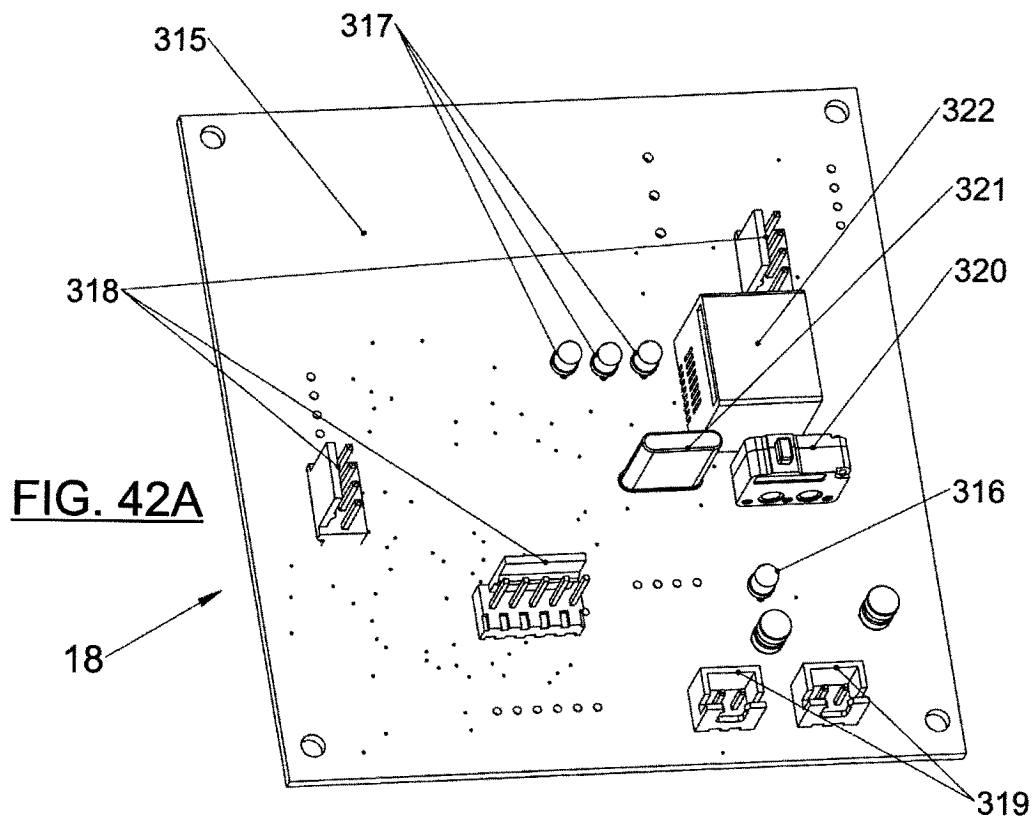


FIG. 42B

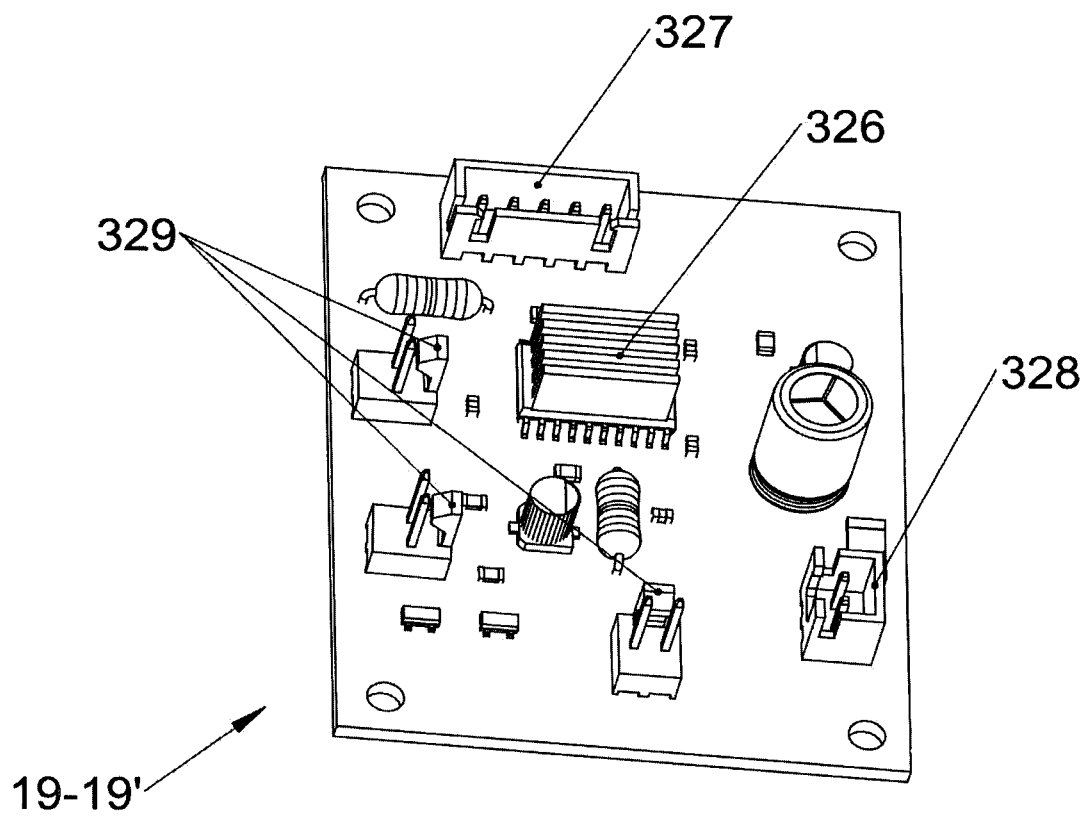


FIG. 42C

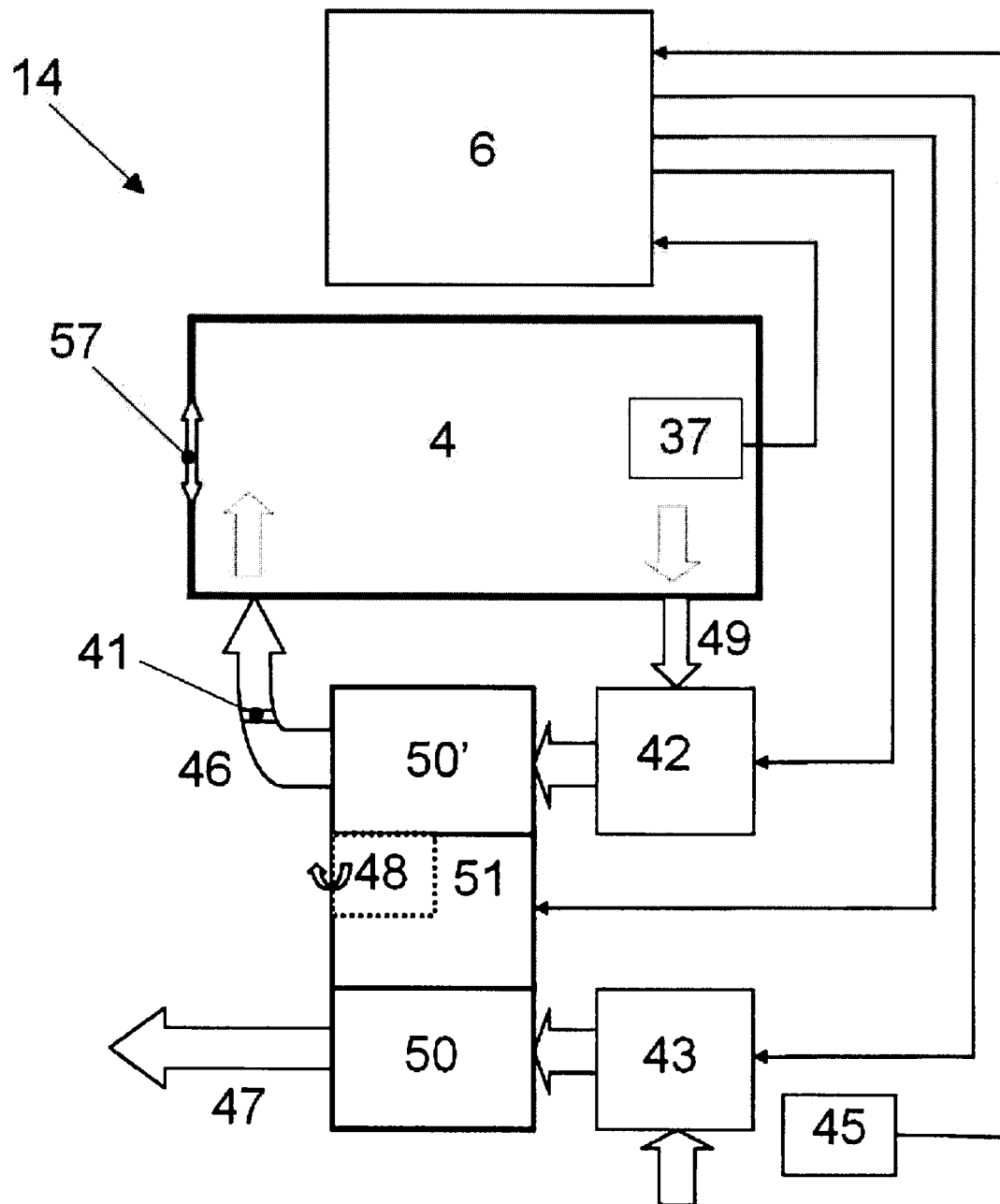


FIG. 43

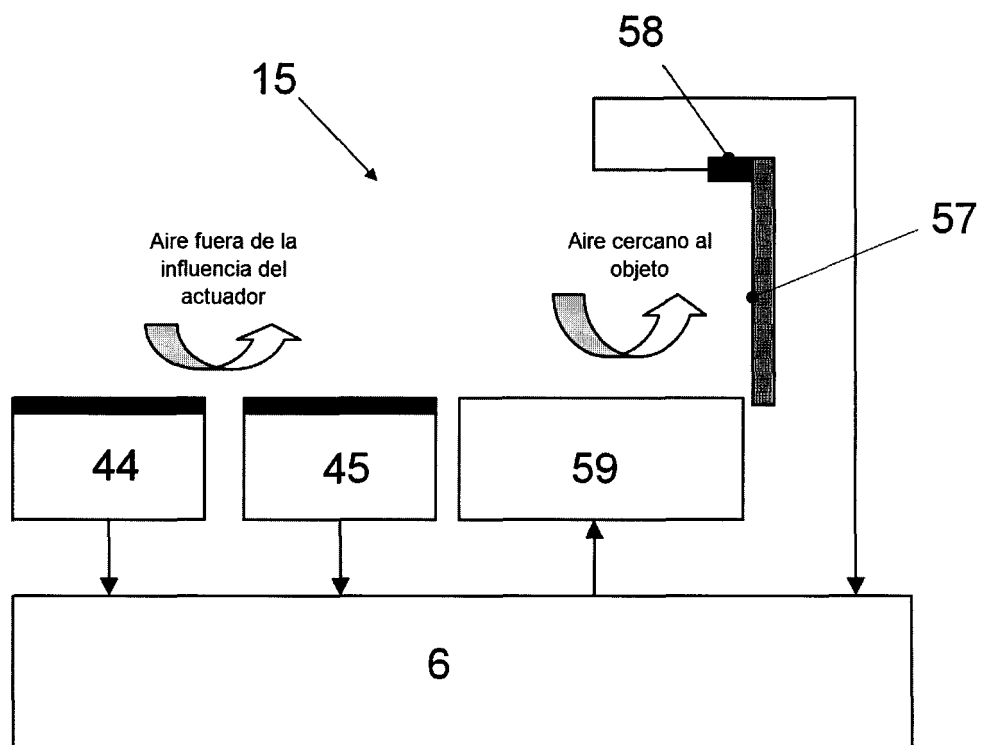


FIG. 44

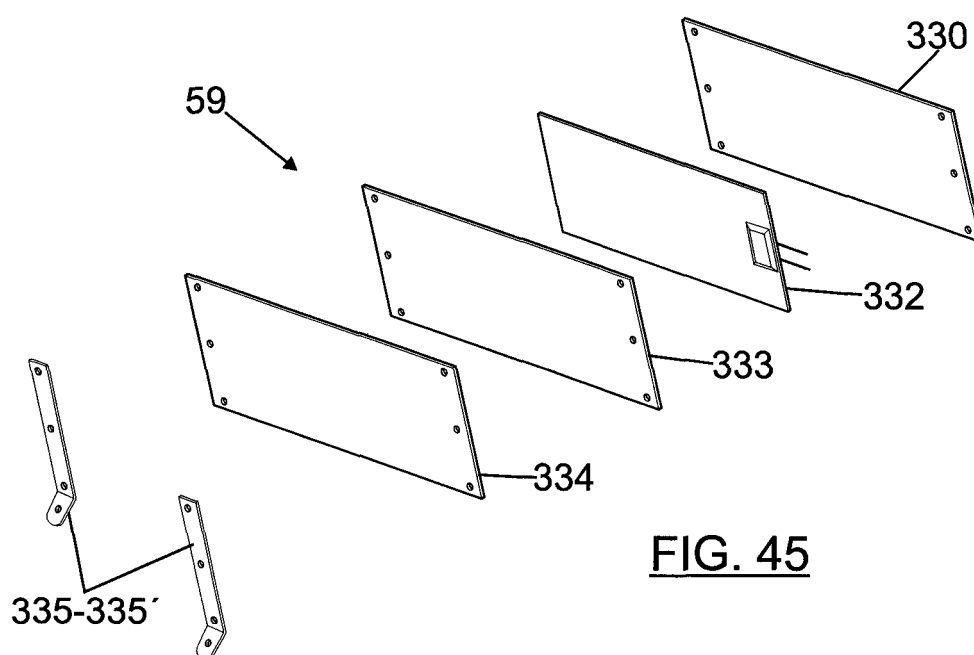


FIG. 45

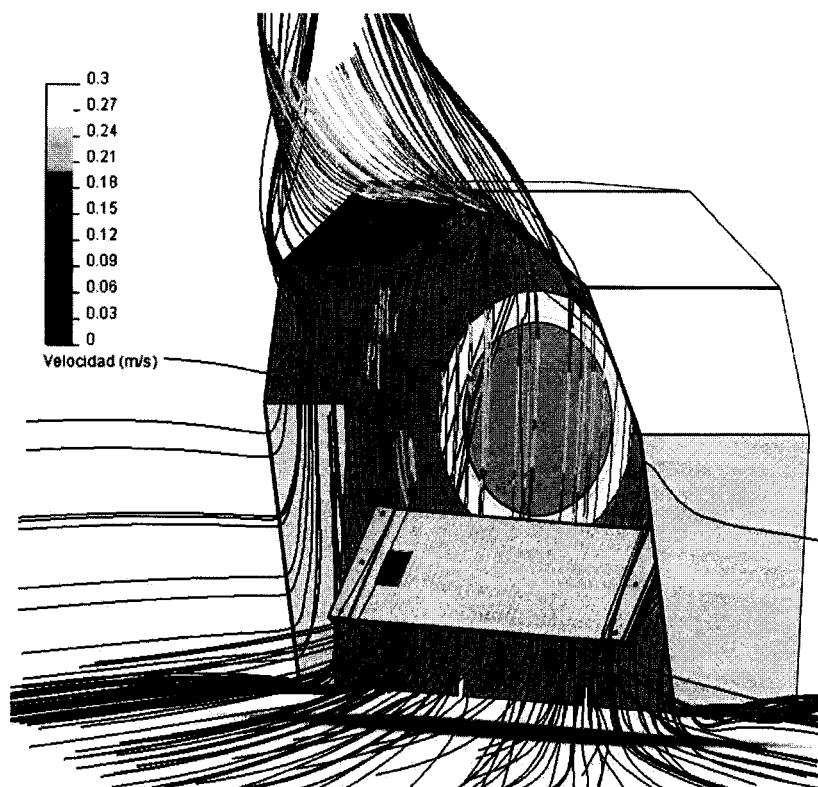


FIG. 46A

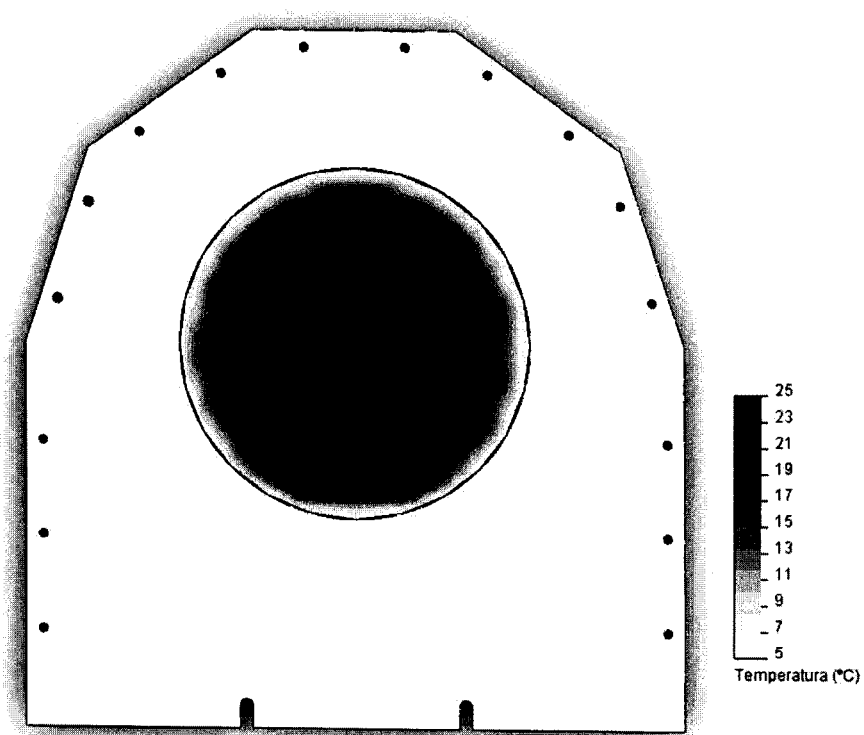


FIG. 46B

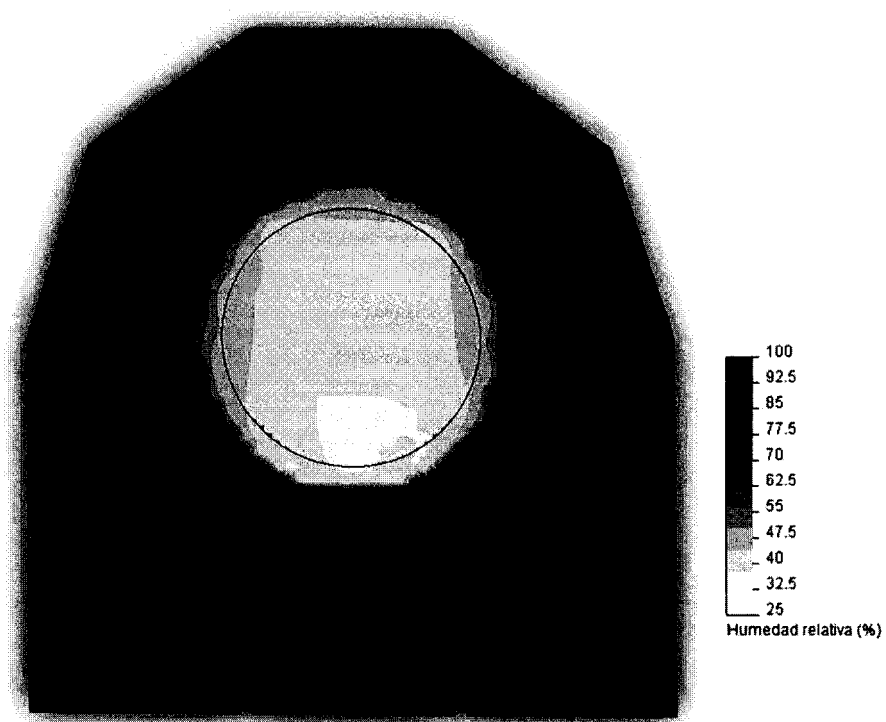


FIG. 46C

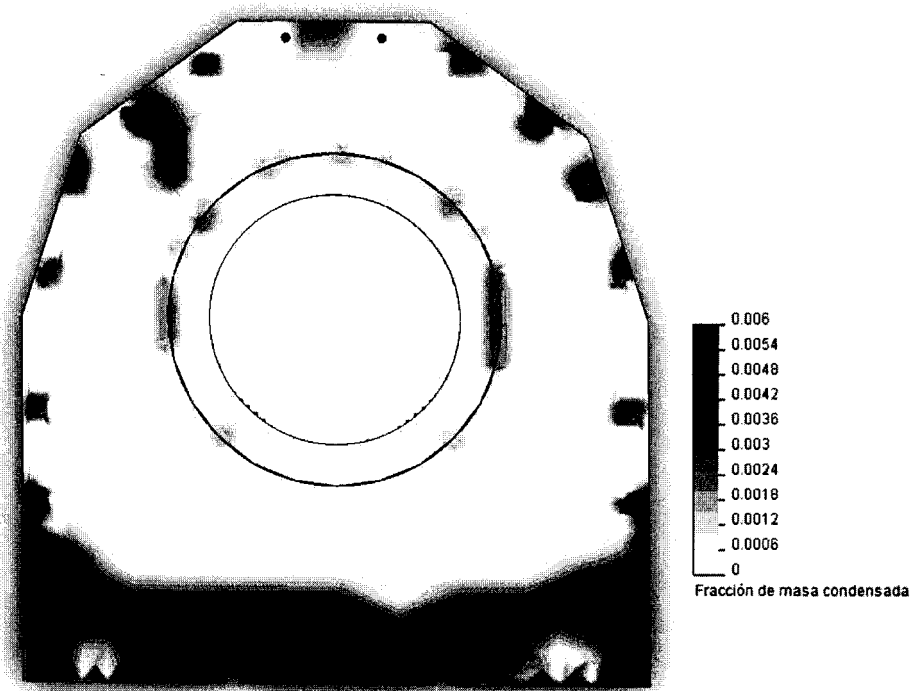


FIG. 46D

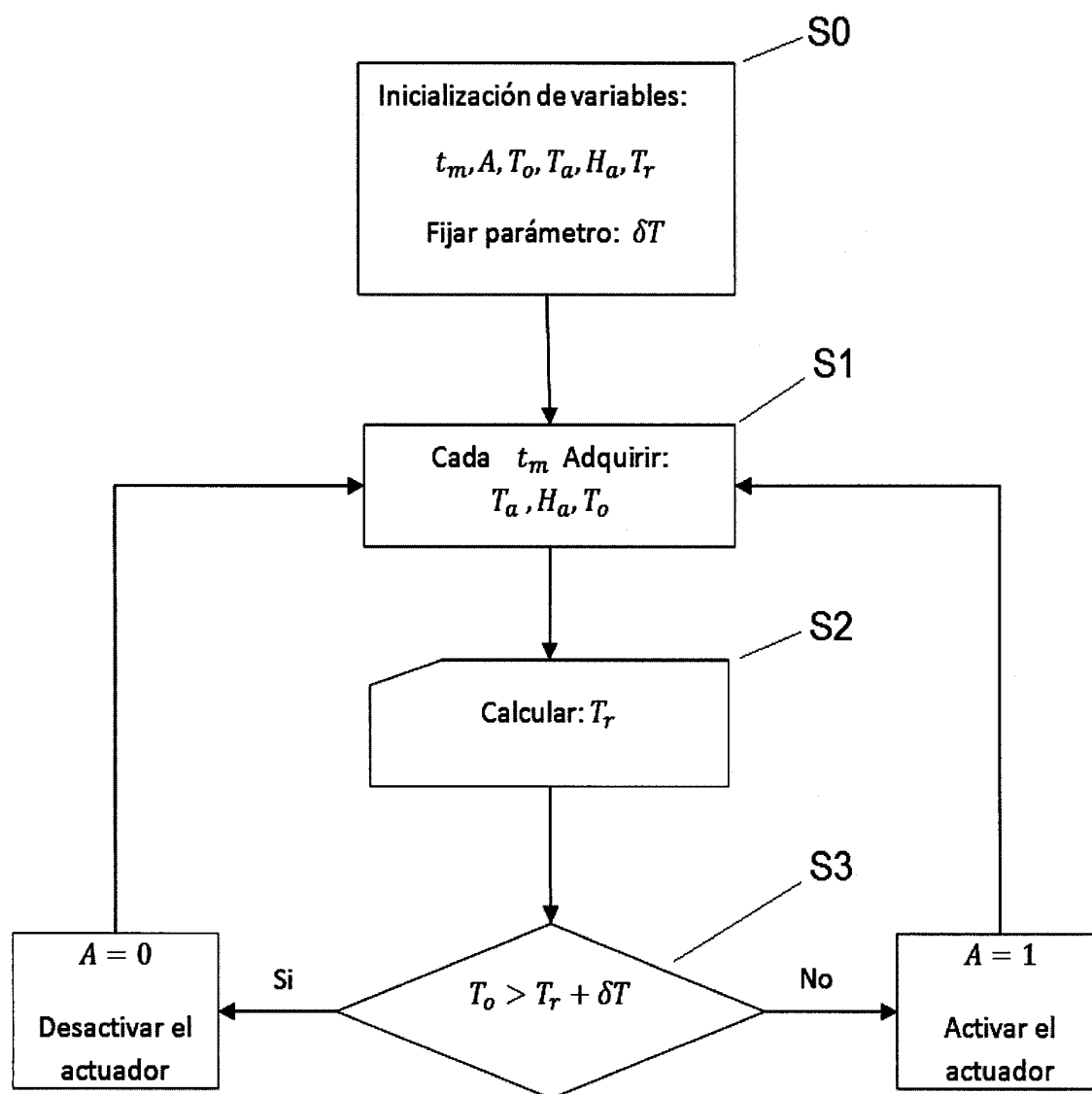


FIG. 47



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201100409

②② Fecha de presentación de la solicitud: 04.04.2011

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **H04B10/24** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 1450499 A2 (LSA INC) 25.08.2004, todo el documento.	1-11,16,17,31
A	US 2007297808 A1 (PAVELCHEK) 27.12.2007, todo el documento.	1-7,31
A	US 2002097468 A1 (MECHERLE et al.) 25.07.2002, todo el documento.	1,31

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
16.05.2011

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/4

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

H04B

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

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

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 16.05.2011

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-31
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones 1-31
Reivindicaciones

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 1450499 A2 (LSA INC)	25.08.2004
D02	US 2007297808 A1 (PAVELCHEK)	27.12.2007
D03	US 2002097468 A1 (MECHERLE et al.)	25.07.2002

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

De los documentos más próximos del estado de la técnica, el D01 presenta un transceptor láser para comunicaciones en el espacio libre con la temperatura del equipo controlada y adaptado a los estándares de telecomunicación (párrafo 46-47). Un duplexor óptico permite un único eje óptico para recepción y transmisión (figuras 2, 3 y 4). El receptor utiliza un fotodiodo de avalancha del que se controla la ganancia, sensibilidad y rango dinámico (párrafo 43). El equipo puede disponer de un dispositivo de guiado que varíe el acimut y la elevación (párrafo 77).

El documento D02 presenta un método y un sistema para establecer y mantener un enlace entre transceptores ópticos por láser en el espacio libre. En cada nodo, un sistema mecánico permite modificar el acimut y la elevación mediante motores paso a paso (párrafos 50, 51, 81). Por su parte el sistema electrónico del nodo, adapta protocolos y formato (párrafo 68), incluye un conmutador ATM (párrafo 71) que provee múltiples enlaces bidireccionales y la conversión serie-paralelo.

Además el control de la comunicación del nodo con los diversos nodos a los que puede conectarse, el control de la temperatura del aparato óptico, de la potencia de la señal transmitida y del sistema mecánico de guiado y posicionamiento motorizado, se efectúa mediante múltiples microprocesadores (párrafos 81, 77, 62, 107).

El transceptor láser del documento D03 puede operar en distintos protocolos de señales e incluye un módulo de control que monitoriza y regula la temperatura del transceptor, la potencia y modulación de los diodos (párrafos 78, 80, 92, 99, 100).

La diferencia básica entre el objeto de la invención y los objetos divulgados en los documentos más cercanos del estado de la técnica tomados solos o en combinación, radica en el sistema de regulación de temperatura con todas las ventajas que aporta y que dota al equipo de novedad y actividad inventiva.