

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 828 349**

51 Int. Cl.:

H02S 20/32 (2014.01)

F24S 30/425 (2008.01)

F24S 50/20 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2016 PCT/FR2016/053671**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.07.2017 WO17118795**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2016 E 16829291 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2020 EP 3400647**

54 Título: **Procedimiento de pilotaje de la orientación de un módulo solar con dos caras fotoactivas**

30 Prioridad:

04.01.2016 FR 1650013

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

26.05.2021

73 Titular/es:

**NEXTRACKER, INC. (100.0%)
6200 Paseo Padre Parkway
Fremont, California 94555, US**

72 Inventor/es:

**ARLIAUD, JÉRÔME y
MICHOTTE DE WELLE, MADYAN**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 828 349 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de pilotaje de la orientación de un módulo solar con dos caras fotoactivas

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de pilotaje de la orientación de un módulo solar que comprende:

- un seguidor solar de eje único orientable alrededor de un eje de rotación para una orientación del módulo solar que permite seguir el sol cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste; y
- 10 - un dispositivo fotovoltaico soportado por el seguidor solar y que presenta una cara superior fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior fotoactiva que mira hacia el suelo y provista de células fotovoltaicas.

15 Así, la invención se sitúa en el campo técnico de los módulos solares orientables alrededor de un eje de rotación y cuyo dispositivo fotovoltaico presenta una tecnología de dos caras, es decir con una cara superior productiva que mira hacia el sol y una cara inferior también productiva que mira hacia el suelo. La cara superior se beneficia de la radiación solar denominada incidente, que corresponde a la radiación solar, directa y/o difusa, que proviene del cielo, mientras que la cara inferior se beneficia de la radiación solar reflejada por el suelo, denominada generalmente albedo.

20 Es habitual servocontrolar la orientación del seguidor solar en una orientación denominada directa basándose en un cálculo astronómico de la posición del sol, para un posicionamiento en tiempo real frente al sol. El documento US 2011/083718 A1 describe un procedimiento de pilotaje de la orientación de un módulo solar.

25 Sin embargo, un servocontrol sobre dicha orientación directa adolece de un inconveniente principal al ofrecer un déficit de rendimiento en ciertas condiciones meteorológicas, y en particular, en condiciones nubosas que son las causas de una radiación solar difusa. La radiación solar difusa se manifiesta cuando la radiación solar directa se dispersa en las nubes y las partículas atmosféricas. La radiación solar difusa resulta de la difracción de la luz por las nubes y las diversas moléculas en suspensión en la atmósfera. La radiación solar difusa no sigue, por lo tanto, necesariamente, la dirección definida por el sol en dirección al punto de observación de la superficie de la Tierra.

30 Además, con un dispositivo fotovoltaico de tecnología de dos caras, una orientación del seguidor solar en una orientación directa no se traducirá necesariamente por un máximo de rendimiento energético en la cara inferior del dispositivo fotovoltaico, siguiendo el albedo.

35 La presente invención tiene como objetivo resolver estos inconvenientes proponiendo un procedimiento de pilotaje que permita servocontrolar el módulo solar en una orientación óptima que tendrá en cuenta, al mismo tiempo, la radiación directa, la radiación difusa y la radiación de albedo.

40 Para este propósito, se propone un procedimiento de pilotaje de la orientación de un módulo solar según la reivindicación 1 y un módulo solar según la reivindicación 12.

45 El procedimiento comprende:

- un seguidor solar de eje único orientable alrededor de un eje de rotación para una orientación del módulo solar que permite seguir el sol cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste; y
- 50 - un dispositivo fotovoltaico soportado por dicho seguidor solar y que presenta una cara superior fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior fotoactiva que mira hacia el suelo y provista de células fotovoltaicas;

comprendiendo este procedimiento las etapas sucesivas siguientes:

55 - medición de una distribución de la luminancia solar denominada incidente resultante de la radiación solar denominada incidente que proviene del cielo y que es apropiada para alcanzar la cara superior del dispositivo fotovoltaico, siendo dicha distribución de la luminancia solar incidente establecida según varios ángulos de elevación que corresponden a varias orientaciones del módulo solar alrededor del eje de rotación;

60 - medición de una distribución de la luminancia solar denominada reflectante resultante de la radiación solar denominada albedo que corresponde a la reflexión de la radiación solar sobre el suelo y que es apropiada para alcanzar la cara inferior del dispositivo fotovoltaico, siendo dicha distribución de la luminancia solar reflectante establecida según varios ángulos de elevación que corresponden a varias orientaciones del módulo solar alrededor del eje de rotación;

65

- determinación de una orientación óptima del módulo solar teniendo en cuenta las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- servocontrol de la orientación del módulo solar en dicha orientación óptima.

5

El procedimiento realiza así un servocontrol en una orientación óptima que no tiene en cuenta sólo la radiación solar directa, sino que tiene asimismo en cuenta la radiación solar difusa y la radiación de albedo, de manera que se tomarán en consideración la producción energética de la cara superior del dispositivo fotovoltaico que surge, al mismo tiempo, de la radiación directa y de la radiación difusa, así como la producción energética de la cara inferior del dispositivo fotovoltaico que surge de la radiación de albedo.

10

Según una característica, el procedimiento de pilotaje comprende las etapas siguientes:

- memorización de las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- memorización de las orientaciones óptimas pasadas, determinadas para las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante, en base a las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- cálculo de la evolución futura de la orientación óptima en función de la previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- servocontrol de la orientación del módulo solar en la orientación óptima en función de las orientaciones óptimas pasadas y en función de la evolución futura de la orientación óptima.

15

20

25

30

Así, se realiza una previsión, a más o menos corto plazo, de la evolución futura de la orientación óptima y, después, en función de esta evolución futura de la orientación óptima, puede utilizarse un servocontrol de la orientación del módulo solar de manera anticipativa, sin seguir de manera directa y en tiempo real la orientación óptima calculada, permitiendo así evitar unos cambios de orientación que proporcionarían únicamente poca ganancia energética, incluso proporcionarían pérdidas energéticas, como sería el caso, por ejemplo, si una única nube pasa delante del sol durante un tiempo reducido.

35

Según otra característica, la previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se basa en un cálculo de previsión meteorológica en una zona de localización del módulo solar.

40

Según una posibilidad de la invención, la determinación de la orientación óptima del módulo solar se basa, por lo menos en parte, en una búsqueda, en la distribución de la luminancia solar incidente y en la distribución de la luminancia solar reflectante, de un ángulo de elevación asociado a un máximo de iluminación solar sobre las dos caras del dispositivo fotovoltaico.

45

Según otra posibilidad de la invención, la determinación de la orientación óptima del módulo solar se basa, por lo menos en parte, en una búsqueda, en la distribución de la luminancia solar incidente y en la distribución de la luminancia solar reflectante, de un ángulo de elevación asociado a un máximo de producción energética del módulo solar.

50

En una forma de realización particular, la determinación de la orientación óptima del seguidor solar se basa asimismo en la consideración de por lo menos uno de los parámetros siguientes:

- un consumo de energía eléctrica necesario para modificar la orientación del módulo solar;
- una tasa de desgaste de órganos mecánicos del seguidor solar solicitados en un cambio de orientación del módulo solar;
- una velocidad angular del seguidor solar en un cambio de orientación del módulo solar;
- un desplazamiento angular del módulo solar entre una orientación mínima y una orientación máxima.

55

60

Así, cuando tiene lugar el servocontrol en una orientación óptima, se tienen en cuenta las restricciones mecánicas y cinemáticas del seguidor solar, con el fin de que el servocontrol no resulte más perjudicial que beneficioso.

65

Ventajosamente, cuando tiene lugar la medición de la distribución de la luminancia solar incidente, se realiza una

ponderación frecuencial que depende de una respuesta de frecuencia de las células fotovoltaicas de la cara superior del dispositivo fotovoltaico; y cuando tiene lugar la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante, se realiza una ponderación frecuencial que depende de una respuesta de frecuencia de las células fotovoltaicas de la cara inferior del dispositivo fotovoltaico.

5

Así, estas ponderaciones frecuenciales consistirán en aplicar unos filtros apropiados en cada cara que tendrán en cuenta la respuesta espectral de cada cara, en la medida en la que la respuesta espectral de cada cara depende de la longitud de la radiación luminosa recibida en función de su tecnología; pudiendo la respuesta espectral variar entre las dos caras si estas dos caras no son de la misma tecnología.

10

En un modo de realización particular, en la etapa de determinación de una orientación óptima, se realizan las etapas siguientes:

15

- conversión de la medición de la distribución de la luminancia solar incidente en una cartografía de luminancia incidente que define una distribución de valores de la luminancia según unas bandas denominadas superiores, establecidas según una primera dirección horizontal paralela al eje de rotación, y según unas columnas denominadas superiores, establecidas según una segunda dirección horizontal ortogonal a la primera dirección, en la que cada banda superior está asociada a un ángulo de elevación y cada columna superior está asociada a un ángulo de azimut;

20

- conversión de la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante en una cartografía de luminancia reflectante que define una distribución de valores de luminancia según unas bandas denominadas inferiores, establecidas según la primera dirección, y según unas columnas denominadas inferiores, establecidas según la segunda dirección, en la que cada banda inferior está asociada a un ángulo de elevación y cada columna inferior está asociada a un ángulo de azimut;

25

- cálculo, para cada banda superior e inferior, de un valor de luminancia equivalente a partir del conjunto de los valores de luminancia tomados en la banda considerada;

30

- cálculo, para varios ángulos de elevación teóricos que corresponden a varias orientaciones del módulo solar, de valores de luminancia percibida por las dos caras del dispositivo fotovoltaico a partir de los valores de luminancia equivalentes calculados para todas las bandas y a partir de diferencias angulares entre los ángulos de elevación teóricos y los ángulos de elevación asociados a las bandas;

35

- determinación de un ángulo de elevación teórico asociado a un máximo del valor de luminancia percibida y selección de dicho ángulo de elevación teórico como orientación óptima.

40

De esta manera, el cálculo de la orientación óptima se basa en el cálculo de los valores de luminancia percibida asociados a diferentes ángulos de elevación que se deben cotejar con la orientación del módulo solar. Cuanto menor sea la diferencia angular entre las bandas y mayor sea el número de bandas, más fino y preciso será el cálculo de la orientación.

45

En una primera forma de realización, las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se realizan mediante un dispositivo de captura de imágenes que asegura, por un lado, una captura de imágenes del cielo para la medición de la distribución de la luminancia solar incidente y, por otro lado, una captura de imágenes del suelo para establecer la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante.

50

Con una captura de imágenes, las distribuciones de las luminancias solares incidente y reflectante se miden a partir de imágenes que podrán convertirse a continuación en cartografías de luminancia.

55

En una segunda forma de realización, las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se realizan mediante un sistema de medición que comprende varios sensores fotosensibles, en particular del tipo sensor piranométrico con, por un lado, un dispositivo de medición superior que presenta unos sensores fotosensibles superiores distribuidos mirando hacia el cielo para la medición de la distribución de la luminancia solar incidente y, por otro lado, un dispositivo de medición inferior que presenta unos sensores fotosensibles inferiores distribuidos mirando hacia el suelo para la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante.

60

Con una medición de la luminancia solar mediante unos sensores fotosensibles, las distribuciones de las luminancias solares incidentes y reflectante se miden a partir de matrices de las mediciones realizadas individualmente por cada sensor fotosensible, estando estos sensores fotosensibles posicionados a diferentes ángulos de elevación (por encima y por debajo), y distribuidos en particular sobre un soporte en forma de esfera, con el fin de ofrecer una amplia observación del cielo y del suelo.

65

Según una posibilidad de la invención, la etapa de servocontrol de la orientación del módulo solar se realiza en

función del consumo de energía necesario para modificar la orientación del módulo solar.

Dicho de otra manera, el servocontrol efectivo tiene en cuenta este consumo de energía con el fin de realizar o no una orientación según la orientación óptima, con el objetivo de anticipar un cambio en la cobertura de nubes.

5

De acuerdo con otra característica de la invención, en la etapa de servocontrol de la orientación del módulo solar, se establece un escenario potencial durante el cual la orientación del módulo solar se modifica partiendo de una orientación presente hasta alcanzar la orientación óptima, y a este escenario potencial están asociados los cálculos siguientes:

10

- una evolución de la orientación del módulo solar durante el cambio de orientación partiendo de la orientación presente hasta alcanzar la orientación óptima, dependiendo esta evolución de la velocidad de desplazamiento en rotación del módulo solar;

15

- una evolución del consumo de energía necesario para modificar la orientación del módulo solar;
- una evolución de la producción de energía solar suplementaria esperada con dicho cambio de orientación;
- una evolución del rendimiento energético esperado basada en la diferencia entre la producción de energía solar y el consumo de energía;

20

y a continuación la orientación del módulo solar está servocontrolado en dicha orientación óptima si el rendimiento energético es globalmente positivo para el escenario, de lo contrario la orientación del seguidor solar se mantiene en la orientación presente.

25

Así, el servocontrol según una orientación óptima se realizará únicamente a título de un beneficio energético, con el fin de no realizar ningún cambio de orientación sistemático con cada cambio en la cobertura de nubes.

La invención se refiere asimismo a un módulo solar que comprende:

30

- un seguidor solar de eje único orientable alrededor de un eje de rotación para una orientación del módulo solar que permite seguir el sol cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste, siendo dicho seguidor solar accionable en rotación según dicho eje de rotación mediante un sistema de accionamiento;
- un dispositivo fotovoltaico soportado por dicho seguidor solar y que presenta una cara superior fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior fotoactiva que mira hacia el suelo y provista de células fotovoltaicas;

35

siendo este módulo solar destacable por que comprende además:

40

- un dispositivo de medición superior apropiado para medir una distribución de la luminancia solar incidente resultante de la radiación solar incidente procedente del cielo y que es apropiado para alcanzar la cara superior del dispositivo fotovoltaico, siendo dicha distribución de la luminancia solar incidente establecida según varios ángulos de elevación que corresponden a varias orientaciones del módulo solar alrededor del eje de rotación;

45

- un dispositivo de medición inferior apropiado para medir una distribución de la luminancia solar reflectante resultante de la radiación solar de albedo que corresponde a la reflexión de la radiación solar sobre el suelo y que es apropiado para alcanzar la cara inferior del dispositivo fotovoltaico, siendo dicha distribución de la luminancia solar reflectante establecida según varios ángulos de elevación que corresponden a varias orientaciones del módulo solar alrededor del eje de rotación; y

50

- una unidad de control en conexión, por un lado, con los dispositivos de medición superior e inferior y, por otro lado, con el sistema de accionamiento para pilotar la rotación del seguidor solar, donde dicha unidad de control está conformada para realizar las etapas del procedimiento de pilotaje de acuerdo con la invención.

55

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán a partir de la lectura de la descripción detallada siguiente, de ejemplos de realización no limitativos, realizada en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

60

- la figura 1 comprende cuatro esquemas que ilustran cada uno un módulo solar en unas condiciones meteorológicas nubosas (esquemas (a) y (b)) y despejadas (esquemas (c) y (d));

65

- la figura 2 es una vista esquemática de un módulo solar con seguidor solar de eje único de acuerdo con la invención, con una ilustración de un sistema de medición apropiado para medir una distribución de la

luminancia solar incidente y una distribución de la luminancia solar reflectante;

- 5 - las figuras 3a son unas vistas esquemáticas en perspectiva (figura 3a) y en sección vertical (figura 3b) de un primer ejemplo de sistema de medición;
- la figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de un segundo ejemplo de sistema de medición;
- 10 - la figura 5 es una representación esquemática de una cartografía de luminancia incidente (arriba a la izquierda) y de una matriz de valores de luminancia equivalente (arriba a la derecha) resultante de esta cartografía de luminancia incidente, y de una cartografía de luminancia reflectante (abajo a la izquierda) y de una matriz de valores de luminancia equivalente (abajo a la derecha) resultante de esta cartografía de luminancia reflectante;
- 15 - la figura 6 comprende dos esquemas, con:
 - a la izquierda, una vista esquemática lateral de cuatro columnas superiores y de cuatro columnas inferiores de cartografías de luminancia solar respectivamente incidente y reflectante, con los ángulos de azimut asociados a las diferentes columnas, con el fin de ilustrar el cálculo utilizado para calcular un valor de luminancia equivalente que sirve para determinar la orientación óptima;
 - 20 - a la derecha, una vista esquemática lateral de cuatro bandas superiores y de cuatro bandas inferiores de cartografías de luminancia solar respectivamente incidente y reflectante, con los ángulos de elevación asociados a las diferentes bandas, con el fin de ilustrar el cálculo utilizado para calcular un valor de luminancia percibida que sirve para determinar la orientación óptima;
- 25 - la figura 7 representa tres pares de cartografías de luminancia solar incidente y reflectante, a los que están asociados por debajo las orientaciones óptimas correspondientes, incluyendo un par de cartografías en un instante presente (t) y dos pares de cartografías de previsión en unos instantes futuros (t+1) y (t+n);
- 30 - la figura 8 es una representación en forma de un esquema funcional de los elementos funcionales empleados para la realización de un procedimiento de pilotaje de acuerdo con la invención;
- la figura 9 representa cinco curvas de previsión calculadas para un primer escenario potencial definido en la etapa de servocontrol, con, desde arriba hacia abajo, una curva de evolución de la orientación óptima futura (o de previsión) calculada durante la etapa de previsión, una curva de evolución de la orientación del módulo solar, una curva de evolución del consumo de energía necesario para modificar la orientación del módulo solar, una curva de evolución de la producción de energía solar suplementaria esperada, y una curva de evolución del rendimiento energético esperado; y
- 35 - la figura 10 representa cinco curvas de previsión (idénticas a las de la figura 9) calculadas para un segundo escenario potencial.

En referencia a la figura 2, un módulo solar 1 comprende:

- 45 - un seguidor solar 2 de eje único orientable alrededor de un eje de rotación A para una orientación del módulo solar 1 que permite seguir el sol cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste; y
- un dispositivo fotovoltaico 3 soportado por el seguidor solar 1 y que presenta una cara superior 31 fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior 32 fotoactiva que mira hacia el suelo y provista de células fotovoltaicas.

55 El seguidor solar 2 comprende una estructura fija 21 de anclaje al suelo constituida por uno o varios pilares anclados al suelo, por ejemplo por hincado, atornillado, bulonado, lastrado, u otro medio equivalente que permita fijar y estabilizar en el suelo la estructura fija 21. El seguidor solar 2 comprende además una plataforma 22 móvil montada en rotación sobre la estructura fija 21 según el eje de rotación A, y más específicamente montada en rotación sobre los extremos superiores del o de los pilares. Esta plataforma 22 soporta el dispositivo fotovoltaico 3 que está compuesto por uno o varios paneles fotovoltaicos con tecnología de dos caras.

60 En referencia a las figuras 2 y 6, el eje de rotación A es sustancialmente horizontal y está dirigido según un eje longitudinal X según la dirección norte-sur. Cuando el módulo solar 1 está de plano (como se puede ver en las figuras 2 y 6), las caras 31, 32 del dispositivo fotovoltaico 3 se extienden según un plano horizontal definido por el eje longitudinal X y por un eje transversal Y según la dirección este-oeste, de manera ortogonal a un eje vertical Z.

65 Para la continuación de la descripción, la orientación del módulo solar 1 (denominado también orientación o ángulo de inclinación del seguidor solar 2 o del dispositivo fotovoltaico 3) corresponde al ángulo de la normal a la cara superior 32 con respecto al eje vertical Z considerado en el plano (Y, Z). Así, cuando el módulo solar 1 está de

plano, esta orientación es de 0 grados.

El módulo solar 1 comprende asimismo un sistema de medición 5 apropiado para medir una distribución de la luminancia solar incidente y una distribución de la luminancia solar reflectante. Este sistema de medición 5 puede estar asociado a un único módulo solar 1 o, de manera económica, ser compartido con varios módulos solares. El sistema de medición 5 es fijo, y puede estar sobreelevado con respecto al suelo, estando por ejemplo montado sobre un poste 50.

Este sistema de medición 5 comprende dos dispositivos de medición 51, 52, a saber:

- un dispositivo de medición superior 51 apropiado para medir una distribución de la luminancia solar incidente resultante de la radiación solar denominada incidente (radiación solar directa R_{dir} y radiación solar difusa R_{dif}) procedente del cielo y que es apropiado para alcanzar la cara superior 31 del dispositivo fotovoltaico 3; y
- un dispositivo de medición inferior 52 apropiado para medir una distribución de la luminancia solar reflectante resultante de la radiación solar de albedo R_{alb} que corresponde a la reflexión de la radiación solar sobre el suelo y que es apropiado para alcanzar la cara inferior 32 del dispositivo fotovoltaico 3.

Estos dos dispositivos de medición 51, 52 pueden estar separados o ensamblados juntos, como en el ejemplo de la figura 2. Con estos dispositivos de medición 51, 52, cada distribución de la luminancia solar en cuestión (incidente o reflectante) se establece según varios ángulos de elevación (ángulo medido con respecto al eje vertical Z en un plano vertical paralelo al eje longitudinal X) que corresponde a varias orientaciones del módulo solar 1 alrededor del eje de rotación A. Dicho de otra manera, estos ángulos de elevación se deben cotejar con las orientaciones del módulo solar 1.

El módulo solar 1 comprende además un sistema de accionamiento (no ilustrado en la figura 2 y que lleva la referencia numérica 6 en la figura 10) que asegura la puesta en rotación de la plataforma 22 según el eje de rotación A.

Este sistema de accionamiento 6 comprende un accionador, por ejemplo del tipo cilindro (eléctrico, neumático o hidráulico) o motor eléctrico (por ejemplo motor rotativo). Este sistema de accionamiento 6 comprende además un sistema mecánico de transmisión del movimiento en la salida del accionador (movimiento rotativo para un motor rotativo, o movimiento lineal para un cilindro) en un movimiento de rotación de la plataforma 22. Este sistema mecánico de transmisión puede ser, a título de ejemplo no limitativo, un sistema de paralelogramo deformable, un sistema de polea de reenvío, un sistema de piñón, un sistema de cadena, un sistema de correa, un sistema de garra de engranaje, un sistema con árbol de transmisión, un sistema de biela, etc.

Se puede considerar que el accionador 6 sea propio del módulo solar 1, o bien sea compartido entre varios módulos solares. En el caso en el que el accionador se comparte, las plataformas 22 de los diferentes seguidores solares se acoplan ventajosamente en rotación, para una rotación síncrona bajo el efecto del accionador común.

En referencia a la figura 8, el módulo solar 1 comprende asimismo una unidad de control 4 del tipo tarjeta electrónica, que está en conexión con el sistema de observación 5 con el fin de recibir sus observaciones (o datos de observaciones) y que está asimismo en conexión con el sistema de accionamiento 6 para pilotar su funcionamiento y pilotar así la rotación de la plataforma 22, y por lo tanto la orientación del módulo solar 1.

Esta unidad de control 4 comprende varios módulos, a saber:

- un módulo cartográfico 40 previsto para convertir la medición hecha por el dispositivo de medición superior 51 en una cartografía de luminancia incidente CLI, y convertir la medición hecha por el dispositivo de medición inferior 52 en una cartografía de luminancia reflectante CLR, y asociando a cada cartografía de luminancia CLI, CLR un instante temporal t ;
- un módulo de archivo 41 que archiva cada cartografía de luminancia CLI, CLR generada por el módulo cartográfico 40;
- un módulo de cálculo previsional 42 que calcula una evolución futura de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante (basada en un cálculo de previsión meteorológica), y más precisamente calcula unas cartografías de previsión de luminancia incidente CLIP y unas cartografías de previsión de luminancia reflectante CLRP para unos instantes futuros, realizando este módulo de cálculo previsional 42 estos cálculos en base a unas cartografías de luminancia CLI, CLR generadas en tiempo real por el módulo cartográfico 40 y en base a unas cartografías de luminancia CLI, LCR pasadas y archivadas en el módulo de archivo 41;
- un módulo de cálculo de orientación óptima 43 que calcula la orientación óptima Θ_{opt} para cada par de

cartografías de luminancia CLI, CLR generadas en tiempo real por el módulo cartográfico 40 (dicho de otra manera, la orientación óptima en el instante presente) y asimismo para cada par de cartografías de previsión CLIP, CLRP resultantes del módulo de cálculo previsional 42 (dicho de otra manera, las orientaciones óptimas para unos instantes futuros);

5 - un módulo de evolución de la orientación óptima 44 que recupera todas las orientaciones óptimas resultantes del módulo de cálculo de orientación óptima 43 con el fin de establecer la evolución de la orientación óptima, y por lo tanto de prever y anticipar los cambios de orientación óptima;

10 - un módulo de parametrización 45 del módulo solar 1 que comprende unos parámetros relativos a la velocidad de desplazamiento del sistema de accionamiento 6 (y por lo tanto a la velocidad necesaria para un cambio de orientación), unos parámetros relativos al consumo de energía necesario para el sistema de accionamiento 6 para un cambio de orientación, unos parámetros relativos a la producción de energía solar generada por las caras 31, 32 del dispositivo fotovoltaico 3 en función de la luminancia solar recibida sobre cada cara 31, 32, y unos parámetros relativos a una tasa de desgaste de los órganos mecánicos del seguidor solar 2 solicitados cuando tiene lugar un cambio de orientación del módulo solar 1, dependiendo estos parámetros en particular de la diferencia angular entre el principio y el final de un cambio de orientación;

20 - un módulo de cálculo astronómico 46 que calcula en tiempo real la posición del sol, y por lo tanto la orientación directa definida por la dirección de la radiación solar directa a nivel del módulo solar 1;

25 - un módulo de servocontrol 47 que calcula el servocontrol de la orientación del módulo solar 1, en función de la evolución de la orientación óptima procedente del módulo 44, de los diferentes parámetros procedentes del módulo 45 y de la orientación directa procedente del módulo 46, donde este módulo de servocontrol 47 saca una consigna de orientación con destino al sistema de accionamiento 6 con el fin de pilotar unos cambios de orientación del módulo solar 1, dicho de otra manera, de la plataforma 22 del seguidor solar 2.

30 Se debe observar que esta unidad de control 4 puede ser propia del módulo solar 1, o bien ser compartida entre varios módulos solares, y preferentemente entre varios seguidores solares reunidos en línea (que se extiende de norte a sur) dentro de instalaciones solares lineales.

35 En los dos modos de realización ilustrados en las figuras 3a y 3b (primer modo de realización) y en la figura 4 (segundo modo de realización), el sistema de medición 5 comprende un soporte 53a en forma de cúpula esférica para el primer modo de realización o en forma de anillo circular 53b para el segundo modo de realización.

40 En cada modo de realización, el soporte 53a, 53b soporta unos sensores fotosensibles 54, 55, en particular del tipo sensor piranométrico, con unos sensores fotosensibles superiores 54 sobre la parte superior (que miran hacia el cielo) y unos sensores fotosensibles inferiores 55 en la parte inferior (que miran hacia suelo); estos sensores fotosensibles 54, 55 son en particular del tipo sensor piranométrico.

45 Los sensores fotosensibles superiores 54 forman, con la parte alta del soporte 53a, 53b en cuestión, el dispositivo de medición superior 51, mientras que los sensores fotosensibles inferiores 55 forman, con la parte baja del soporte 53a, 53b en cuestión, el dispositivo de medición inferior 52.

50 Los sensores fotosensibles 54, 55 están distribuidos según varios ángulos de elevación denominados de elevación Θ_{Si} para los sensores fotosensibles superiores 54 y Θ_{Nk} para los sensores fotosensibles inferiores 55; midiéndose estos ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Nk} con respecto al eje vertical Z en el plano (Y, Z), estando la referencia (X, Y, Z) centrada en el centro O de la cúpula esférica 53a, o el centro O del anillo circular 53b; debiendo estos ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Ni} , ser cotejados, por tanto, con la orientación del módulo solar 1.

55 De manera general, los sensores fotosensibles 54, 55 están posicionados a lo largo de varias bandas (o líneas) distribuidas según varios ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Nk} . Estos ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Nk} son visibles asimismo en la figura 6. Las bandas están distribuidas entre unas bandas superiores BSi que comprenden uno o varios sensores fotosensibles superiores 54, y unas bandas inferiores BNk que comprenden uno o varios sensores fotosensibles inferiores 55.

60 En el primer modo de realización, en cada banda están presentes uno o varios sensores fotosensibles 54, 55. En el caso de una banda de varios sensores fotosensibles 54, 55, los sensores fotosensibles 54, 55 de una misma banda se distribuyen según varios ángulos denominados de azimut RSj para los sensores fotosensibles superiores 54 y RNm para los sensores fotosensibles inferiores 55; midiéndose estos ángulos de azimut RSj, RNm con respecto al eje vertical Z en el plano (X, Z). Así, además de estar distribuidos según las bandas a diferentes ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Nk} , los sensores fotosensibles 54, 55 están distribuidos asimismo según unas columnas a diferentes ángulos de azimut RSj, RNm. Estos ángulos de azimut RSj, RNm son visibles en la figura 6. Las columnas están distribuidas entre unas columnas superiores CSi que comprenden uno o varios sensores

fotosensibles superiores 54, y unas columnas inferiores CNm que comprenden uno o varios sensores fotosensibles inferiores 55.

5 En el segundo modo de realización, en cada banda está presente un único sensor fotosensible 54 o 55, de manera que sólo haya una columna superior y una sola columna inferior.

10 En la figura 6, en un ejemplo de primer sistema de medición 5, los sensores fotosensibles superiores 54 se distribuyen según cuatro bandas superiores BS1, BS2, BS3, BS4 que están asociadas a cuatro ángulos de elevación $\Theta S1$, $\Theta S2$, $\Theta S3$, $\Theta S4$, y según cuatro columnas superiores CS1, CS2, CS3, CS4 que están asociadas a cuatro ángulos de azimut RS1, RS2, RS3, RS4, y los sensores fotosensibles inferiores 55 se distribuyen según cuatro bandas inferiores BN1, BN2, BN3, BN4, que están asociadas a cuatro ángulos de elevación $\Theta N1$, $\Theta N2$, $\Theta N3$, $\Theta N4$, y según cuatro columnas inferiores CN1, CN2, CN3, CN4 que están asociadas a cuatro ángulos de azimut RN1, RN2, RN3, RN4.

15 De manera general, cuantos más sensores fotosensibles 54, 55 comprenda el sistema de medición 5, y en particular cuantas más bandas de sensores fotosensibles 54, 55 comprenda el sistema de observación 2, mejores serán la resolución y la precisión angular.

20 Estos sensores fotosensibles 54, 55 pueden ser de la misma tecnología que las caras 31, 32 asociadas del dispositivo fotovoltaico 3, con el fin de poder aplicar una ponderación dependiente del rango de longitud de onda útil para las caras 31, 32. Preferentemente, estos sensores fotosensibles 54, 55 serán objeto de una calibración previa para obtener una mejor precisión.

25 Con el primer sistema de medición 5, recuperando las mediciones de la luminosidad de cada sensor fotosensible 54, 55 y conociendo los ángulos de elevación ΘSi , ΘNk de las diferentes bandas y los ángulos de azimut RSj, RNm de las diferentes columnas, el módulo cartográfico 40 convierte una medición realizada por el sistema de medición 5 en un par de cartografías que comprenden una cartografía de luminancia incidente CLI (obtenida con las mediciones procedentes de los sensores fotosensibles superiores 54) y una cartografía de luminancia reflectante CLR (obtenida con las mediciones procedentes de los sensores fotosensibles inferiores 55).

30 Previamente, el módulo cartográfico 40 realiza una ponderación frecuencial aplicada sobre mediciones hechas por los sensores fotosensibles 54, 55; consistiendo esta ponderación frecuencial en aplicar un filtro frecuencial sobre estas mediciones que depende, al mismo tiempo, de la respuesta de frecuencia de los sensores fotosensibles 54, 55 y de la banda frecuencial útil (o respuesta espectral) de las células fotovoltaicas del dispositivo fotovoltaico 3.

35 El módulo cartográfico 40 realiza a continuación un eventual tratamiento que consiste en corregir las mediciones de los defectos o ruidos parásitos. El módulo cartográfico 40 realiza después un cálculo de la distribución de la luminancia solar (cotejando las mediciones de los sensores fotosensibles 54, 55 con sus coordenadas en el espacio o bien directamente con sus ángulos de elevación respectivos) con el fin de generar una cartografía de luminancia incidente bruta y una cartografía de luminancia reflectante bruta, formando cada una un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuido según varias bandas asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación ΘSi , ΘNk y, llegado el caso, según varias columnas asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut RSj, RNm.

45 Por último, el módulo cartográfico 40 aplica sobre cada cartografía bruta un coeficiente apropiado que depende de la variación de la sensibilidad de los sensores fotosensibles 54, 55, con el fin de generar la cartografía de luminancia incidente CLI y la cartografía de luminancia reflectante CLR que se usarán para establecer la orientación óptima. En efecto, las amplitudes (o luminosidades) de las mediciones suministradas por los sensores fotosensibles 54, 55 están proporcionalmente relacionadas con los valores de la radiación solar (incidente o reflectante), de manera que estos coeficientes tengan en cuenta estas proporcionalidades dependiendo de las variaciones de sensibilidad de los sensores fotosensibles 54, 55 respectivos.

La cartografía de luminancia incidente CLI forma un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuido según:

- 55 - varias bandas superiores 50S(i) (siendo i un número entero) establecidas según una primera dirección paralela al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje X) y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación ΘSi , de manera que cada banda 50S(i) corresponda a un ángulo de elevación ΘSi (estando cada banda 50S(i) de la cartografía CLI asociada a una banda BSi del sistema de medición 5); y
- 60 - varias columnas superiores 51S(j) (siendo j un número entero) establecidas según una segunda dirección horizontal y ortogonal al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje Y) y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut RSj (estando cada columna 51S(j) de la cartografía CLI asociada a una columna CSj del sistema de medición 5).

65 Así, la cartografía de luminancia incidente CLI comprende N casillas (en las que $N=[i \times j]$), y a cada casilla le corresponde un valor (absoluto o relativo) de luminancia solar LumS(i, j). Se puede considerar que algunas casillas

estén vacías, ya que las bandas BSi no comprenden necesariamente el mismo número de sensores fotosensibles superiores 54, y en este caso el valor de luminancia solar LumS(i, j) es nulo para una casilla vacía.

5 En el ejemplo de la figura 5, la cartografía de luminancia incidente CLI comprende cinco bandas 50S/(1), ..., 50S(5) y siete columnas 51S(1), ..., 51S(7), y los valores de luminancia solar se expresan de manera relativa en porcentaje.

La cartografía de luminancia reflectante CLR forma un mapa (o matriz) de luminancia solar distribuido según:

- 10 - varias bandas inferiores 50N(k) (siendo k un número entero) establecidas según una primera dirección paralela al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje X) y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de elevación Θ_{Nk} , de manera que cada banda 50N(k) corresponda a un ángulo de elevación Θ_{Nk} (estando cada banda 50N(k) de la cartografía CLR asociada a una banda BNk del sistema de medición 5);
- 15 y
- varias columnas inferiores 51N(m) (siendo m un número entero) establecidas según una segunda dirección horizontal y ortogonal al eje de rotación A (y por lo tanto paralela al eje Y) y asociadas respectivamente a diferentes ángulos de azimut RNm (estando cada columna 51N(m) de la cartografía CLR asociada a una columna CNm del sistema de medición 5).
- 20

Así, la cartografía de luminancia reflectante CLR comprende P casillas (en las que $P=[k \times m]$), y a cada casilla le corresponde un valor (absoluto o relativo) de luminancia solar LumN(k, m). Se puede considerar que algunas casillas estén vacías, ya que las bandas BNk no comprenden necesariamente el mismo número de sensores fotosensibles inferiores 55, y en este caso el valor de luminancia solar LumN(k, m) es nulo para una casilla vacía.

25

En el ejemplo de la figura 5, la cartografía de luminancia reflectante CLR comprende cinco bandas 50N(1), ..., 50N(5) y siete columnas 51N(1), ..., 51N(7), y los valores de luminancia solar se expresan en términos de manera relativa en porcentaje.

30 A partir de dicho par de cartografías CLI, CLR, el módulo de cálculo de orientación óptima 43 realiza un cálculo basado en estas cartografías CLI, CLR para extraer una orientación óptima Θ_{opt} , que corresponde a un ángulo de elevación asociado a un máximo de iluminación solar sobre las dos caras 31, 32 del dispositivo fotovoltaico 3.

35 Para este cálculo, y haciendo referencia a las figuras 5 y 6, el módulo de cálculo de orientación óptima 43 realiza una sucesión de subetapas. Esta sucesión de subetapas constituye un ejemplo de modo de cálculo o de algoritmo, y la invención no podría limitarse, evidentemente, a este ejemplo.

En una primera subetapa, el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 calcula, para cada banda 50S(i) de la cartografía de luminancia incidente CLI, un valor de luminancia equivalente LeqS(i) a partir del conjunto de los valores de luminancia LumS(i, j), tomados en la banda 50S(i). Para cada banda 50S(i), el valor de luminancia equivalente LeqS(i) de la banda 50S(i) depende de los valores de luminancia LumS(i, j) tomados en la banda 50(i) y de los ángulos de azimut RSj de las diferentes columnas 51S(j) según la fórmula siguiente (haciendo referencia a la figura 6):

40

$$LeqS(i) = \sum_j LumS(i, j) \times \cos RSj$$

45

Se obtiene así una matriz MLeqS de los valores de luminancia equivalente LeqS(i) asociados a las diferentes bandas 50S(i).

50 Asimismo, el módulo de cálculo de ángulo de inclinación óptimo 43 calcula, para cada banda 50N(k) de la cartografía de luminancia reflectante CLR, un valor de luminancia equivalente LeqN(k) a partir del conjunto de los valores de luminancia LumN(k, m) tomados en la banda 50N(k). Para cada banda 50N(k), el valor de luminancia equivalente LeqS(i) de la banda 50N(k) depende de los valores de luminancia LumN(k) tomados en la banda 50N(k) y de los ángulos de azimut RSm de las diferentes columnas 51N(m) según la fórmula siguiente (haciendo referencia a la figura 6):

55

$$LeqN(k) = \sum_{jm} LumN(k, m) \times \cos RNm$$

60 Se obtiene así una matriz MLeqN de los valores de luminancia equivalente LeqN(k) asociados a las diferentes bandas 50N(k).

En una segunda subetapa, el módulo de cálculo de orientación óptimo 43 calcula, para varios ángulos de elevación

teóricos Θ_{th} , un valor de luminancia percibida $L_{perc}(\Theta_{th})$ por las caras 31, 32 del módulo solar 1 a partir de los valores de luminancia equivalentes $LeqS(i)$ y $LeqN(k)$ calculados para todas las bandas durante la primera subetapa, y a partir de las diferencias angulares entre los ángulos de elevación teóricos Θ_{th} y los ángulos de elevación Θ_{Si} , Θ_{Nk} asociados a las bandas, según la fórmula siguiente (haciendo referencia a la figura 6):

5

$$L_{perc}(\theta_{th}) = \sum_i LeqS(i) \cdot \cos(\theta_{Si} - \theta_{th}) \cdot p(i) + \sum_k LeqN(k) \cdot \cos(\theta_{Nk} - \theta_{th}) \cdot p(k)$$

En la que $p(i) = 1$ si $abs(\Theta_{Si} - \Theta_{th}) < 90$ grados, y $p(i) = 0$ si no;

10 y $p(k) = 1$ si $abs(\Theta_{Nk} - \Theta_{th}) < 90$ grados, y $p(k) = 0$ si no

Los coeficientes $p(i)$, $p(k)$ tienen en cuenta que, más allá de una diferencia angular de 90 grados, la radiación no es recibida por el o los sensores fotosensibles 54, 55 correspondientes.

15 Se obtiene así una curva de variación del valor de luminancia percibida $L_{perc}(\Theta_{th})$ en función del ángulo de elevación teórico Θ_{th} .

En una última subetapa, el módulo de cálculo de orientación óptima 43 retiene la orientación óptima Θ_{opt} como el ángulo de elevación teórico Θ_{th} asociado a un máximo del valor de luminancia percibida $L_{perc}(\Theta_{th})$.

20

En el caso en el que el sistema de medición 5 es conforme al segundo modo de realización, las cartografías CLI, CLR son equivalentes a las matrices $MLeqS$ y $MLeqN$, de manera que los cálculos realizados por el módulo de cálculo de orientación óptima 43 empiezan en la segunda subetapa.

25 Se debe observar que, en una variante no ilustrada, los dos dispositivos de medición 51, 52 están realizados en forma de dos cámaras dorso contra dorso, en particular de tipo cámara semiesférica, con una cámara superior girada hacia el cielo con el fin de extraer unas imágenes del cielo y medir la distribución de la luminancia solar incidente, y una cámara inferior girada hacia el suelo con el fin de extraer unas imágenes del suelo y medir la distribución de la luminancia solar reflectante. De manera ventajosa, cada cámara está configurada para tomar

30 unas imágenes en una anchura espectral suficiente para la tecnología de las células fotovoltaicas de las caras 31, 32 del dispositivo fotovoltaico 3. Cada cámara suministra una imagen bruta, respectivamente del cielo y del suelo, que se suministra a continuación al módulo cartográfico 40 para convertir estas dos imágenes brutas en unas cartografías CLI, CLR equivalentes a las descritas anteriormente, después de una sucesión de etapas de procesamiento de imágenes para partir de las imágenes brutas hasta las cartografías CLI, CLR:

35

- etapa de ponderación frecuencial;
- etapa de procesamiento que consiste en corregir los defectos en las imágenes después de la ponderación (tratamiento de supresión de ruido, tratamiento del deslumbramiento o "blooming", tratamiento de la saturación, etc.);
- cálculo (o bien píxel por píxel, o bien zona por zona en la que cada zona comprende varios píxeles) de la distribución de la luminancia solar;
- aplicación sobre cada imagen procesada de un coeficiente apropiado dependiente de la variación de la sensibilidad de la cámara en cuestión.

45

El módulo de cálculo previsional 42 calcula unas cartografías de previsión de luminancia incidente CLIP y unas cartografías de previsión de luminancia reflectante CLRP para unos instantes futuros $(t+nP)$, en la que n es un número entero no nulo y P el periodo de la observación realizada de manera periódica y repetitiva por el sistema de medición 5. Estas cartografías de previsión CLIP, CLRP se establecen en base a las cartografías CLI, CLR generadas en tiempo real por el módulo cartográfico 40 y en base a las cartografías CLI, CLR pasadas archivadas en el módulo de archivo 41.

50

55 A partir de las cartografías de luminancia incidente CLI sucesivas, el módulo de cálculo previsional 42 tiene acceso, más o menos precisamente, a una localización de las nubes, así como a sus dimensiones, sus direcciones de desplazamiento y sus velocidades de desplazamiento. Así, el módulo de cálculo previsional 42 puede realizar un cálculo previsional de la posición de las nubes en unos instantes futuros.

60 El cálculo previsional se basa en tener en consideración la evolución pasada de la distribución de la luminancia

solar incidente, entre varios instantes pasados y el instante presente, y en particular de la evolución de la distribución de la luminancia solar incidente y de la velocidad de evolución de la luminancia solar incidente.

5 Este cálculo previsional se puede basar en una ventana temporal deslizante, es decir una ventana que comprende un número predefinido de las últimas cartografías pasadas.

10 Este cálculo previsional se emplea para establecer unas cartografías de previsión CLIP, CLRP (o previsiones de cartografía) a corto plazo. A título de ejemplo no limitativo, el concepto de corto plazo cubre unos cálculos sobre un horizonte futuro de un máximo de diez a treinta minutos, incluso de un máximo de una a dos horas. Evidentemente, se puede considerar prever unos cálculos predictivos a más largo plazo.

El algoritmo utilizado para dicho cálculo previsional puede integrar eventualmente unas mejoras tales como:

- 15 - tener en cuenta los errores de previsión para mejorar las previsiones futuras (en efecto, es posible comparar las cartografías presentes con las previsiones cartográficas realizadas antes, con el fin de obtener enseñanzas sobre el cálculo previsional y mejorarlo);
- 20 - reconocer los tipos de nube en función de las cartografías de luminancia incidente CLI gracias a una base de datos y/o gracias a unos análisis o lecturas efectuados en el pasado, de manera que permitan hacer unas previsiones a más largo plazo en función de los tipos de nubes.

25 El algoritmo utilizado para dicho cálculo previsional puede tener en cuenta asimismo la evolución de la posición del sol en el cielo, en particular si el cálculo previsional se realiza para unos instantes futuros suficientemente lejanos (por ejemplo, más allá de 30 minutos) para que el cambio de la posición del sol tenga una influencia sobre la evolución de la luminancia solar incidente y reflectante. Esta consideración de la posición del sol en el cálculo previsional se ilustra mediante la flecha de unión en trazos discontinuos en la figura 8 entre el módulo de cálculo previsional 42 y el módulo de cálculo astronómico 46.

30 Como se puede observar en la figura 7, el módulo de cálculo previsional 42 establece unas cartografías de previsión CLIP, CLRP, y a cada par de cartografías de previsión CLIP, CLRP, está asociada una orientación óptima Θ_{opt} previsional calculada por el módulo de cálculo de orientación óptima 43, según el mismo método de cálculo descrito anteriormente.

35 Así, el módulo de evolución de la orientación óptima 44 recupera todas las orientaciones óptimas (las de las cartografías CLI, CLR pasadas, las de las cartografías CLI, CLR presentes, y las de las cartografías de previsión CLIP, CLRP) y establece una evolución futura de la orientación óptima Θ_{opt} , permitiendo así prever y anticipar los cambios de orientación óptima.

40 Por último, el módulo de servocontrol 47 servocontrola la orientación del módulo solar 1 en función de la evolución pasada y futura de la orientación óptima Θ_{opt} , y también en función del consumo de energía Cons necesario para modificar la orientación del módulo solar 1, de la velocidad de desplazamiento en rotación del módulo solar 1, y de la producción de energía solar Prod suplementaria obtenida con un cambio de orientación.

45 En referencia a las figuras 9 y 10, el módulo de servocontrol 47 se basa en la evolución futura de la orientación óptima Θ_{opt} (primera curva partiendo desde arriba).

50 En el ejemplo dado, la orientación óptima Θ_{opt} de previsión cambia de valor para alcanzar un valor diana Θ_c , por ejemplo debido a una previsión de paso de una nube delante del sol, desde el instante futuro t_1 hasta el instante futuro t_2 , antes de volver a su valor inicial.

El módulo de servocontrol 47 establece un escenario potencial durante el cual la orientación Θ del módulo solar 1 se modifica partiendo de una orientación presente Θ_p hasta alcanzar la orientación óptima diana Θ_c , con el fin de seguir la previsión de evolución de la orientación óptima.

55 En el ejemplo dado, el escenario consiste en servocontrolar la orientación Θ sobre la primera curva, y este servocontrol depende de la velocidad de desplazamiento en rotación del módulo solar 1, con el fin de obtener una segunda curva de la evolución de la orientación Θ del módulo solar 1 durante el cambio de orientación del escenario. En efecto, el módulo solar 1 presenta un tiempo de desplazamiento necesario para llegar a alcanzar la orientación óptima diana Θ_c .

60 Gracias al cálculo previsional, se anticipa el desplazamiento del módulo solar 1, en este caso arrancando más pronto, en el instante t_{10} (anterior a t_1) hasta alcanzar el valor diana Θ_c en t_{11} (posterior a t_1), y después arrancando de manera anticipada el retorno al instante t_{11} (anterior a t_2) hasta volver a la orientación presente Θ_p en el instante t_{13} (posterior a t_2).

65 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución del consumo de energía Cons necesario para modificar la

orientación del módulo solar 1 según la segunda curva, con el fin de obtener una tercera curva de la evolución de este consumo de energía Cons; consumiendo el módulo solar 1 durante las fases de cambio de orientación, entre los instantes t10 y t11, y después entre los instantes t12 y t13.

5 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución de la producción Prod suplementaria (o ganancia de producción) esperada siguiendo la segunda curva de evolución de la orientación Θ en lugar de permanecer en la orientación presente Θ_p , con el fin de obtener una cuarta curva de la evolución de esta producción Prod. Esta producción Prod suplementaria corresponde por lo tanto a la ganancia de producción esperada si se sigue el escenario en lugar de permanecer en la situación inicial o presente en la orientación presente Θ_p .

10 En el ejemplo dado, la producción Prod es negativa entre los instantes t10 y t11 y entre los instantes t12 y t13 que corresponden a unos periodos en los que la orientación Θ se aleja de la orientación óptima Θ_{opt} , y la producción Prod es positiva entre los instantes t11 y t12 que corresponden a un periodo en el que la orientación Θ se acerca, incluso es igual, a la orientación óptima Θ_{opt} .

15 El módulo de servocontrol 47 determina la evolución del rendimiento energético Rend esperado basada en la diferencia entre la producción Prod y el consumo de energía Cons, dando una quinta curva que corresponde a la diferencia entre la cuarta curva y la tercera curva, dicho de otra manera, $Rend = Prod - Cons$.

20 En el ejemplo dado, el rendimiento Rend es negativo entre los instantes t10 y t11 y entre los instantes t12 y t13, y el rendimiento Rend es positivo entre los instantes t11 y t12.

25 Por último, el módulo de servocontrol 47 sigue el escenario (dicho de otra manera, servocontrola el módulo solar según la segunda curva) si el rendimiento energético es globalmente positivo para el escenario, de lo contrario la orientación del módulo solar 1 se mantiene en la orientación presente Θ_p .

El rendimiento energético global se establece estudiando el rendimiento en todo el periodo del escenario.

30 En el ejemplo de la figura 9, el rendimiento global es negativo, ya que la suma de las superficies S_{rn} en las que el rendimiento es negativo (entre t10 y t11 y entre t12 y t13) es superior a la superficie S_{rp} en la que el rendimiento es positivo (entre t11 y t12). El ejemplo de la figura 11 corresponde por ejemplo a una situación en la que el tiempo de paso previsional (que corresponde al intervalo $[t2 - t1]$) de una nube delante del sol es demasiado corto en comparación con el tiempo necesario para un cambio de orientación (que corresponde al intervalo $[t1 - t10]$ o $[t13 - t12]$).

35 En el ejemplo de la figura 10, el rendimiento global es positivo, ya que la suma de las superficies S_{rn} en las que el rendimiento es negativo (entre t10 y t11 y entre t12 y t13) es inferior a la superficie S_{rp} en la que el rendimiento es positivo (entre t11 y t12). El ejemplo de la figura 10 corresponde por ejemplo a una situación en la que el tiempo de paso previsional (que corresponde al intervalo $[t2 - t1]$) de una nube delante del sol es largo en comparación con el tiempo necesario para un cambio de orientación (que corresponde al intervalo $[t1 - t10]$ o $[t13 - t12]$).

40 Así, en el ejemplo de la figura 9, el módulo de servocontrol 47 no sigue el escenario y mantiene la orientación en el valor presente Θ_p , mientras que en el ejemplo de la figura 10, el módulo de servocontrol 47 sigue el escenario y asegura un servocontrol del ángulo de inclinación según la segunda curva.

45 Con referencia a las figuras 1(a) y 1(b), el procedimiento de acuerdo con la invención se realiza en la figura 1(b) con una orientación del módulo solar 1 sobre una orientación óptima Θ_{opt} distinta de la orientación directa Θ_{dir} (orientación sobre la radiación directa frente al sol SO), mientras que en la figura 1(a) se realiza una orientación del módulo solar 1 sobre la orientación directa Θ_{dir} . Con la presencia de nubes NU delante del sol SO, la radiación solar incidente directa R_{dir} es más baja que la radiación solar incidente difusa R_{dif} , de manera que el servocontrol sobre la orientación directa Θ_{dir} proporciona un rendimiento más bajo con respecto al servocontrol sobre la orientación óptima Θ_{opt} establecida gracias al procedimiento (que tiene en cuenta la radiación difusa R_{dif} y también la radiación de albedo R_{alb}), de manera que el procedimiento permite un aumento de la producción energética por el módulo solar 1.

50 Con referencia a las figuras 2(a) y 2(b), el procedimiento de acuerdo con la invención se realiza en la figura 2(b) con una orientación del módulo solar 1 sobre una orientación óptima Θ_{opt} distinta de la orientación directa Θ_{dir} , mientras que en la figura 2(a) se realiza una orientación del módulo solar 1 sobre la orientación directa Θ_{dir} . Con la presencia de una fuerte radiación solar de albedo R_{alb} debido a un suelo SOL que presenta un fuerte poder reflectante, el servocontrol sobre la orientación directa Θ_{dir} demuestra procurar un rendimiento más bajo con respecto al servocontrol sobre la orientación óptima Θ_{opt} establecida gracias al procedimiento que tiene en cuenta la fuerte radiación de albedo R_{alb} , ya que el servocontrol sobre la orientación directa Θ_{dir} limitará la consideración de la radiación de albedo R_{alb} .

65 Evidentemente, el ejemplo de realización mencionado anteriormente no presenta ningún carácter limitativo y se pueden aportar otras mejoras y detalles al módulo solar según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de pilotaje de la orientación (Θ) de un módulo solar (1) que comprende:

- 5 - un seguidor solar (2) de eje único orientable alrededor de un eje de rotación (A) para una orientación del módulo solar (1) que permite seguir el sol (SO) cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste; y
- 10 - un dispositivo fotovoltaico (3) soportado por dicho seguidor solar (2) y que presenta una cara superior (31) fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior (32) fotoactiva que mira hacia el suelo (SOL) y provista de células fotovoltaicas;

comprendiendo dicho procedimiento las etapas sucesivas siguientes:

- 15 - medición de una distribución de la luminancia solar denominada incidente resultante de la radiación solar denominada incidente (R_{dir} , R_{dif}) procedente del cielo y que es apropiada para alcanzar la cara superior (31) del dispositivo fotovoltaico (3), siendo dicha distribución de la luminancia solar incidente establecida según varios ángulos de elevación (Θ_{Si}) que corresponden a varias orientaciones del módulo solar (1) alrededor del eje de rotación (A);
- 20 - medición de una distribución de la luminancia solar denominada reflectante resultante de la radiación solar denominada de albedo (R_{alb}) que corresponde a la reflexión de la radiación solar sobre el suelo (SOL) y que es apropiada para alcanzar la cara inferior (32) del dispositivo fotovoltaico (3), siendo dicha distribución de la luminancia solar reflectante establecida según varios ángulos de elevación (Θ_{Nk}) que corresponden a varias orientaciones del módulo solar (1) alrededor del eje de rotación (A);
- 25 - determinación de una orientación óptima (Θ_{opt}) del módulo solar (1) teniendo en cuenta las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
- 30 - servocontrol de la orientación del módulo solar (1) a dicha orientación óptima (Θ_{opt}),

en el que, en la etapa de determinación de una orientación óptima (Θ_{opt}), se realizan las siguientes etapas:

- 35 - conversión de la medición de la distribución de la luminancia solar incidente en una cartografía de luminancia incidente (CLI) que define una distribución de valores de la luminancia ($LumS(i, j)$) según unas bandas denominadas superiores ($50S(i)$), establecidas según una primera dirección (X) horizontal paralela al eje de rotación (A), y según unas columnas denominadas superiores ($51 S(j)$), establecidas según una segunda dirección (Y) horizontal ortogonal a la primera dirección (X), en la que cada banda superior ($50S(i)$) está asociada a un ángulo de elevación (Θ_{Si}) y cada columna superior ($51 S(j)$) está asociada a un ángulo de azimut (RSj);
- 40 - conversión de la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante en una cartografía de luminancia reflectante (CLR) que define una distribución de valores de luminancia ($LumN(k, m)$) según unas bandas denominadas inferiores ($50N(k)$), establecidas según la primera dirección (X), y según unas columnas denominadas inferiores ($51 N(m)$), establecidas según la segunda dirección (Y), en la que cada banda inferior ($50N(k)$) está asociada a un ángulo de elevación (Θ_{Nk}) y cada columna inferior ($51 N(m)$) está asociada a un ángulo de azimut (RNm);
- 45 - cálculo, para cada banda superior e inferior ($50S(i)$; $50N(k)$), de un valor de luminancia equivalente ($LeqS(i)$; $LeqN(k)$) a partir del conjunto de los valores de luminancia ($LumS(i, j)$; $LumN(k, m)$) tomados en la banda ($50S(i)$; $50N(k)$) considerada;
- 50 - cálculo, para varios ángulos de elevación teóricos (Θ_{th}) que corresponden a varias orientaciones del módulo solar (1), de valores de luminancia percibida ($L_{perc}(\Theta_{th})$) por las dos caras (31, 32) del dispositivo fotovoltaico (3) a partir de los valores de luminancia equivalentes ($LeqS(i)$, $LeqN(k)$) calculados para todas las bandas ($50S(i)$, $50N(k)$) y a partir de las diferencias angulares entre los ángulos de elevación teóricos (Θ_{th}) y los ángulos de elevación (Θ_{Si} , Θ_{Nk}) asociados a las bandas;
- 55 - determinación de un ángulo de elevación teórico asociado a un máximo del valor de luminancia percibida y selección de dicho ángulo de elevación teórico como orientación óptima (Θ_{opt}).
- 60

2. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 1, que comprende las etapas siguientes:

- 65 - memorización de las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;

- memorización de las orientaciones óptimas pasadas, determinadas para las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
 - 5 - previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante, en base a las mediciones pasadas de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
 - 10 - cálculo de la evolución futura de la orientación óptima en función de la previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante;
 - servocontrol de la orientación del módulo solar (1) en la orientación óptima (Θ_{opt}) en función de las orientaciones óptimas pasadas y en función de la evolución futura de la orientación óptima.
3. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 2, en el que la previsión de las evoluciones futuras de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se basa en un cálculo de previsión meteorológica en una zona de localización del módulo solar (1).
4. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la determinación de la orientación óptima (Θ_{opt}) del módulo solar (1) se basa por lo menos en parte en una búsqueda, en la distribución de la luminancia solar incidente y en la distribución de la luminancia solar reflectante, de un ángulo de elevación asociado a un máximo de iluminación solar sobre las dos caras del dispositivo fotovoltaico (3).
5. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la determinación de la orientación óptima (Θ_{opt}) del módulo solar (1) se basa por lo menos en parte en una búsqueda, en la distribución de la luminancia solar incidente y en la distribución de la luminancia solar reflectante, de un ángulo de elevación asociado a un máximo de producción energética del módulo solar (1).
6. Procedimiento de pilotaje según las reivindicaciones 4 o 5, en el que la determinación de la orientación óptima (Θ_{opt}) del seguidor solar (2) se basa asimismo en la consideración de por lo menos uno de los parámetros siguientes:
- un consumo de energía eléctrica necesario para modificar la orientación del módulo solar (1);
 - 35 - una tasa de desgaste de órganos mecánicos del seguidor solar (2) solicitados en un cambio de orientación del módulo solar (1);
 - una velocidad angular del seguidor solar (2) en un cambio de orientación del módulo solar (1);
 - un desplazamiento angular del módulo solar (1) entre una orientación mínima y una orientación máxima.
7. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- en la medición de la distribución de la luminancia solar incidente, se realiza una ponderación frecuencial que depende de una respuesta de frecuencia de las células fotovoltaicas de la cara superior (31) del dispositivo fotovoltaico (3); y
 - 45 - durante la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante, se realiza una ponderación frecuencial que depende de una respuesta de frecuencia de las células fotovoltaicas de la cara inferior (32) el dispositivo fotovoltaico (3).
8. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se realizan mediante un dispositivo de captura de imágenes que asegura, por un lado, una captura de imágenes del cielo para la medición de la distribución de la luminancia solar incidente y, por otro lado, una captura de imágenes del suelo (SOL) para establecer la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante.
9. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las mediciones de la distribución de la luminancia solar incidente y de la distribución de la luminancia solar reflectante se realizan mediante un sistema de medición (5) que comprende varios sensores fotosensibles (54, 55), en particular del tipo sensor piranométrico con, por un lado, un dispositivo de medición superior (51) que presenta unos sensores fotosensibles superiores (54) distribuidos mirando al cielo para la medición de la distribución de la luminancia solar incidente y, por otro lado, un dispositivo de medición inferior (52) que presenta unos sensores fotosensibles inferiores (55) distribuidos mirando al suelo (SOL) para la medición de la distribución de la luminancia solar reflectante.
10. Procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de servocontrol

de la orientación del módulo solar (1) se realiza en función del consumo de energía (Cons) necesario para modificar la orientación del módulo solar (1).

5 11. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 10, en el que, en la etapa de servocontrol de la orientación del módulo solar (1), se establece un escenario potencial durante el cual la orientación (Θ) del módulo solar (1) se modifica partiendo de una orientación presente (Θ_p) hasta alcanzar la orientación óptima (Θ_{opt}), y a este escenario potencial están asociados los cálculos siguientes:

- 10 - una evolución de la orientación del módulo solar (1) durante el cambio de orientación partiendo de la orientación presente (Θ_p) hasta alcanzar la orientación óptima (Θ_{opt}), dependiendo esta evolución de la velocidad de desplazamiento en rotación del módulo solar (1);
- 15 - una evolución del consumo de energía (Cons) necesario para modificar la orientación (Θ) del módulo solar (1);
- 20 - una evolución de la producción de energía solar (Prod) suplementaria esperada con dicho cambio de orientación;
- 25 - una evolución del rendimiento energético (Rend) esperado, basada en la diferencia entre la producción de energía solar (Prod) y el consumo de energía (Cons);

y a continuación la orientación (Θ) del módulo solar (1) se servocontrola en dicha orientación óptima (Θ_{opt}) si el rendimiento energético (Rend) es globalmente positivo para el escenario, si no, la orientación (Θ) del seguidor solar (2) se mantiene en la orientación presente (Θ_p).

25 12. Módulo solar (1) que comprende:

- 30 - un seguidor solar (2) de eje único orientable alrededor de un eje de rotación (A) para una orientación del módulo solar (1) que permite seguir el sol (SO) cuando tiene lugar su ascenso y su descenso de este a oeste, siendo dicho seguidor solar (2) accionable en rotación según dicho eje de rotación (A) mediante un sistema de accionamiento (6);
- 35 - un dispositivo fotovoltaico (3) soportado por dicho seguidor solar (2) y que presenta una cara superior (31) fotoactiva que mira hacia el cielo y provista de células fotovoltaicas y una cara inferior (32) fotoactiva que mira hacia el suelo (SOL) y provista de células fotovoltaicas;

estando dicho módulo solar (1) caracterizado por que comprende, además:

- 40 - un dispositivo de medición superior (51) apropiado para medir una distribución de la luminancia solar incidente resultante de la radiación solar incidente (R_{dir} , R_{dif}) procedente del cielo y que es apropiada para alcanzar la cara superior (31) del dispositivo fotovoltaico (3), siendo dicha distribución de la luminancia solar incidente establecida según varios ángulos de elevación (Θ_{Si}) que corresponden a varias orientaciones del módulo solar (1) alrededor del eje de rotación (A);
- 45 - un dispositivo de medición inferior (52) apropiado para medir una distribución de la luminancia solar reflectante resultante de la radiación solar de albedo (R_{alb}) que corresponde a la reflexión de la radiación solar sobre el suelo (SOL) y que es apropiada para alcanzar la cara inferior (32) del dispositivo fotovoltaico (3), siendo dicha distribución de la luminancia solar reflectante establecida según varios ángulos de elevación (Θ_{Nk}) que corresponden a varias orientaciones del módulo solar (1) alrededor del eje de rotación (A); y
- 50 - una unidad de control (4) en conexión, por un lado, con los dispositivos de medición superior e inferior (51, 52) y, por otro lado, con el sistema de accionamiento (6) para pilotar la rotación del seguidor solar (2), en la que dicha unidad de control (4) está conformada para realizar las etapas del procedimiento de pilotaje según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 55

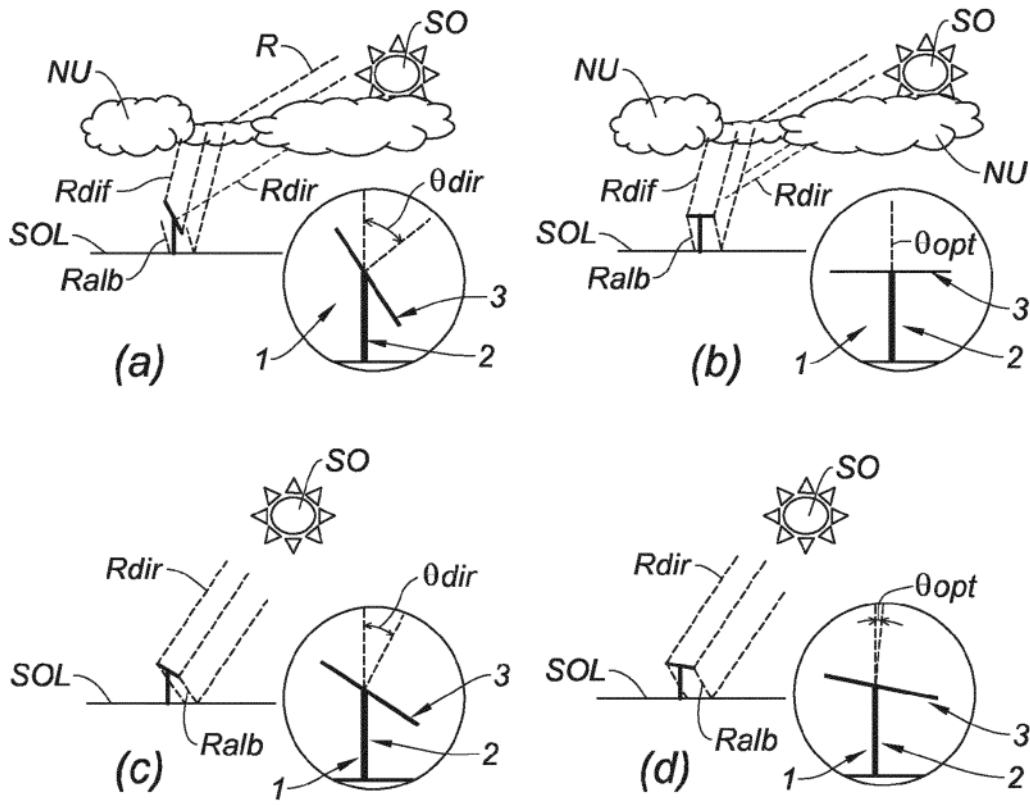


Fig. 1

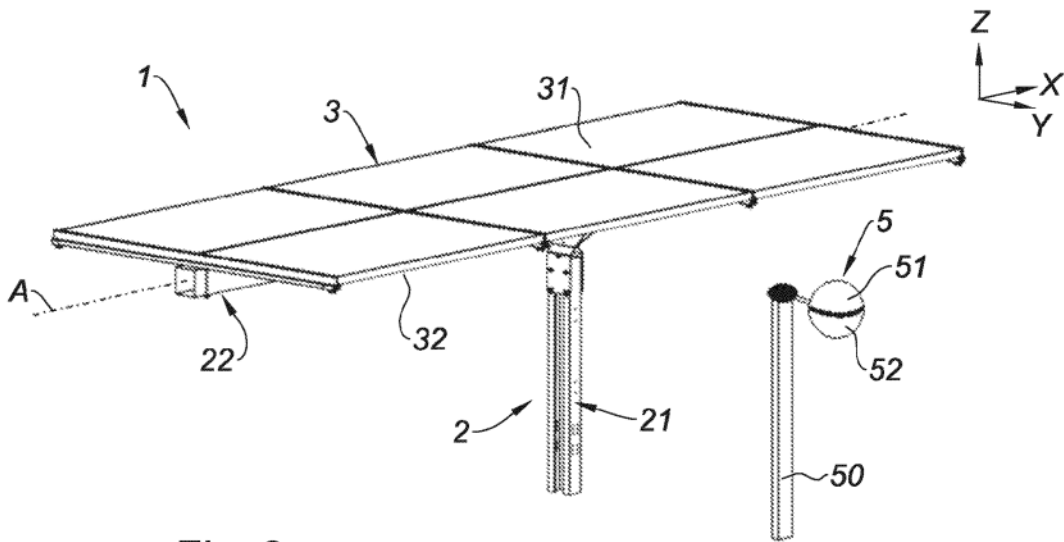
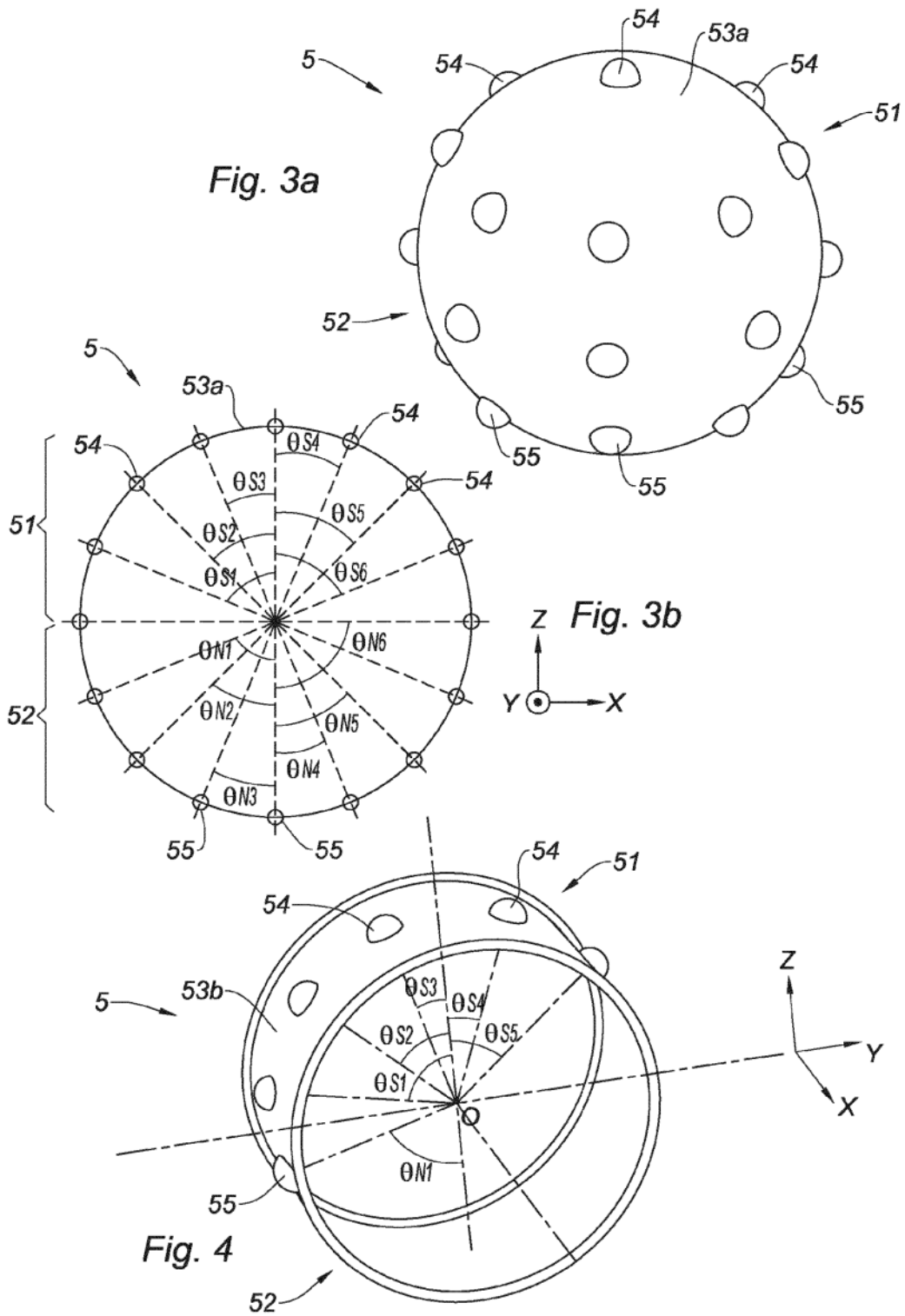
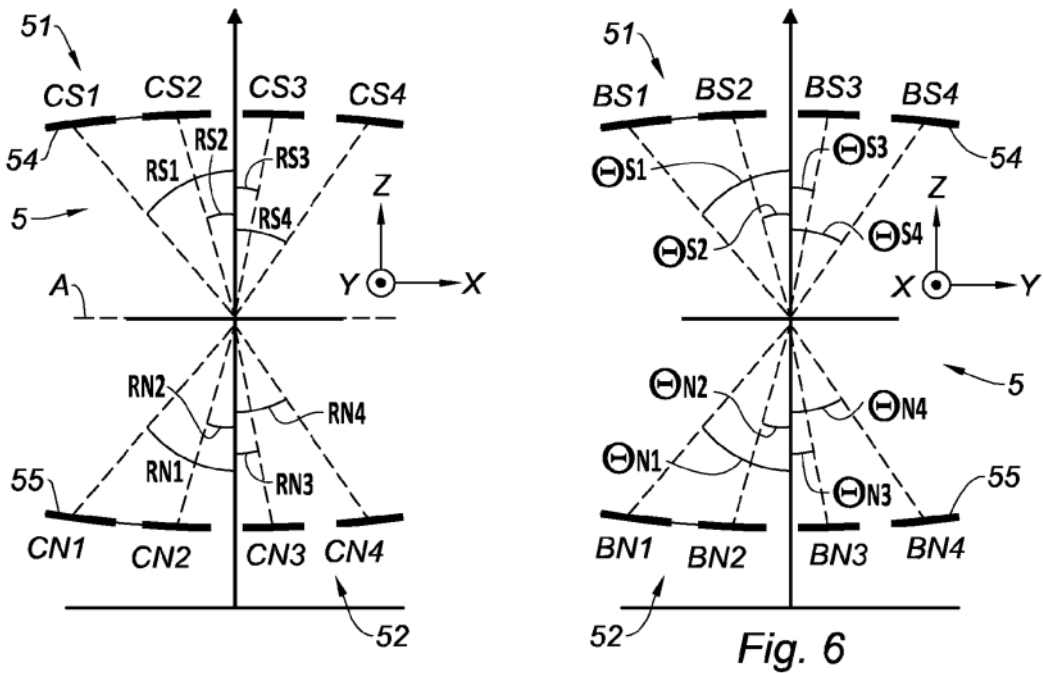
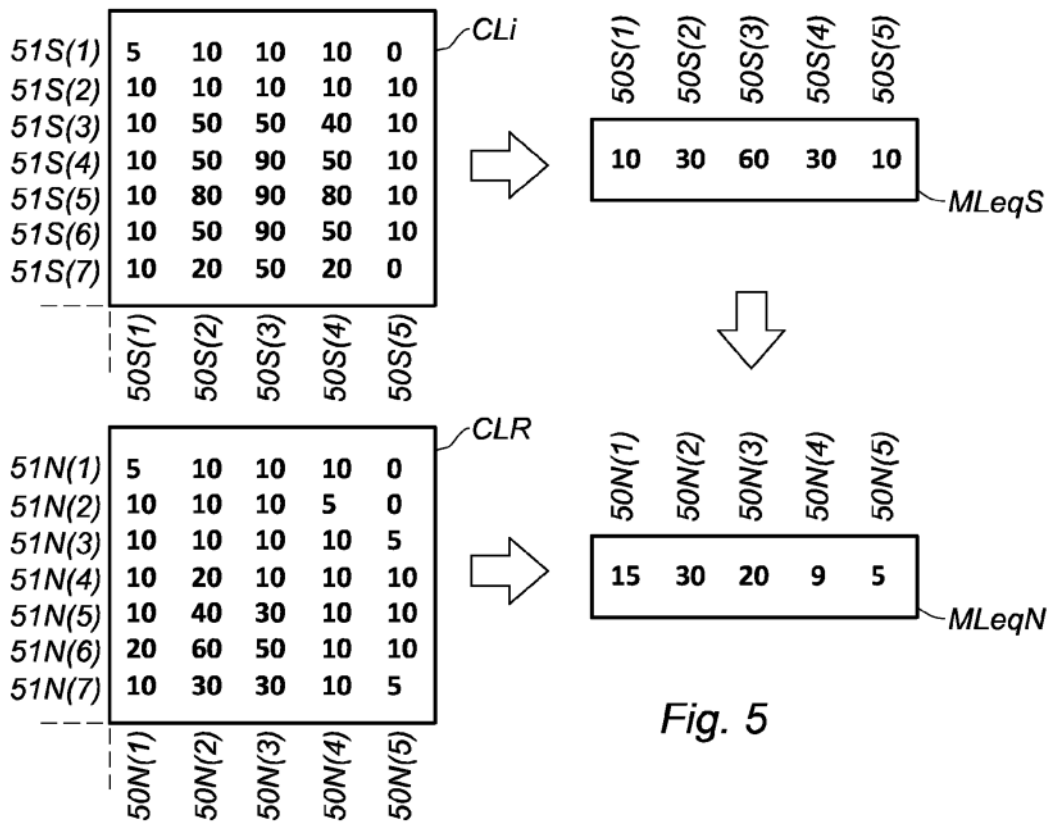


Fig. 2





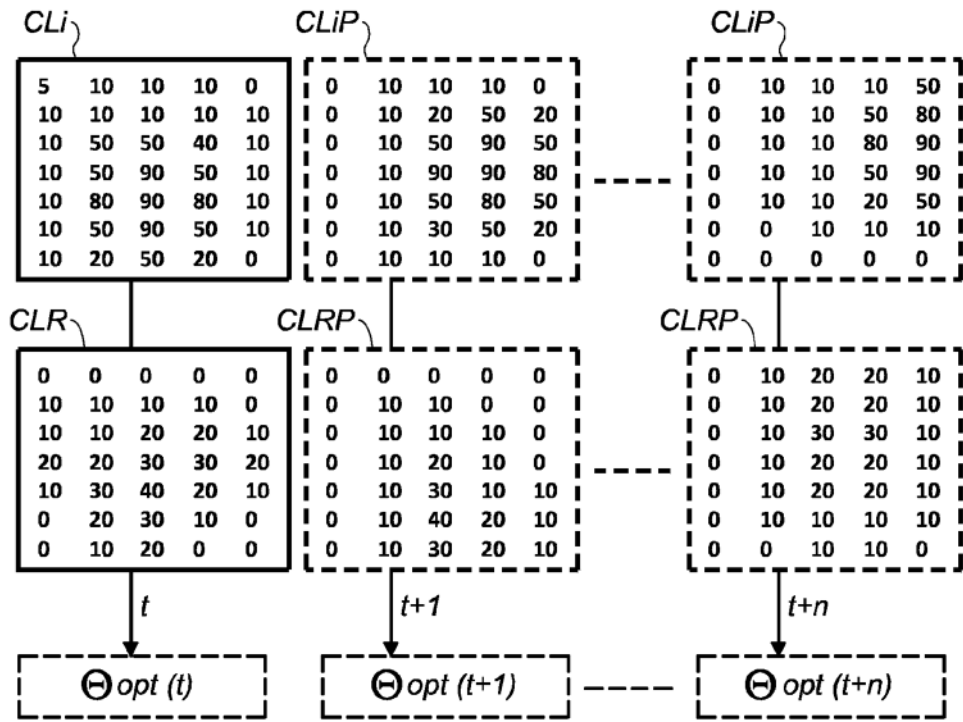


Fig. 7

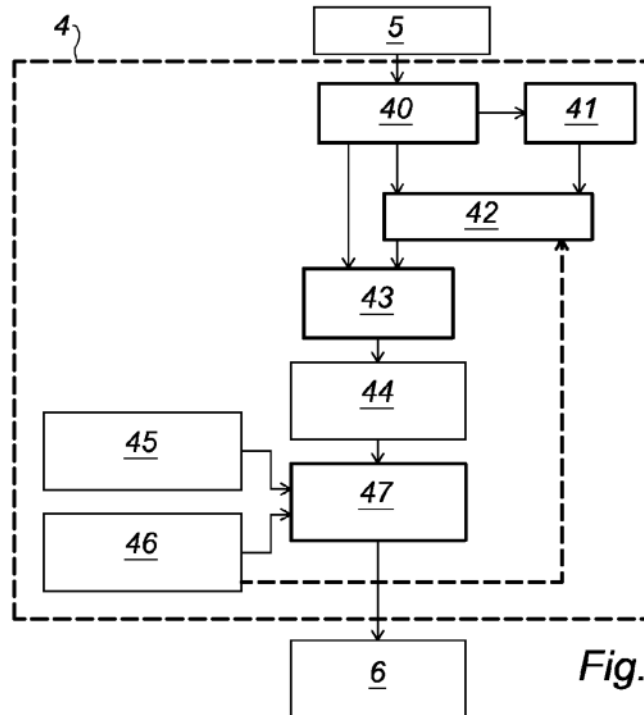


Fig. 8

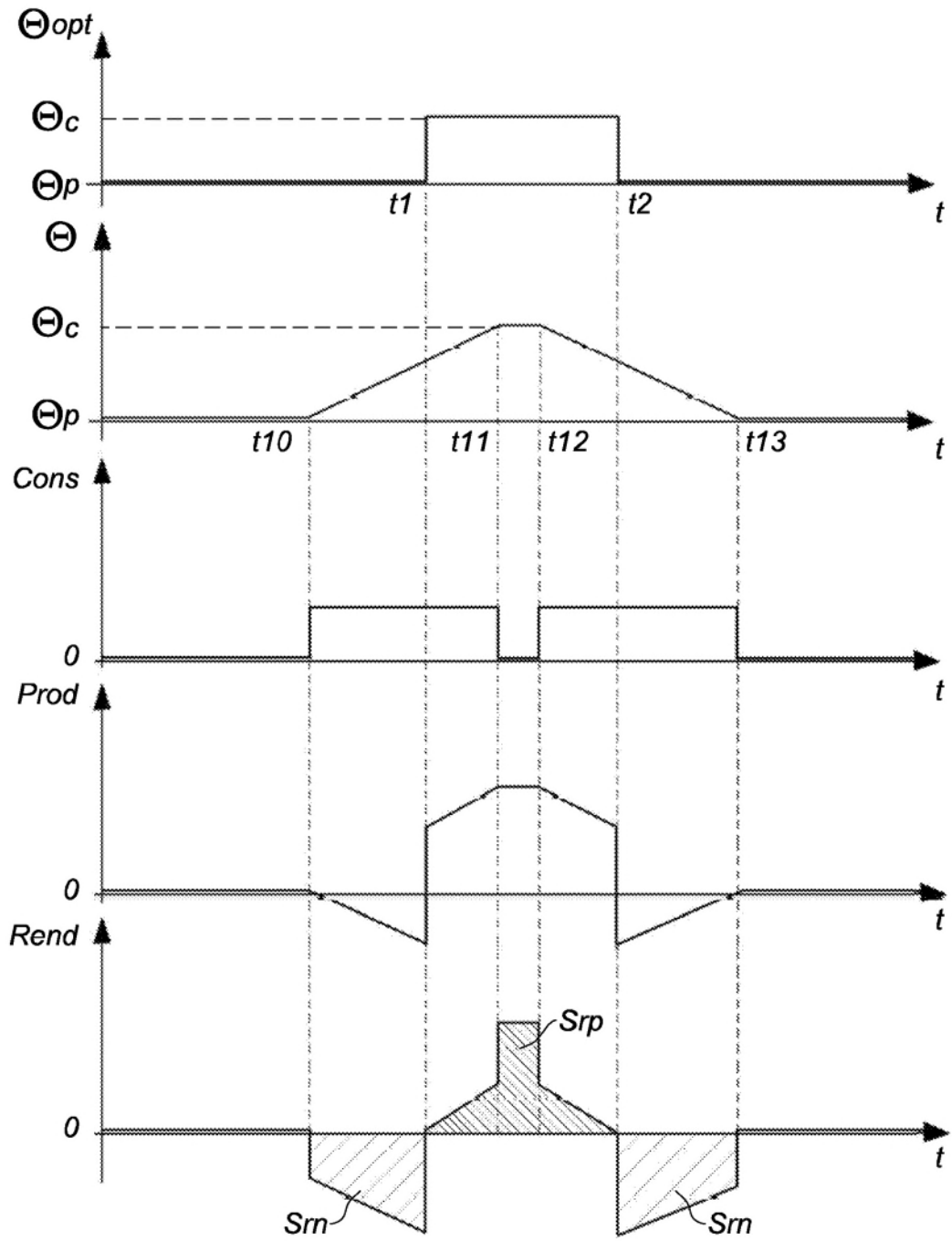


Fig. 9

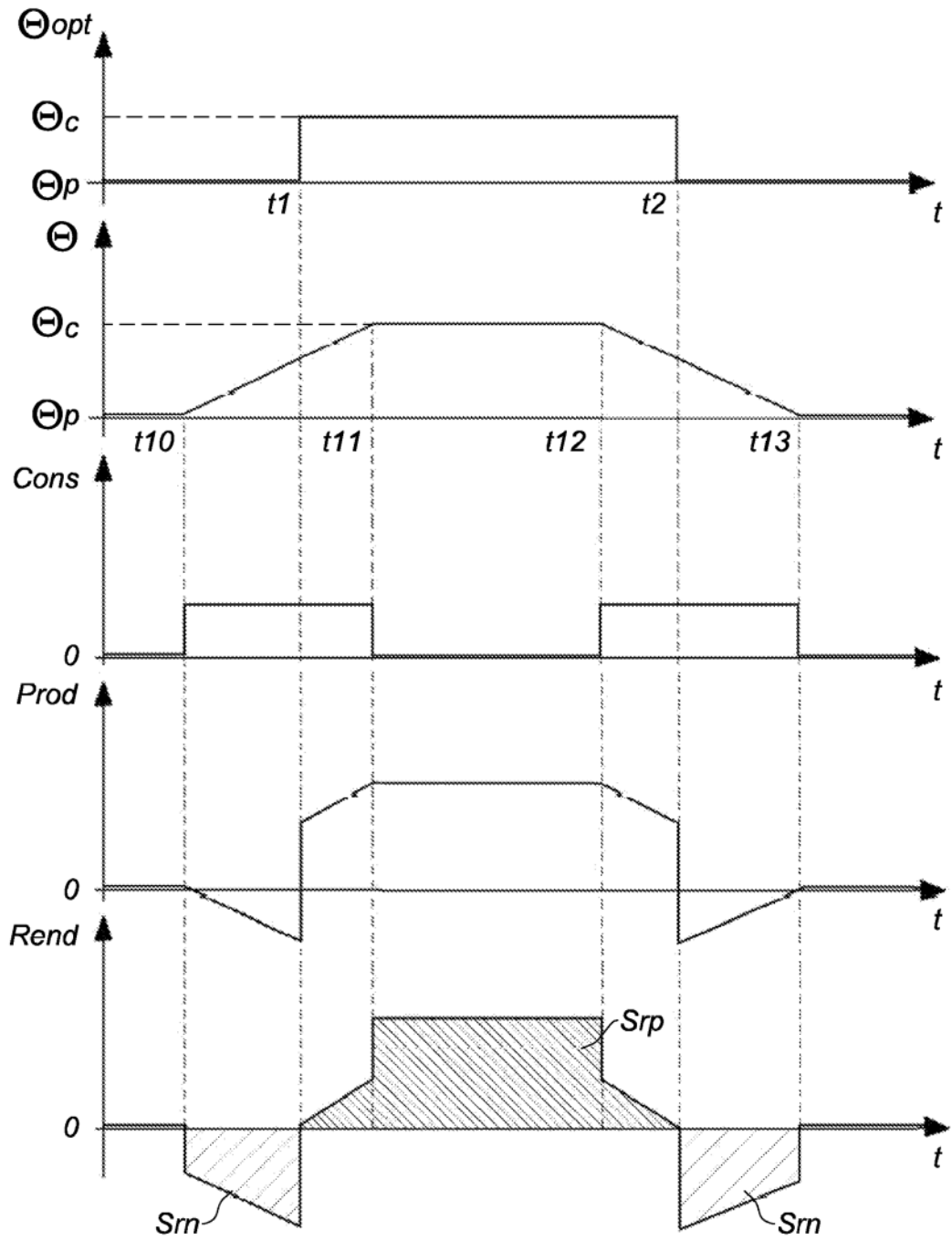


Fig. 10