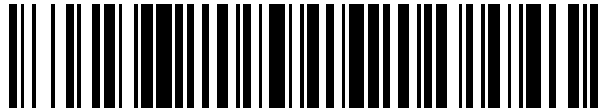


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 152**

51 Int. Cl.:

B64C 31/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2013** **E 13166020 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016** **EP 2660151**

54 Título: **Aeronave solar autónoma**

30 Prioridad:

30.04.2012 US 201213460146

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

26.09.2016

73 Titular/es:

**SUNLIGHT PHOTONICS INC. (100.0%)
600 Corporate Court, Ste C
South Plainfield, NJ 07080, US**

72 Inventor/es:

**FROLOV, SERGEY V.;
CYRUS, MICHAEL y
BRUCE, ALLAN J.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 584 152 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

Aeronave solar autónoma

Campo

5 La presente invención se refiere, en general, a procedimientos y aparatos para el vuelo autónomo alimentado por luz solar, en particular al vuelo alimentado por luz solar de larga duración.

Técnica relacionada

10 Los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) son aeronaves no pilotadas que bien se controlan de manera remota o vuelan de manera autónoma a lo largo de planes vuelo preprogramados. Los VANT se categorizan normalmente basándose en su diseño y especificaciones de rendimiento que abarcan el intervalo de aeronaves de baja de altitud en miniatura hasta vehículos grandes de Gran Altitud y Larga Duración (HALE). Los VANT HALE en particular
15 podrían proporcionar mejoras sobre los sistemas existentes en un gran número de aplicaciones militares y civiles, que van desde patrullas fronterizas, vigilancia de costas, monitorización de desastres naturales, meteorología y cartografía, hasta estaciones de relé de telecomunicaciones altamente flexibles. Por ejemplo, las plataformas capaces de permanecer en el aire durante mucho tiempo a altitudes de aproximadamente 10-25 km proporcionan ventajas sobre los sistemas satélites en términos de costes reducidos, flexibilidad incrementada y mayor precisión. Por ejemplo, el documento US 2009/0108135 A1 describe una aeronave que comprende una envoltura de gas flexible que comprende un borde anterior, un borde posterior y una pluralidad de células inflables, en el que las células inflables son generalmente alargadas y se extienden longitudinalmente en una dirección desde el borde anterior al borde posterior de la envoltura de gas flexible, en el que la envoltura de gas flexible forma una forma de perfil alar cuando las células se inflan, con la forma de perfil alar configurada para proporcionar elevación cuando la envoltura de gas flexible están en el vuelo hacia delante; una unidad de base sujeta a la envoltura de gas flexible; y una fuente de gas de elevación configurada para proporcionar gas más ligero que el aire a las células. El documento DE 296 16 989 U1 se refiere a un accionamiento solar para aeronaves, en particular cometas aéreas, que incluye células solares y planas dispuestas en el perfil alar de las mismas y al menos un electromotor al que se suministra energía eléctrica desde las células solares por medio de líneas de suministro eléctrico. Las células solares están dispuesta en la vela de soporte del perfil alar. La vela de soporte puede estabilizarse en la región de los módulos solares mediante un revestimiento de fibra de vidrio sintético reforzado de manera que se evita el daño a los módulos solares.

30 El diseño, fabricación y funcionamiento de los VANT HALE suponen muchos desafíos y requieren soluciones innovadoras en la configuración de la aeronave, sistemas de propulsión y su tren de potencia. Para hacer posible la duración de un vuelo en el orden de semanas, meses o años, este medio de propulsión debe ser capaz de proporcionar avance para el vuelo continuamente día y noche, lo que conduce a una gran carga de combustible cuando se usa un sistema no regenerativo. Sin embargo, en un sistema regenerativo que puede cosechar energía renovable tal como luz solar, el tren de potencia debe doblarse: un sistema para el día y el segundo para la noche. Debido a esta redundancia, una baja energía de propulsión es un elemento clave en el diseño, implicando la necesidad de un VANT de poco peso y velocidad de vuelo.

40 Los inventores creen que la tecnología VANT está tomando un lugar cada vez más importante en nuestra sociedad para aplicaciones civiles y militares. La duración necesaria está en el intervalo de unas cuantas horas en el caso de los cuerpos de seguridad, vigilancia de fronteras, lucha contra incendios forestales o inspección de líneas de energía. Sin embargo, otras aplicaciones a altas altitudes, tales como las plataformas de comunicación para dispositivos móviles, investigación y predicción climatológica, monitorización medioambiental, vigilancia y diversas misiones militares necesitarían la capacidad de permanecer en el aire durante días, semanas, meses o incluso años. Los inventores creen que es posible lograr estas metas usando plataformas eléctricas alimentadas con luz solar. Pueden usarse células y módulos fotovoltaicos (PV) para recoger la energía solar durante el día, una parte de la cual
45 puede usarse directamente para mantener el vuelo y las operaciones de a bordo, almacenándose el resto para la noche.

Sumario

50 A la luz de lo anterior, se proporciona la aeronave no tripulada alimentada por energía solar de acuerdo con la reivindicación independiente 1. Las ventajas, características, aspectos y detalles adicionales son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos.

Los procedimientos y aparatos para vuelos no tripulados de larga duración se proporcionan en el presente documento. En algunas realizaciones, un ala solar ligera para aeronaves no tripuladas puede incluir al menos un perfil aerodinámico, una superficie superior, un borde anterior, un borde posterior, puntas de ala y al menos una célula fotovoltaica, en la que las superficies y los bordes siguen una forma combada arqueada por una envergadura del ala.

55 En algunas realizaciones, una aeronave no tripulada alimentada por energía solar puede incluir al menos un ala solar ligera como se ha descrito antes, al menos un fuselaje y al menos una hélice, en la que el fuselaje se coloca

por debajo del ala solar y contiene un motor eléctrico, una batería y un sistema electrónico.

5 De acuerdo con un ejemplo útil para entender la invención, un procedimiento de construcción de un aeronave solar no tripulada de larga duración puede incluir proporcionar un ala solar que tiene una forma combada descendente y al menos una célula fotovoltaica; proporcionar un fuselaje que contiene un motor eléctrico, una batería, un sistema electrónico de energía, controles de vuelo, comunicaciones y carga útil; y colocar y unir el fuselaje por debajo del ala solar usando una o más de una unión directa o una unión por medio de una riostra adicional.

Otras realizaciones adicionales se describirán a continuación.

Breve descripción de los dibujos

10 Las realizaciones de la presente invención, brevemente resumidas antes y analizadas en mayor detalle a continuación, podrían entenderse en referencia a las realizaciones ilustrativas de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Debe apreciarse, sin embargo, que los dibujos adjuntos ilustran solo realizaciones típicas de la presente invención y por tanto no deben considerarse como limitativos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

15 La figura 1 representa un aparato para el vuelo no tripulado de larga duración de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 2 muestra una sección transversal en vista delantera de un ala solar de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 3 representa un aparato VANT alimentado por energía solar para vuelos no tripulados de larga duración de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

20 La figura 4 representa las vistas trasera (4a) y lateral (4b) del aparato de la figura 3.

La figura 5 representa una aeronave alimentada por energía solar para vuelo no tripulado de larga duración de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 6 representa una aeronave alimentada por energía solar para vuelo no tripulado de larga duración de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

25 La figura 7 muestra gráficas de comparación de energía solar recogida mediante un ala solar curvada (línea continua) y un ala solar plana (línea discontinua) para un aeronave que vuela a 20 km de altitud y 40 grados de latitud en el hemisferio norte durante el solsticio de invierno.

La figura 8 representa una aeronave solar flexible de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención que puede adoptar al menos dos configuraciones diferentes.

30 La figura 9 representa una aeronave solar de cambio de forma de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, que puede adoptar al menos dos formas diferentes.

La figura 10 representa vista superior y lateral de ejemplos de forma de ala solar curvada que pueden ser adecuados para aplicaciones de VANT HALE de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

35 La figura 11 representa vistas superiores de ala solar ejemplares con variaciones no monótonas y periódicas que tienen como resultado modificaciones de formas ya sean en el borde anterior, el borde posterior o ambos bordes de un ala de una aeronave de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figuras 12-15 muestran realizaciones ejemplares de alas solares de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

40 La figura 16 representa una aeronave alimentada por energía solar para vuelo no tripulado de larga duración de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 17 muestra diversas vistas delanteras de realizaciones ejemplares de alas solares moldeadas de manera simétrica de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 18 muestra diversas vistas delanteras de un ala solar con capacidad para cambiar de forma entre formas simétricas y asimétricas de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención.

45 Para facilitar el entendimiento, se han usado idénticos números de referencia, donde ha sido posible, para designar elementos idénticos que son comunes en las figuras. Las figuras no se han dibujado a escala y pueden simplificarse para más claridad. Se contempla que los elementos y características de una realización pueden incorporarse de manera beneficiosa en otras realizaciones sin mención adicional.

Descripción detallada

En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar un entendimiento completo de realizaciones ejemplares u otros ejemplos descritos en el presente documento. Sin embargo, se entenderá que estas realizaciones y ejemplos pueden practicarse sin detalles específicos. En otros casos, unos procedimientos, técnicas, componentes y/o circuitos bien conocidos no se han descrito en detalle, para no oscurecer la siguiente descripción. Además, las realizaciones desveladas tienen fines ejemplares únicamente y otras realizaciones pueden emplearse en lugar de, o en combinación con, las realizaciones desveladas.

En algunas realizaciones de la presente invención, un aparato tal como un ala se proporciona para vuelos no tripulados de larga duración, como se muestra en la figura 1. En este caso, un ala 100 solar está compuesta de al menos sus puntas 101 y 102 de ala, una superficie 110 superior, una superficie 120 inferior, el borde 130 anterior y el borde 140 posterior. La envergadura del ala se mide mediante la distancia entre sus puntas. El ala 100 puede ser recta o doblada formando una comba tal como se muestra en la figura 1. La curvatura negativa, es decir, descendente, del ala 100 mostrada en la figura 1 puede ser beneficiosa cuando se colocan células solares fotovoltaicas (PV) en su superficie 110 superior, ya que se evita el sombreado cruzado desde diferentes partes del ala o una aerestructura que incluye en general todas las otras partes de una aeronave. En general, la altura del borde anterior es mucho mayor que la del borde posterior. El perfil aerodinámico, es decir, la sección transversal del ala, puede ser constante o variable por la envergadura. Cuando varía, el perfil aerodinámico puede variar de manera monótona o no monótona. Por ejemplo, puede ser preferente tener un perfil más grueso (por ejemplo, de superior a inferior) y más ancho (por ejemplo, de borde anterior a borde posterior) en la porción central del ala y un perfil más estrecho y más delgado en la porción más cerca de las puntas de ala. El ala 100 también puede componerse de diversas secciones 150 distintas. Las secciones 150 pueden ser por ejemplo secciones rectas, es decir, donde el borde anterior puede seguir una línea recta, y pueden unirse entre sí en un ángulo de manera que al juntarse las secciones 150 forman el ala 100. La figura 1 muestra 12 secciones 150 idénticas, que forman una forma de ala combada variable de manera fluida. De hecho, las secciones 150 no idénticas también pueden usarse. La superficie superior de cada sección 150 puede incorporar células o módulos 160 PV. En este caso, al menos algunas y preferentemente todas las superficies solares, incluyendo la superficie 110 superior, son superficies donde la curvatura gaussiana en cualquier punto de superficie es igual a cero, por lo que pueden producirse a partir de una superficie plana y llana mediante la flexión sin estrecharse o comprimirse (los ejemplos de tales superficies incluyen superficies planas, cilíndricas y cónicas). Esto simplifica en gran medida la unión o incorporación de células PV en estas superficies, que pueden doblarse, pero normalmente no estirarse. Las células 160 PV pueden cubrir la superficie alar completamente o parcialmente, estando este último caso mostrado en la figura 1.

El ala 100 puede fabricarse usando una gama de diversos materiales ligeros y diseños, incluyendo pero sin limitarse a plástico, papeles metalizados, fibras de carbono, espumas, telas, materiales compuestos, etc. El ala solar puede producirse usando un enfoque híbrido, donde un número de diferentes materiales se combinan ventajosamente para producir una única ala ligera. Generalmente, los materiales ligeros son aquellos materiales que pueden proporcionar un área alar relativamente grande con poco peso del ala, donde el área alar se mide desde la proyección alar sobre un plano horizontal en un ángulo de ataque cero. En otras palabras, los materiales ligeros pueden lograr una carga de ala baja, donde la carga de ala se define como la relación del peso de ala respecto a su área. Por ejemplo, las alas con cargas de menos de aproximadamente 5 kg/m^2 , por ejemplo, desde aproximadamente $2,5$ a 5 kg/m^2 y preferentemente menos de aproximadamente 2 kg/m^2 , por ejemplo, desde aproximadamente 1 a 2 kg/m^2 pueden considerarse ligeras. Para lograr o mejorar las características ligeras, el ala puede fabricarse por ejemplo hueca o delgada. Por ejemplo, un ala solar o algunas de sus secciones pueden producirse a partir de una lámina plana y fina (por ejemplo, una lámina de espuma de polipropileno expandido) doblándola para formar un perfil aerodinámico específico. La sección transversal del ala o su perfil pueden corresponderse con perfiles aerodinámicos típicos. Algunos perfiles aerodinámicos son más aerodinámicamente eficaces que otros perfiles y de esta manera pueden lograr mayores coeficientes de elevación mientras que mantienen bajos coeficientes de arrastre. Es preferente usar diseños de perfil alar que estén optimizados específicamente para una mejor duración y mayor elevación, especialmente en números de Reynolds pequeños menores de 300 000. Por ejemplo, los perfiles alares Liebeck, que se caracterizan normalmente por grandes coeficientes de elevación, pueden usarse ventajosamente para producir un ala solar ligera.

El ala solar puede incluir otros elementos aerodinámicos que pueden incrementar o modificar de otra manera los coeficientes de elevación y arrastre del ala solar. Estos elementos de ala adicionales pueden ser fijos o móviles. Los elementos móviles por ejemplo pueden incluir listones y alerones que pueden cambiar arbitrariamente la posición de los bordes anterior y posterior, respectivamente, y de esta manera incrementar o disminuir el coeficiente de elevación del ala. Los alerones también pueden usarse para controlar el vuelo de una aeronave y cambiar los ángulos de cabeceo, alabeo y guiñada. Las características adicionales pueden incluir aberturas de alas fijas para incrementar el coeficiente de elevación, generadores de vórtice y otros. En particular, las aberturas de alas fijas pueden extender la parte sustancial del ala, seccionando de esta manera esencialmente el ala en múltiples alas. Su uso puede incrementar significativamente el coeficiente de elevación, incluso más allá del límite teórico de aproximadamente 3 que puede lograrse con una única ala sólida.

Las alas solares pueden tener diversas formas que son diferentes de la forma mostrada en la figura 1. Por ejemplo, la figura 10 muestra un número de diferentes ejemplos de formas de ala solar curvada que pueden ser adecuadas

para aplicaciones VANT HALE: 1001 - ala rectangular recta, 1002 - ala de desviación delantera, 1003 - ala de desviación trasera, 1004 - ala de borde anterior redondo, 1005 - ala de borde posterior redondo y 1006 - ala de bordes anterior y posterior redondos. De hecho, otras formas y sus variaciones pueden usarse, incluyendo diversas configuraciones en el diseño de perfil del ala por la envergadura del ala, formas de arco de la comba del ala, puntas alares y bordes anterior y posterior.

Al menos algunas partes del ala 100 pueden ser estructuras que no soportan cargas y por consiguiente pueden flexionarse, doblarse, estirarse, plegarse, etc. El ala 100 puede comprender elementos estructurales adicionales que permiten que mantenga su forma y evitan la flexión, doblamiento, estiramiento, plegamiento etc., excesivos. Por ejemplo, la figura 2 muestra una sección transversal en vista delantera de un ala 200 solar, compuesta de varias secciones 250 unidas entre sí y formando un ala continuamente arqueada con forma combada. Las secciones 250 pueden ser rectas o curvadas. Al menos una porción de cada una o algunas secciones 250 y particularmente tales superficies que incorporan células PV pueden ser fijas, rígidas o no estirables, para evitar cualquier daño estructural y degradación en las células PV que pueden provocarse potencialmente mediante los movimientos mecánicos excesivos de estas células. Estas secciones también se unen al menos a un miembro 270 estructural adicional que se usa para sujetar las secciones en su lugar y mantener la forma general del ala. El miembro 270 estructural puede ser rígido o flexible, relajado o tenso, sólido o hueco, dependiendo del diseño de aerestructura general. Por ejemplo, puede ser una tubería de plástico ligera (o varias de ellas), formadas o dobladas para seguir una forma predeterminada del ala 200. Tal miembro o miembros estructurales también pueden seguir y mantener formas complejas, incluyendo formas y perfiles de ala tridimensionales. Por ejemplo, un esqueleto de ala semirrígido y ligero puede construirse usando polímeros mejorados de fibra de carbono, y su revestimiento puede fabricarse a partir de plástico duradero, tal como poliéster, etileno tetrafluoroetileno (ETFE), difluoruro de polivinilideno (PVDF) y otros, que son capaces de funcionar durante periodos extendidos de tiempo (de semanas a años) sin un deterioro significativo de sus propiedades físicas. Además, algunos polímeros y tejidos sintéticos que se sabe que son susceptibles a luz UV también pueden usarse cuando su durabilidad puede mejorar cubriéndolos con coberturas protectoras de UV. La unión entre diferentes secciones 250 puede ser articulada o de otra manera flexible para permitir el movimiento relativo entre estas secciones sin estiramiento o tensión de las superficies con células PV integradas. Además de o en lugar de medios pasivos para mantener la forma del ala, tales como elementos suplementarios de refuerzo de la estructura, pueden usarse medios activos para mantener la forma del ala. Por ejemplo, el borde anterior o la superficie inferior del ala pueden tener una abertura para proporcionar una entrada para el aire circundante dentro del ala y lograr una presión exterior positiva contra las superficies del ala. Una manera alternativa de lograr un exceso de presión de aire dentro del ala para ayudar a que mantenga su forma puede ser usando una bomba de aire. En este caso las superficies solares pueden cerrarse completamente minimizando el arrastre parasitario, mientras que la bomba puede colocarse dentro del ala u otras partes de la aerestructura descrita a continuación.

El arco o la comba de un ala curvada (es decir, un ala combada) puede ser circular, elíptica, poligonal y otras líneas más complejas con forma combada. Por ejemplo un ala combada puede construirse a partir de una única sección elípticamente curvada. Como alternativa, un ala combada puede construirse a partir de varias secciones rectas unidas como se muestra a continuación. Además, el ala solar puede retorcerse, por lo que el perfil del ala puede variar su ángulo con respecto al eje horizontal por la envergadura del ala. Además, la forma del ala puede tener diversas variaciones no monótonas en sus perfiles aerodinámicos, incluyendo variaciones en la cuerda del perfil alar, espesor, cámara y otros parámetros. Por ejemplo, la figura 11 muestra ejemplos ilustrativos de tales variaciones no monótonas y periódicas que tienen como resultado modificaciones de forma en el borde anterior, borde posterior o ambos bordes: 1011 - ala de borde anterior nudoso/borde posterior recto, 1012 - ala de borde anterior nudoso/borde posterior redondo, 1013 - ala de borde anterior/posterior nudoso. Estas variaciones monótonas y no monótonas de forma de ala pueden mejorar las características aerodinámicas de un ala solar y hacer que sea incluso más adecuada para aplicaciones VANT HALE. Tales mejoras incluyen el incremento en el coeficiente de elevación aerodinámico, eficacia aerodinámica, duración del vuelo, ángulo de bloqueo, estabilidad de vuelo, facilidad de control de vuelo, seguridad y otros.

Las figuras 12-15 muestran realizaciones ejemplares de alas solares comprendidas de varias secciones de ala recta. Estos ejemplos son por supuesto los diseños de inicio básicos para un ala arqueada o combada y otras formas de ala más complejas y más elaboradas pueden producirse basándose en ellos. La figura 12 muestra un ala 1200 que comprende secciones 1210 y 1220 de ala que se conectan por medio de una articulación 1225. Al variar un ángulo entre la sección 1210 y 1220 en la articulación 1215, el ala 1200 puede adoptar diversas formas en arco triangular (también existen variantes de formas combadas). Este ángulo puede estar fijo o cambiar durante el vuelo, por lo que el ángulo de 180 grados produce un ala recta y los ángulos mayores de 180 grados producen formas de arco invertidas con secciones de ala de inclinación ascendente. La figura 13 muestra un ala 1300 que comprende tres secciones 1310, 1320 y 1330 de ala que se conectan por medio de articulaciones 1315 y 1325. Las articulaciones 1315 y 1325 flexibles pueden producir ángulos arbitrarios entre secciones entre 1310, 1320 y 1330, dando como resultado diversas formas de ala combada trapezoidal. Generalmente, se prefiere un diseño de ala simétrica donde la sección de ala central es horizontal. La figura 14 muestra un ala 1400 que comprende cuatro secciones 1410, 1420, 1430 y 1440 de ala que se conectan por medio de articulaciones 1415, 1425 y 1435. Las articulaciones 1415, 1425 y 1435 flexibles también pueden producir ángulos arbitrarios entre diferentes secciones de ala y pueden permanecer constantes o variables. La variabilidad del ángulo entre secciones de ala puede ser útil para almacenar

y transportar el ala, y también la funcionalidad añadida durante el vuelo tal como se muestra a continuación. Finalmente, la figura 15 muestra un ala 1500 que comprende cinco secciones 1510, 1520, 1530, 1540 y 1550 de ala que se conectan por medio de articulaciones 1515, 1525, 1535 y 1545. En este ejemplo, los ángulos entre las secciones de ala pueden ser menores de 180 grados (descendentes) o mayores de 180 grados (ascendentes) al mismo tiempo, por lo que las secciones 1510 y 1550 de ala terminal pueden ser horizontales (o incluso de inclinación ascendente).

Las alas solares descritas pueden tener una forma simétrica o asimétrica. En el primer caso, un ala puede tener un plano de simetría, tal como simetría de reflejo, por ejemplo un plano vertical que pasa a través del centro de un ala (tal como se muestra en las figuras 1, 2). Un ala simétrica puede tener otros planos simétricos, ejes y transformaciones de simetría correspondientes. Como alternativa, un ala puede no tener alguna simetría específica; los ejemplos de alas asimétricas se proporcionan en la figura 17 (solo se muestran sus vistas delanteras). En estos casos, el ala 1710 puede consistir en dos secciones 1711 y 1712 rectas y desiguales en ángulo entre sí. Por otro lado, el ala 1720 puede comprender cinco secciones 1721, 1722, 1723, 1724 y 1725 restas iguales que se inclinan en diferentes ángulos entre sí. El ala 1730 puede tener una forma simétrica lisa tal como se muestra en la figura 17, que puede construirse a partir de una única sección o múltiples secciones curvadas. Además, la figura 18 muestra un ala solar que puede cambiar su forma desde la forma 1810 simétrica a la forma 1820 asimétrica. El ala en este caso está compuesta de tres secciones 1811, 1812 y 1813 rectas, por lo que la forma del ala puede variar cambiando los ángulos entre secciones. Las alas solares asimétricas en general pueden tener ventajas en la recogida de energía solar frente a alas solares simétricas al poder inclinarse más en sus superficies hacia el sol y de esta manera lograr una mayor producción de energía.

Por supuesto, otras formas de ala pueden construirse basándose en estos principios, por ejemplo incrementando el número de secciones de ala, variando ángulos entre secciones y también cambiando el tamaño y forma de secciones individuales (por ejemplo, usando secciones curvadas).

De acuerdo con realizaciones de la presente invención, se proporciona un aparato VANT alimentado por energía solar, una aeronave 300 solar, que es útil para el vuelo no tripulado de larga duración, tal como se muestra en la figura 3. Además, la figura 4 muestra las vistas trasera (a) y lateral (b) del mismo aparato. La aeronave 300 solar comprende un ala 310 solar, riostras 320, un fuselaje (o una cápsula) 330, una hélice 340 y una cola 350. El ala 310 solar puede ser similar al ala 100 en la figura 1 con su superficie superior cubierta con células PV. El fuselaje 330 se sujeta mediante varias riostras 320 ligeras, que pueden ser rígidas o flexibles. Por ejemplo, estas riostras pueden fabricarse a partir de alambres, tuberías, bandas, líneas, cuerdas o cordones. El fuselaje 330 se usa para alojar y contener todos los elementos primarios del sistema de energía, motor eléctrico, sistema electrónico de control de vuelo, comunicaciones, carga útil, etc. El sistema de energía o el tren de potencia de la aeronave incluyen almacenamiento de energía eléctrica, tal como baterías y células de combustible regenerativas, que pueden representar una porción sustancial del peso de la aeronave. Como resultado, la mayoría del peso de la aeronave 300 está principalmente en el peso del fuselaje 330, por lo que el ala 310 puede ser muy fina o hueca y de esta manera muy ligera. La forma del fuselaje es aerodinámica y alargada, para minimizar la resistencia del aire y el arrastre parasitario. La hélice 340, como un elemento del sistema de propulsión de la aeronave, proporciona medios para el avance delantero necesario para permanecer en el aire. La hélice puede ubicarse en frente de la aeronave como una hélice de tracción (como es el caso en la figura 3), o puede colocarse detrás de la aeronave como una hélice de empuje. Como alternativa, esta puede colocarse en la parte intermedia del fuselaje. En cada caso, la hélice se coloca sustancialmente lejos del ala 310 (a una distancia mayor que la cuerda del ala por debajo del ala) para evitar interferir con el flujo de aire sobre el ala y de esta manera cambiar sus características aerodinámicas. Este diseño de VANT solar se diferencia mucho de los diseños de VANT solar existentes, en el que el tren de potencia y los sistemas de propulsión se integran en o se colocan juntos con el ala (tal como por ejemplo en el VANT Zephyr de Qinetiq o Helios de la NASA). La forma de la hélice y el tamaño pueden configurarse específicamente para un vuelo de alta altitud y baja velocidad típico en aplicaciones VANT HALE. Una sección 350 de cola opcional proporciona un mecanismo para el control de vuelo y ayuda a que la aeronave gire y cambie la altitud. Sin embargo, el VANT 300 solar también puede ser capaz de girar y cambiar la altitud sin la cola 350 usando mecanismos de control de vuelo alternativos, por ejemplo variando la forma del ala 310 o cambiando la posición del fuselaje por debajo del ala. La sección de cola, es decir, un empenaje, puede incluir un estabilizador horizontal fijo con un elevador móvil y un estabilizador vertical con un timón, que pueden usarse como superficies de control de vuelo como en un avión típico. Por supuesto, otras configuraciones de empenaje diferentes a la mostrada en la figura 3 pueden usarse en los VANT solares.

La aeronave 300 es particularmente útil para vuelos no pilotados de larga duración por al menos dos razones. Esta proporciona una gran área superficial para colocar células solares en su superficie superior de ala, lo que proporciona una exposición a la luz solar sin obstruir en gran medida. En el caso de un ala combada y curvada, las células solares PV pueden orientarse en diferentes ángulos y de esta manera exponerse a una cantidad suficiente de luz solar durante el día desde el amanecer al atardecer. De esta manera, no existe ninguna necesidad de superficies adicionales para células PV en planos horizontales o verticales. Además, ya que el ala 310 puede ser una estructura que no soporta cargas, puede fabricarse extremadamente ligera (por ejemplo, con una carga de ala menor de aproximadamente $0,5\text{-}1\text{ kg/m}^2$). La forma apropiada del ala puede mantenerse durante el vuelo mediante las fuerzas combinadas desde el flujo de aire, las riostras 320 y otros elementos estructurales opcionales en caso necesario (por ejemplo, el miembro 270 de ala en la figura 2). En la forma más simple, el ala 310 puede estar hueca

y fabricarse por completo a partir de tejido ligero sin ninguna estructura rígida, por lo que su forma se mantiene mediante fuerzas combinadas a partir de (1) riostras 320 de suspensión, (2) aire comprimido dentro del ala que entra a través de conductos de ventilación en el borde anterior y/o la superficie inferior del ala y (3) el aire que fluye fuera del ala. El ala 310 en este caso puede ser similar a un ala de parapente, sin embargo, esta similitud es superficial.

5 Un velamen de parapente o paracaídas normal no es adecuado como superficie de montaje para células solares, ya que es demasiado flexible y frágil. Las superficies de un ala solar que contienen células solares tienen que ser lo suficientemente rígidas para mantener su peso e integridad. De esta manera, un ala de parapente y su diseño no pueden aplicarse directamente al diseño de un ala solar adecuada para aplicaciones VANT. El ala 310 solar no tiene que ser plegable y compacta como los velámenes de paracaídas en alas de parapente normales y en su lugar puede ser al menos en parte rígida. Al menos algunos o todos los elementos en la construcción del ala 310 pueden fabricarse a partir de materiales rígidos ligeros, por ejemplo, películas de plástico, fibra de carbono, materiales compuestos y otros. Además, las superficies sólidas (por ejemplo, la superficie superior de una lámina de espuma) puede proporcionarse para unir y sujetar fiablemente las células PV a ellas; estas superficies pueden ser solo capaces de flexionarse dentro de límites de flexión seguros de una célula PV sin romperse debido a su contracción o expansión. Además, las alas de parapente y velámenes se fabrican principalmente a partir de células abiertas, permitiendo que el aire pase e infle el velamen, lo que degrada severamente la aerodinámica del ala y puede hacer que no sea adecuada para aplicaciones VANT. El ala solar en comparación no tiene que tener células abiertas y en su lugar puede usar únicamente secciones fijas, rígidas o semirrígidas para mantener su perfil y características aerodinámicas superiores. Además, las alas de parapente se fabrican a partir de poliéster o tela de nailon, que no son duraderas y son susceptibles a la degradación de sus propiedades mecánicas debido a la exposición a la luz solar y condiciones climáticas adversas con vidas útiles operativas normales de 300 horas o menos. Al contrario, las alas solares tienen que ser altamente duraderas y poder funcionar durante varios meses o incluso años.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona otra aeronave 500 alimentada por energía solar que se optimiza para los vuelos no tripulados de larga duración, tal como se muestra en la figura 5. La aeronave 500 solar comprende un ala 510 principal, líneas de suspensión o riostras 520, un ala 530 secundaria y una hélice 540. El ala 510 principal puede ser similar al ala 100 en la figura 1 con su superficie superior cubierta con células PV. El ala 530 secundaria se sujeta mediante varias riostras 520 ligeras, que pueden ser rígidas o flexibles. Por ejemplo, estas riostras pueden fabricarse a partir de alambres, tuberías, bandas, líneas, cuerdas o cordones o similares. El ala 530 secundaria es similar en su funcionalidad al fuselaje 330 de la aeronave 300 en que se usa para alojar todos los elementos primarios del sistema de energía de la aeronave, su motor eléctrico, sistema electrónico de control de vuelo, comunicaciones, cargas útiles, etc. Además, el ala 530 secundaria puede proporcionar una elevación aerodinámica adicional debido a la forma de su perfil alar y reducir de esta manera la carga de ala en el ala 510 principal. Ya que la aeronave 500 tiene dos alas independientes diferentes, puede considerarse un biplano. Sin embargo, la elevación del ala secundaria por sí sola es insuficiente para hacer que vuele, por lo que las riostras 520 pueden estar bajo tensión de tracción (donde el ala 510 tira hacia arriba y el ala 530 tira hacia abajo). La forma del ala secundaria puede ser recta, doblada o curvada tal como se muestra en la figura 5. Además, como una opción, el ala 530 secundaria también puede cubrirse con células PV.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona otra aeronave 1600 alimentada por energía solar que es adecuada para vuelos no tripulados de larga duración, tal como se muestra en la Figura 16. La aeronave 1600 solar comprende un ala 1610 solar, riostras 1621 y 1622 y fuselajes 1631 y 1632. El ala 610 solar puede ser similar al ala 100 en la Figura 1 con su superficie superior cubierta con células PV. Las riostras 1621 y 1622 pueden ser iguales o diferentes; estas pueden ser flexibles, como por ejemplo alambres o cordones, o rígidas como por ejemplo varillas o tubos. Los fuselajes 1631 y 1632 contienen motores eléctricos, jaulas protectoras para hélices, componentes de tren de potencia y otras partes electrónicas de la aeronave. Las hélices en este caso, en lugar de sobresalir del fuselaje, encajan sobre el fuselaje. Los dos motores pueden controlarse independientemente de dos controladores de velocidad electrónicos (ESC) diferentes para proporcionar un control eficaz del ángulo de guiñada.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona otra aeronave 600 alimentada por energía solar que es atractiva para los vuelos no tripulados de larga duración, tal como se muestra en la Figura 6. La aeronave 600 solar comprende un ala 610 solar, riostras 620, fuselajes 631 y 632 y hélices 641 y 642. El ala 610 solar puede ser similar al ala 100 en la Figura 1 con su superficie superior cubierta con células PV. El ala 610 se sujeta doblada como una comba mediante al menos una riostra 620 ligera, que puede ser rígida o flexible. Por ejemplo, esta riostra puede fabricarse a partir de alambres, tubos, tuberías, bandas, líneas, cuerdas, cordones o similares. La riostra 620 puede estar moldeada aerodinámicamente o redondeada mediante una envoltura aerodinámica para reducir el arrastre parasitario. La riostra 620 también puede moldearse como un ala secundaria para proporcionar elevación adicional. La riostra 620 puede estar bajo tensión de tracción, mientras que algunas partes del ala 610 pueden estar bajo tensión de compresión. La curvatura del ala 610 y la tensión inducida proporcionan rigidez estructural a toda la aeroestructura de la aeronave 600. Los fuselajes 631 y 632 pueden unirse directamente a las puntas opuestas del ala 610, respectivamente. Como alternativa, uno o más fuselajes pueden colgar en el ala mediante las riostras de manera similar a aquellos en la aeronave mostrados en las Figuras 3-5. Estos fuselajes pueden usarse para alojar el tren de potencia, los controles de vuelo, el sistema electrónico, motores, cargas útiles y otros componentes de un sistema aéreo completo. En este caso, dos hélices 641 y 642 en lugar de una pueden usarse para la propulsión, lo que incrementa la fiabilidad del sistema, la seguridad y la

flexibilidad. La aeronave de múltiples motores (con dos motores eléctricos y hélices en este caso) también puede tener una manejabilidad adicional, donde un avance diferencial entre diferentes motores puede usarse para el giro de la aeronave y otras maniobras de vuelo. Otras configuraciones con el número de motores mayor de dos son posibles también. Unos elementos adicionales pueden incluirse en la aeronave 600, tal como secciones de cola y alerones de ala para maniobrar, sistemas neumáticos para controles de vuelo, células de combustible para almacenamiento de energía adicional, dispositivos alternativos de búsqueda de energía, mecanismos de aterrizaje, luces de navegación, etc. Por ejemplo, un empenaje o una parte del mismo (por ejemplo, estabilizador vertical) puede unirse a cada fuselaje en la aeronave 600.

Las aeronaves solares antes descritas tienen varias características comunes, incluyendo un ala solar grande principal y ligera preferentemente combada de forma descendente y el centro de gravedad que se ubica sustancialmente por debajo del ala. El peso principal de una aeronave que llega principalmente desde el tren de potencia y el sistema de propulsión se contiene dentro de una cápsula o múltiples fuselajes por debajo del ala principal. De esta manera, los centros de gravedad para las estructuras mostradas en las Figuras 3, 5 y 6 se colocan por debajo del punto más inferior de sus respectivas alas principales. Esta característica incrementa la estabilidad de una aeronave solar, particularmente alrededor de sus ejes de cabeceo y alabeo, y simplifica en gran medida su control de vuelo. Además, el ala solar se caracteriza mediante al menos dos puntos de referencia: (1) un centro de presión, que es el punto donde se aplican las fuerzas aerodinámicas resultantes y (2) un punto neutral, que es el punto de referencia para el que el momento de cabeceo no depende del ángulo de ataque. Por ejemplo, en un perfil alar típico el punto neutral puede ser el 25 % de la longitud de la cuerda lejos del borde anterior. Los fuselajes pueden colocarse con respecto al ala por lo que el centro de gravedad está en frente del punto neutral del ala. El centro de gravedad también puede estar por debajo del punto neutral del ala, tal como se ha analizado antes. Tal colocación del centro de gravedad proporciona estabilidad aerodinámica y también simplifica el control de vuelo y el diseño de tal aeronave. En el caso de un fallo del motor, esta aeronave solar puede permanecer en el aire y deslizarse con seguridad y de manera controlable y aterrizar sin daños en áreas designadas, evitando de esta manera accidentes peligrosos potencialmente y asegurando la seguridad y protección públicas. En algunos casos, todas o algunas partes de un ala principal y de esta manera toda la aeronave pueden doblarse o plegarse, lo que puede simplificar el transporte y el montaje de la aeronave en el suelo y su lanzamiento.

El tamaño de la aeronave solar se determina mediante las exigencias de una aplicación específica, en particular el peso de una carga útil y sus requisitos de energía. Un peso mayor de un avión necesita un mayor avance desde el sistema de propulsión y de esta manera más energía eléctrica para mantener un nivel de vuelo. El peso de una aeronave solar puede variar desde 0,5 kg a más de 300 kg, necesitando energía para volar en el intervalo desde algunos vatios a varios kilovatios. Ya que la mayoría o toda la energía a bordo de la aeronave solar se produce desde la luz solar, para una carga útil de mayor energía se necesita un área alar de superficie mayor poblada de células PV. Por ejemplo, una aplicación que necesita un consumo promedio de energía de 1 kW puede necesitar un VANT solar con al menos 40 m² de área de célula PV, asumiendo un 10 % de células PV eficaces. En este caso, un ala solar puede tener una envergadura de 20 metros y una cuerda promedia de 2 m.

Pueden usarse diversas células PV en la aeronave solar antes descrita, incluyendo células solares monocristalinas, policristalinas y células amorfas de película fina, células solares orgánicas, células PV térmicas y otras. El rendimiento de las células PV puede caracterizarse y evaluarse mediante diferentes medidas, incluyendo su eficacia de conversión de energía y energía específica. La eficacia de una célula es la relación de la energía convertida en electricidad respecto a la cantidad de energía solar incidente, mientras que la energía específica es la cantidad de energía eléctrica convertida por peso unitario de una célula. En general, las aplicaciones VANT solares favorecen a las tecnologías PV con mayores eficacias y mayor energía específica, lo que a su vez disminuye el peso de la aeronave y el área superficial de ala necesaria. Además, para fines prácticos también es necesario minimizar el coste por vatio de la célula solar de electricidad generada, por lo que los costes de fabricación PV tienden a ser razonablemente bajos.

Actualmente, las células solares más eficaces con eficacia de más del 30 % se basan en GaAs cultivado epitaxialmente y semiconductores III-V relacionados. Las células solares III-V crecen en sustratos de obleas relativamente gruesos y pesados, teniendo como resultado una energía específica baja. Para incrementar su energía específica y hacer que sean adecuadas para aplicaciones VANT, las células solares III-V pueden elevarse del sustrato primario y transferirse a sustratos secundarios mucho más ligeros, tal como por ejemplo sustratos de poliimida. Si estas células pueden fabricarse en grandes volúmenes a un coste suficientemente bajo, sería una elección adecuada para VANT solares. Como alternativa, pueden usarse células solares de película fina fabricadas a partir de sustratos ligeros flexibles, tal como las fabricadas a partir de silicio amorfo, CdTe, CuInGaSe₂ (CIGS) y células similares. Las células de película fina típicas tienen una eficacia de aproximadamente el 10 %, estando las de mejor rendimiento en el intervalo de 10-15 %. Sin embargo, se espera que mejoren en el futuro. Estas células pueden fabricarse en papeles metalizados muy ligeros y películas de plástico a bajo coste. También es posible usar células solares orgánicas muy baratas, pero tales células tienen normalmente una eficacia menor del 5 % o menos, más susceptibles a la degradación inducida por UV y de esta manera menos favorables para su uso en una aeronave solar. La principal ventaja de la célula solar III-V, concretamente su alta eficacia, se debe a su diseño: las células III-V de alta eficacia son células de múltiples confluencias, mientras que la mayoría de células solares son células de una sola confluencia. Este diseño de células de múltiples confluencias también puede implementarse con materiales de película fina, basándose por ejemplo en compuestos de tipo CIGS, y proporcionar células solares de

múltiples confluencias de película fina y alta eficacia. Tales células podrían lograr potencialmente eficacias de aproximadamente el 30 % acercándose a las de las células solares III-V de alta eficacia, pero sustancialmente a un coste menor y de esta maneja mucho más prácticas y atractivas para aplicaciones VANT.

5 Las células PV pueden colocarse o integrarse en cualquier superficie de una aeronave solar, particularmente la superficie superior de sus alas y otras superficies orientadas hacia arriba, que permanecen expuestas a la luz directa del sol durante casi todo el día. Las superficies en ángulo y particularmente las superficies verticales o casi verticales son atractivas durante períodos cuando el sol está cerca del horizonte, por ejemplo, en ocasos y amaneceres o cuando se vuela en las regiones polares. También puede ser ventajoso colocar células PV en las secciones orientadas hacia abajo, tal como las superficies inferiores de las alas, que pueden después recoger la luz solar reflejada y dispersa así como emisiones térmicas desde la superficie de la Tierra y las nubes. El albedo de la superficie terrestre puede estar en el intervalo de 0,1-0,9, garantizando que las células PV solares orientadas hacia abajo puedan recoger al menos el 10 % de energía solar adicional. Además, las células PV térmicas pueden añadirse e integrarse en las superficies solares orientadas hacia abajo para recoger emisiones térmicas en el intervalo espectral infrarrojo desde superficies calientes y templadas por debajo. Las células PV pueden laminarse, pegarse, soldarse o unirse de otra manera a estas superficies, o pueden integrarse de manera íntima en la superficie alar volviéndose una parte integral de una aerestructura y realizando otras funciones, tales como mantener la integridad estructural, proporcionar elevación de aire, evitar la formación de hielo, tomar parte en comunicación RF, y otras. Como alternativa, las células PV pueden colocarse dentro de alas, siempre y cuando al menos algunas de sus superficies y el revestimiento del ala sean transparentes a la luz solar. En este caso, las células PV pueden separarse sustancialmente de las superficies alares y de esta manera protegerse mejor del entorno y quedar libres de tensiones mecánicas experimentadas por el revestimiento del ala durante el vuelo. También en este caso, pueden usarse células PV bifaciales que son capaces de recoger emisiones desde múltiples direcciones, incluyendo luz solar directa desde por encima del ala y la luz solar dispersa desde por debajo del ala.

25 Una célula PV típica flexible y que no puede estirarse puede adaptarse a una superficie curvada siguiendo la superficie de un plano doblado, es decir, una superficie con una curvatura gaussiana cero, como la de un cilindro o un cono. Por tanto, es preferente diseñar un ala solar que contenga principalmente superficies que tienen curvaturas cónicas o cilíndricas generalizadas. Por ejemplo, el ala 100 combada en la figura 1 puede construirse a partir de varias secciones 150 rectas, que a su vez comprenden solo curvaturas cilíndricas, generalizadas y típicas de un perfil alar, rectangular y normal y de esta manera permiten la integración directa de células PV en el revestimiento del ala.

35 Las células PV pueden estar dispuestas en grupos, tales como cadenas o agrupaciones, que se interconectan entre sí eléctricamente en serie y/o en paralelo, proporcionando salidas comunes a sistemas electrónicos de gestión de energía, tal como cargadores de batería, inversores, convertidores y otros. Cada grupo de células PV puede comportarse independientemente de todos los otros grupos, proporcionando un conjunto de tensiones de salida de CC (corriente continua) y corrientes que pueden optimizarse independientemente y de esta manera lograr una conversión de energía máxima para cualquier condición operativa determinada, usando dispositivos MPPT (rastreo de punto de energía máxima). Por ejemplo, las células o módulos 160 PV en cada sección 150 de ala en la figura 1 pueden organizarse en un grupo PV asociado con esa sección, por lo que el ala 100 puede comprender 12 grupos PV independientes. Cada grupo de células PV puede asociarse con un inversor específico, dedicado a la optimización y conversión de energía CC a partir de un grupo PV particular en energía CA y proporcionar un bus CA (corriente alterna) común. El bus común que funciona a una tensión común, regulada y preestablecida, en general, puede ser un bus CA, un bus CC o un híbrido que proporciona tanto energía CA como CC a diversos componentes en el tren de potencia de una aeronave.

45 Los VANT HALE pueden experimentar una variedad de condiciones de iluminación cuando durante el vuelo, donde la luz solar puede llegar desde diferentes direcciones. Una aeronave no tripulada alimentada por energía solar puede tener una o más alas con alas solares rectas o curvadas. Cuando el sol está cerca del horizonte, un ala solar curvada, tal como el ala 100 combada arqueada, puede recoger más energía solar que en un ala plana. Tales condiciones operativas ocurren frecuentemente, por ejemplo, en las horas tempranas o tardías del día cerca del amanecer y el ocaso o durante la mayor parte del día en regiones en altas latitudes. La figura 7 muestra gráficas de comparación de energía solar recogida mediante un ala solar curvada (línea continua) y un ala solar plana (línea discontinua) para una aeronave que vuela a 20 km de altitud y 40 de latitud en el hemisferio norte durante el solsticio de invierno. El ala solar curvada tiene una sección transversal de un semicírculo. Ambas alas solares tienen la misma longitud y de esta manera el mismo peso. El eje horizontal se corresponde con la hora local en horas, mientras que el eje vertical se corresponde con energía eléctrica normalizada producida a partir de luz solar mediante células PV que se integran en las alas. En este caso, el ala combada recoge aproximadamente un 40 % más de energía total desde el sol durante el día que el ala plana. De manera importante, el suministro de energía solar desde el ala combada es mucho más uniforme durante el curso del día que el de un ala plana fija. En general, siempre se da el caso de que un ala combada pueda proporcionar más energía solar justo después del amanecer y antes del ocaso. Como resultado, el inicio del vuelo alimentado por baterías para una aeronave solar con un ala combada puede retrasarse frente a una aeronave con un ala plana. Esta característica es muy atractiva, también, ya que puede reducir las exigencias operativas de baterías y conducir de esta manera a un peso menor para las baterías y toda la aeronave.

Queda claro a partir del anterior análisis que las posiciones altas de sol en el cielo con pequeños ángulos cenit favorecen el diseño del ala solar plana, mientras que las posiciones bajas del sol en el cielo con ángulos de cenit grandes (es decir, más cerca del horizonte) favorecen el diseño del ala combada. Un diseño de ala flexible puede beneficiarse de ambos de estos enfoques. En este caso, un ala solar puede ser capaz de cambiar su forma y transformarse en formas planas o curvadas. La figura 8 muestra una aeronave 800 solar flexible que es capaz de adoptar al menos dos configuraciones diferentes: una forma 801 de ala curvada y una forma 802 de ala plana. Esta aeronave puede comprender al menos un ala 810 flexible, riostras 820 móviles, un fuselaje 830 que contiene el motor, sistemas electrónicos, carga útil, etc., y una hélice 840 unida. El ala 810 puede flexionarse y doblarse sin cambios sustanciales en su forma en sección transversal y de esta manera sin cambios drásticos en la fuerza de elevación aerodinámica que proporciona. El cambio de forma del ala puede realizarse mediante el uso de riostras 820 móviles, por ejemplo la retracción de las riostras de borde dentro del fuselaje provocará que los bordes del ala se doblen formando un ala con forma de arco. La Figura 9 muestra otra aeronave 900 solar de cambio de forma que puede adoptar al menos dos formas diferentes: la forma 901 y la forma 902. La aeronave 900 comprende al menos un ala 910 solar flexible, al menos una riostra 920 móvil, al menos un fuselaje 930 (se muestran dos) y hélices 940 asociadas. El ala 910 puede combarse para producir formas arqueadas y diversos radios de curvatura, es decir, una forma 902 de ala más plana con un radio grande de curvatura y una forma 901 de ala más curvada con un radio pequeño de curvatura. Este cambio de forma puede realizarse con la ayuda de una riostra 920 móvil, que cuando se expande abre el ala 910 en una forma 902 más plana y que cuando se contrae dobla el ala 910 a una forma 901 más cerrada. Un accionador para la expansión y contracción de la riostra puede ubicarse dentro del fuselaje 930. Los requisitos más específicos para el cambio de forma del ala pueden producirse para diseños de ala específicos. Considerando por ejemplo el ala 1200 triangular, es preferente mantenerla en una posición plana, es decir, con el ángulo entre secciones 1210 y 1220 igual a cero, para el cenit solar menor de 60 grados. Sin embargo, en ángulos de cenit solar mayores de 60 grados, es preferente combar el ala en una forma triangular teniendo una de sus secciones normal con respecto al sol en caso posible, dando como resultado que el ángulo entre secciones 1210 y 1220 sea igual al doble del cenit solar. La comba del ala puede incrementarse hasta que se logra el máximo ángulo de punta alar (el ángulo entre el plano del ala en la punta y la superficie horizontal) cuando el ala combada ya no puede mantener un nivel de vuelo en una altitud constante. Los cambios específicos de forma de ala que optimizan la recogida de energía solar y los ángulos máximos de punta alar dependen generalmente del diseño de ala específico.

Los diseños de ala fija y flexible pueden beneficiarse de disponer las células PV en grupos o agrupaciones PV controladas de manera independiente. Pueden someterse diferentes partes de un ala solar u otras superficies de soporte de células a diferentes cantidades de irradiación solar conduciendo a la producción de diferentes energías y correspondientemente diferentes conjuntos de corrientes y tensiones en células PV asociadas con estas superficies. En este caso, es preferente interconectar al menos estas células PV usando protección de diodos contra la corriente inversa para evitar el cortocircuito eléctrico y la avería de las células iluminadas de manera insuficiente. Por ejemplo, varias células PV pueden conectarse eléctricamente en serie, mientras que los diodos invertidos se conectan en paralelo con al menos algunas de estas células PV. Esta disposición puede ser atractiva para las células PV orientadas hacia abajo (por ejemplo, aquellas en la superficie inferior de un ala) que recogen principalmente luz dispersa o emisiones térmicas desde la superficie terrestre o la atmósfera. Sin embargo, en general, tal interconexión de células no proporciona el mejor rendimiento de energía posible y tiene como resultado una eficacia menor del sistema PV. En lugar de o además de la protección de diodos, las células PV pueden conectarse eléctricamente en grupos separados, por lo que la cantidad de radiación solar a través del día que ha caído en las células PV individuales permanece casi idéntica o coincide estrechamente entre diferentes células dentro de cada grupo. De esta manera, las células PV dentro de cada grupo pueden ser coincidentes respecto a la corriente, la tensión, o ambas; por ejemplo, las células PV dentro de un grupo pueden conectarse en serie para producir una cadena PV. Esta disposición puede ser atractiva por ejemplo para la interconexión de células PV en la superficie superior de un ala combada. Las células PV en diferentes grupos en este caso no se interconectan directamente entre sí. En su lugar, la salida eléctrica de cada grupo PV puede convertirse en una forma diferente (por ejemplo, usando una conversión de CC a CA) y proporcionarse a un bus eléctrico común en el tren de potencia. La energía enviada desde un grupo PV puede variar drásticamente durante el día e incluso en escalas de tiempo más cortas dependiendo de la orientación de la aeronave con respecto al sol. De esta manera, el sistema electrónico de conversión de energía puede ser capaz de reaccionar a estos cambios y optimizar la recogida de energía en escalas de tiempo a partir de varias horas hasta menos de un segundo. Además, en tal sistema PV en cualquier momento determinado, algunos grupos PV pueden contribuir a una máxima salida de energía posible, otros grupos pueden contribuir a la energía cero (cuando están completamente sombreados respecto al sol), mientras que el resto pueden funcionar en cualquier lugar entre estas dos condiciones extremas. Uno o más controladores de sistema de energía pueden controlar y sincronizar el funcionamiento de los dispositivos de conversión de energía en cada grupo. Su funcionamiento en general debería coincidir con la carga eléctrica instantánea en el bus común, que tiene contribuciones desde un accionamiento de motor eléctrico, un cargador de batería, un sistema electrónico de control de vuelo, un sistema electrónico de comunicaciones, cargas útiles y otros componentes electrónicos potenciales en una aeronave.

En algunas realizaciones, se proporciona un procedimiento de construcción de una aeronave solar no tripulada de larga duración, tal como cualquiera de las anteriores. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un procedimiento de construcción de una aeronave solar no tripulada de larga duración puede incluir proporcionar un ala solar que tiene

una forma combada descendente y al menos una célula fotovoltaica, y proporcionar un fuselaje que contiene un motor eléctrico, una batería, un sistema electrónico de energía, controles de vuelo y comunicaciones. El fuselaje puede colocarse y unirse por debajo del ala solar usando una o más de una unión directa o una unión por medio de una riostra adicional.

- 5 La al menos una célula fotovoltaica puede comprender una pluralidad de células fotovoltaicas, y el procedimiento puede incluir además disponer la pluralidad de células fotovoltaicas en la pluralidad de grupos fotovoltaicos y proporcionar un dispositivo de conversión de energía separado para cada grupo fotovoltaico.

10 En algunas realizaciones, la al menos una célula fotovoltaica puede colocarse hacia arriba para recoger luz solar directa. En algunas realizaciones, la al menos una célula fotovoltaica puede colocarse hacia abajo para recoger luz solar dispersa.

En algunas realizaciones, el procedimiento puede incluir además conectar los grupos fotovoltaicos con un bus eléctrico común, y conectar el bus eléctrico común a una o más cargas eléctricas que comprenden al menos almacenamiento eléctrico y un motor eléctrico de manera que la energía eléctrica desde los grupos fotovoltaicos pueda distribuirse a las una o más cargas eléctricas por medio del bus eléctrico común.

- 15 En algunas realizaciones, el ala solar tiene la habilidad de enderezar y el procedimiento puede incluir además proporcionar accionadores que pueden funcionar para enderezar y doblar el ala solar hasta una forma deseada.

Aunque lo anterior se dirige a realizaciones de la presente invención, otras realizaciones adicionales de la invención pueden concebirse sin apartarse del alcance básico de la misma, definido mediante la expresión de las reivindicaciones adjuntas.

20

REIVINDICACIONES

1. Una aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) no tripulada alimentada por energía solar que comprende:
 - un ala (100, 200, 310, 610, 910, 1610) solar ligera que comprende un perfil aerodinámico, una superficie (110) superior, una superficie (120) inferior, un borde (130) anterior, un borde (140) posterior, puntas (101, 102) alares y al menos una célula fotovoltaica, en la que las superficies y los bordes siguen una forma combada de curvatura descendente negativa por una envergadura del ala durante el vuelo,
 - un fuselaje (330, 631, 632, 532, 930, 1631, 1632), y
 - una hélice (340, 641, 642, 840, 940), en la que el fuselaje se coloca por debajo del ala solar y contiene un motor eléctrico, una batería y un sistema electrónico,

caracterizada porque al menos las superficies alares con células fotovoltaicas unidas a ellas son superficies donde la curvatura gaussiana en cualquier punto de superficie es igual a cero.
2. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de la reivindicación 1, en la que la relación del peso del ala respecto al área superficial es menor de 5 kg/m^2 .
3. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que la curvatura gaussiana en cualquier punto de superficie de la superficie (110) superior del ala solar es igual a cero.
4. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el ala solar es asimétrica con respecto a cualquier plano de simetría vertical.
5. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el perfil aerodinámico del ala solar comprende una pluralidad de perfiles aerodinámicos que varían a través de la envergadura del ala.
6. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la al menos una célula fotovoltaica se fija a al menos una parte de la superficie (110) superior, la superficie (120) inferior, el borde (130) anterior o el borde (140) posterior.
7. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la al menos una célula fotovoltaica se coloca dentro de un volumen del ala solar, cuyos límites se definen mediante las superficies y bordes, en la que al menos una de las superficies es ópticamente transparente.
8. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la al menos una célula fotovoltaica comprende una pluralidad de células fotovoltaicas que se segregan en una pluralidad de grupos, en la que las células fotovoltaicas dentro de un grupo determinado se conectan eléctricamente entre sí.
9. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el ala solar comprende además una pluralidad de secciones, teniendo cada sección de la pluralidad de secciones una superficie (110) superior, una superficie (120) inferior, un borde (130) anterior y un borde (140) posterior, particularmente en la que la forma combada es intercambiable mediante ángulos variables entre las secciones de ala solar.
10. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que la forma combada del ala solar es una de formas de arco semicircular, semielíptica, o poligonal.
11. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que la forma combada del ala solar es intercambiable variando su radio de curvatura.
12. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en la que el fuselaje (330, 631, 632, 532, 930, 1631, 1632) se coloca para que la aeronave tenga un centro de gravedad que esté sustancialmente por debajo del ala solar durante el vuelo.
13. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en la que la al menos una célula fotovoltaica comprende una pluralidad de células fotovoltaicas dispuestas en una pluralidad de grupos fotovoltaicos y que comprende además una pluralidad de dispositivos de conversión de potencia respectivamente asociados con cada grupo fotovoltaico.
14. La aeronave (600, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en la que el fuselaje comprende una pluralidad de fuselajes (631, 632, 930, 1631, 1632) y la hélice comprende una pluralidad de hélices (641, 642, 940).
15. La aeronave (300, 500, 600, 800, 900, 1600) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende además al menos un accionador para realizar cambios en la forma del ala solar.

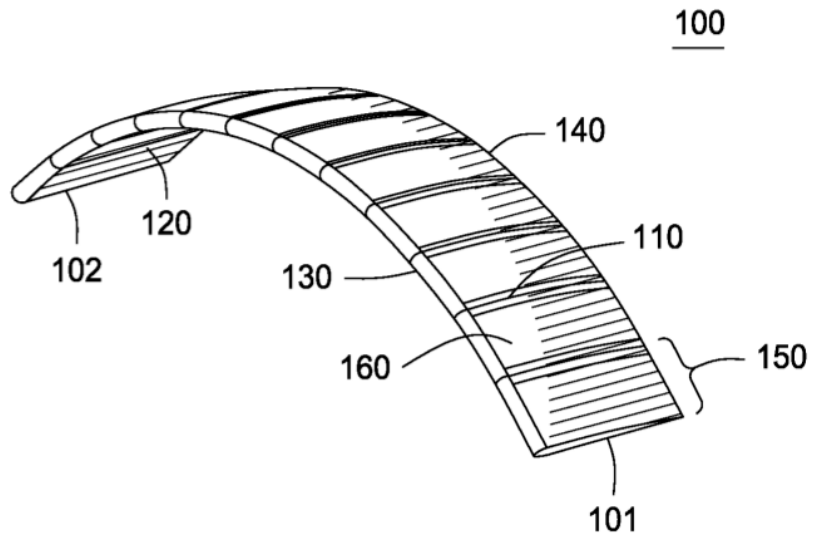


FIG. 1

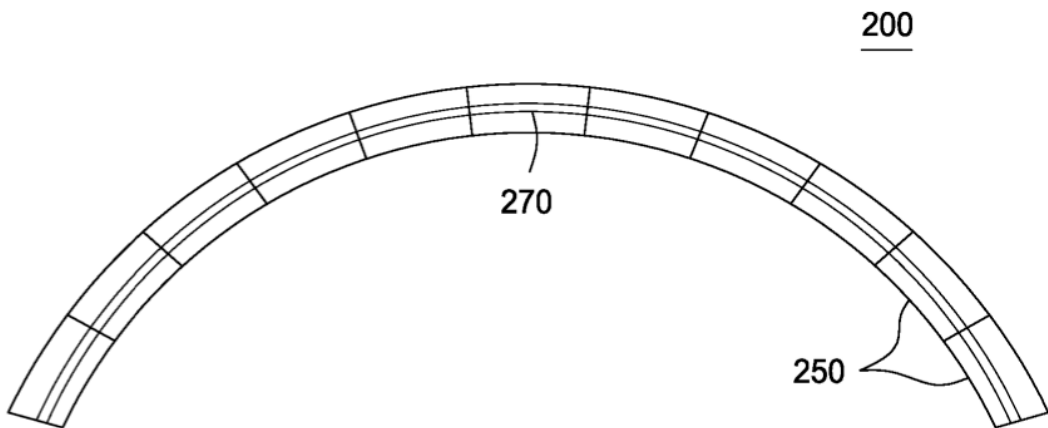


FIG. 2

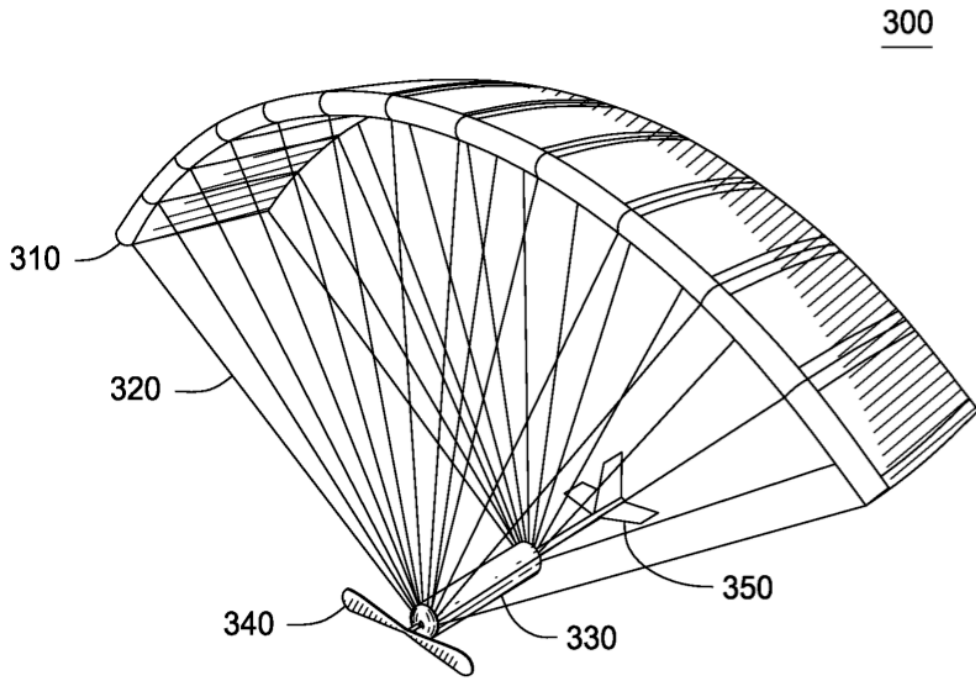
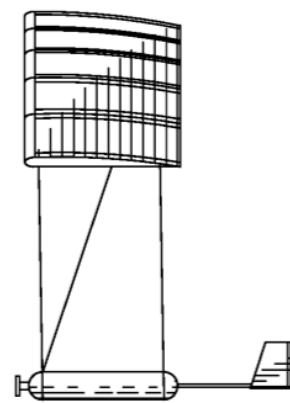
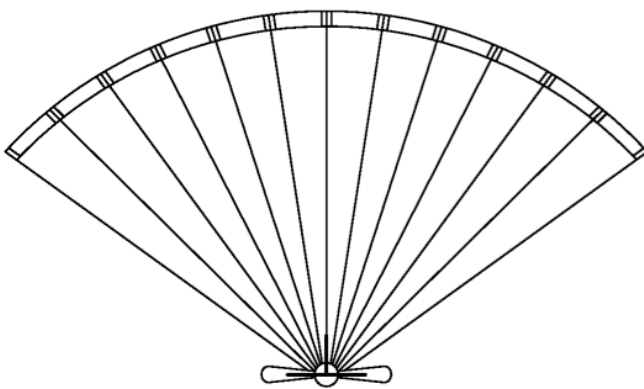


FIG. 3



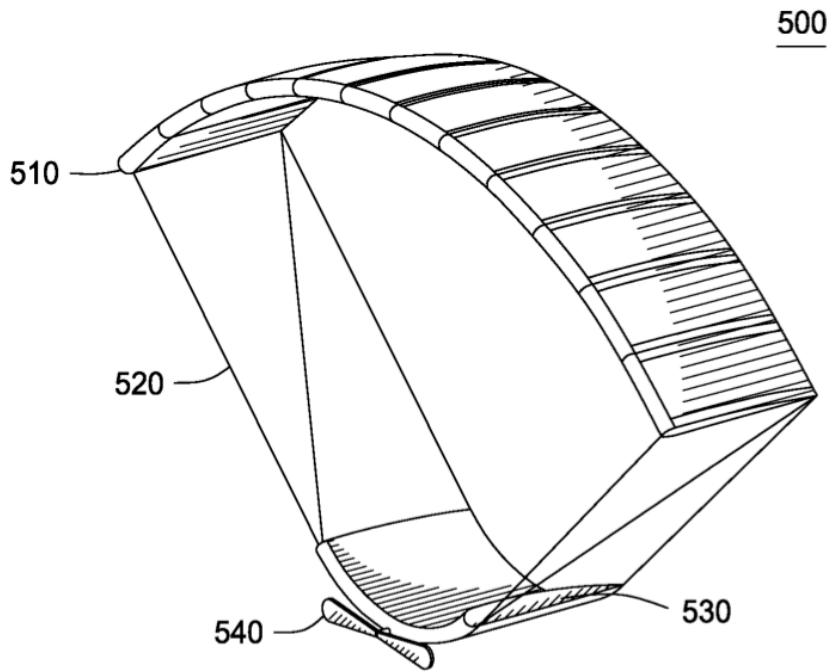


FIG. 5

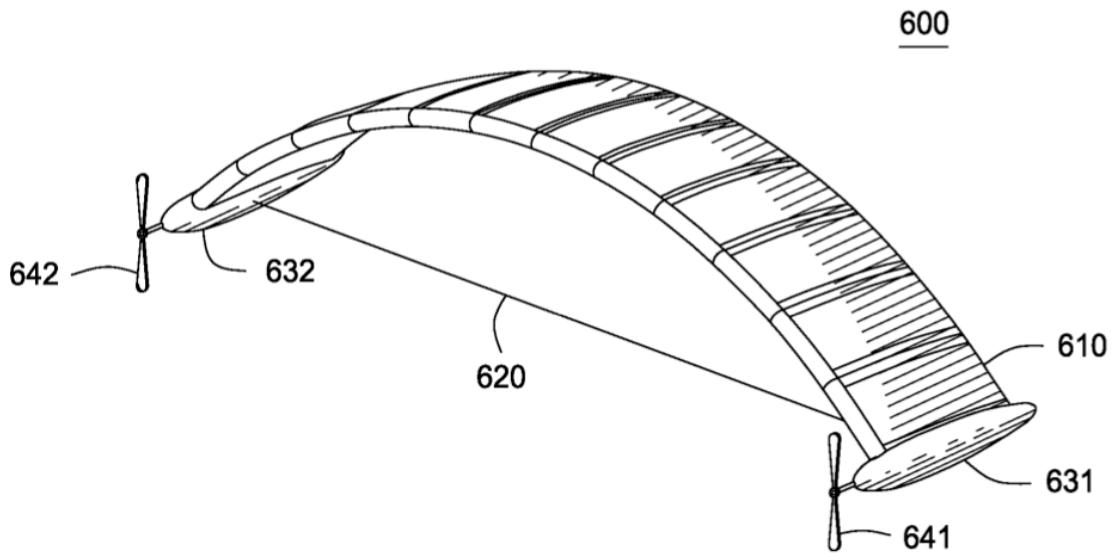


FIG. 6

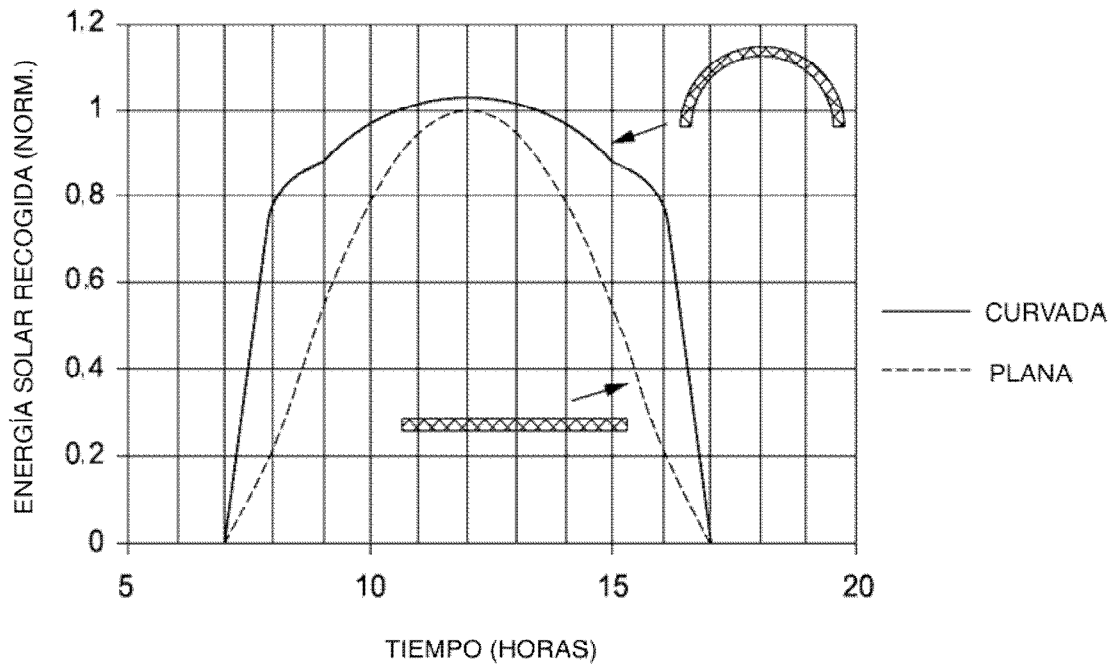


FIG. 7

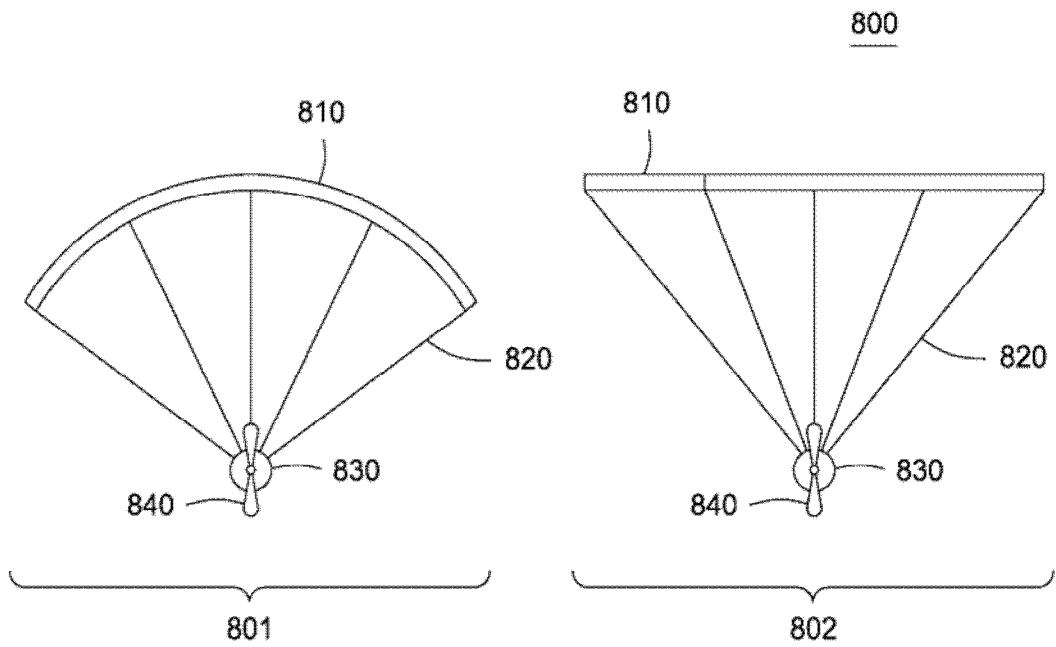


FIG. 8

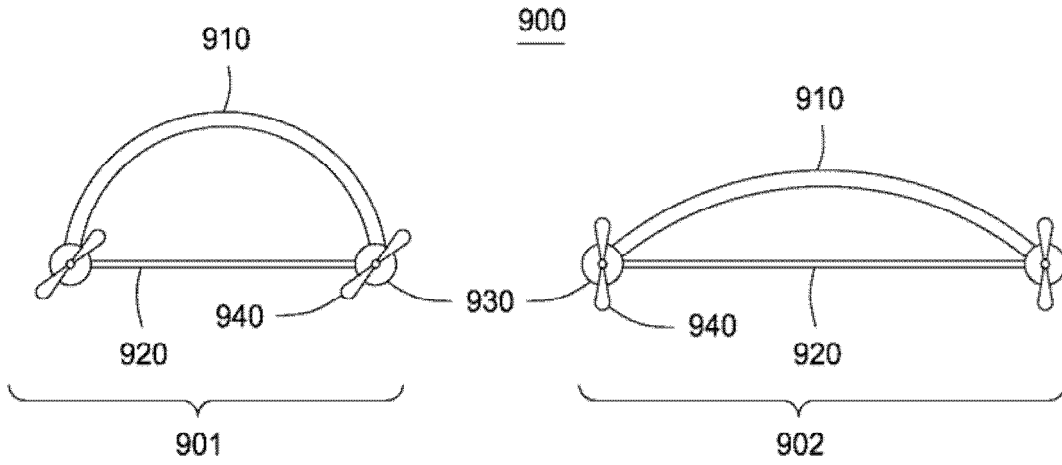


FIG. 9

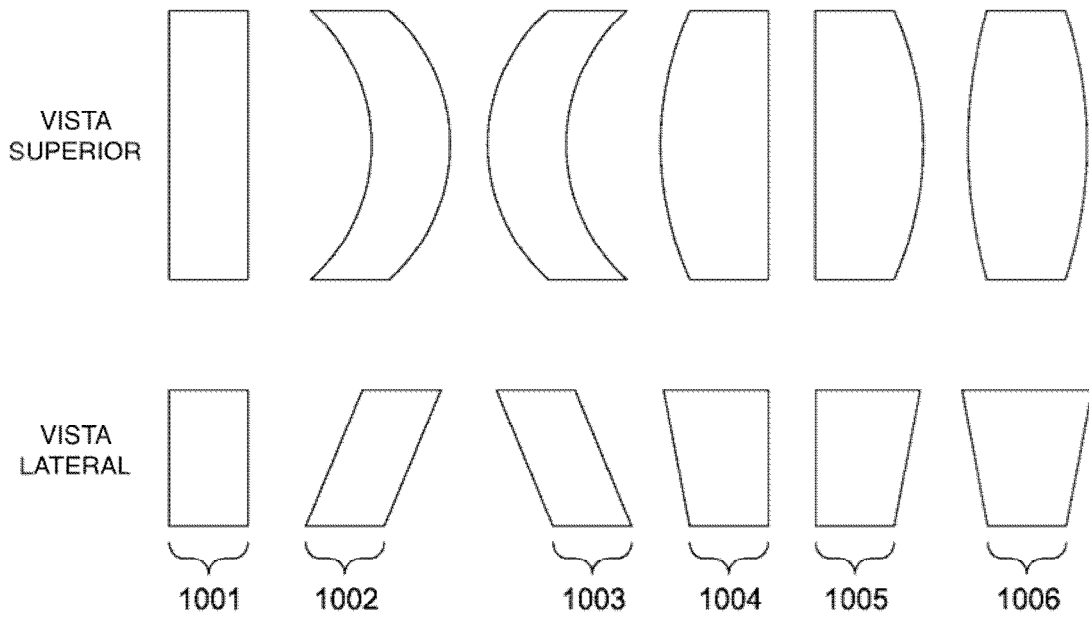


FIG. 10

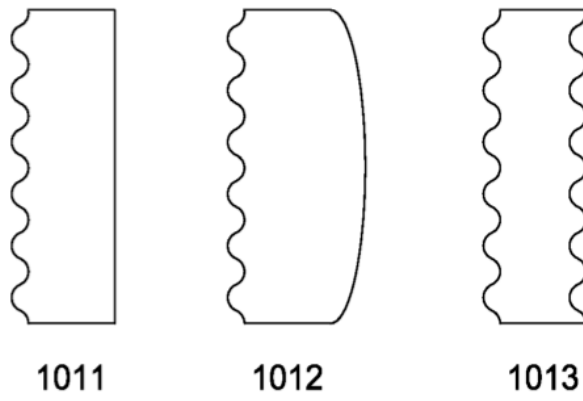


FIG. 11

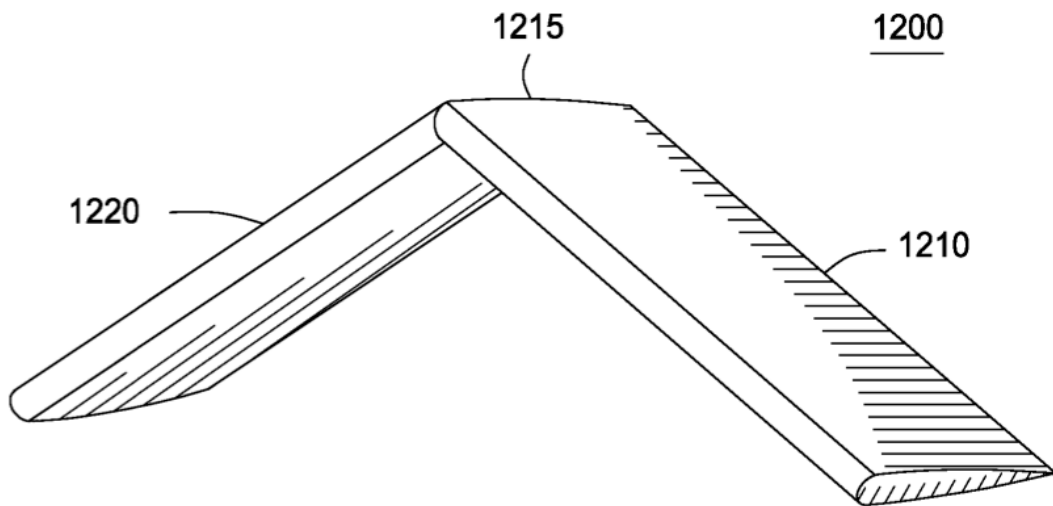


FIG. 12

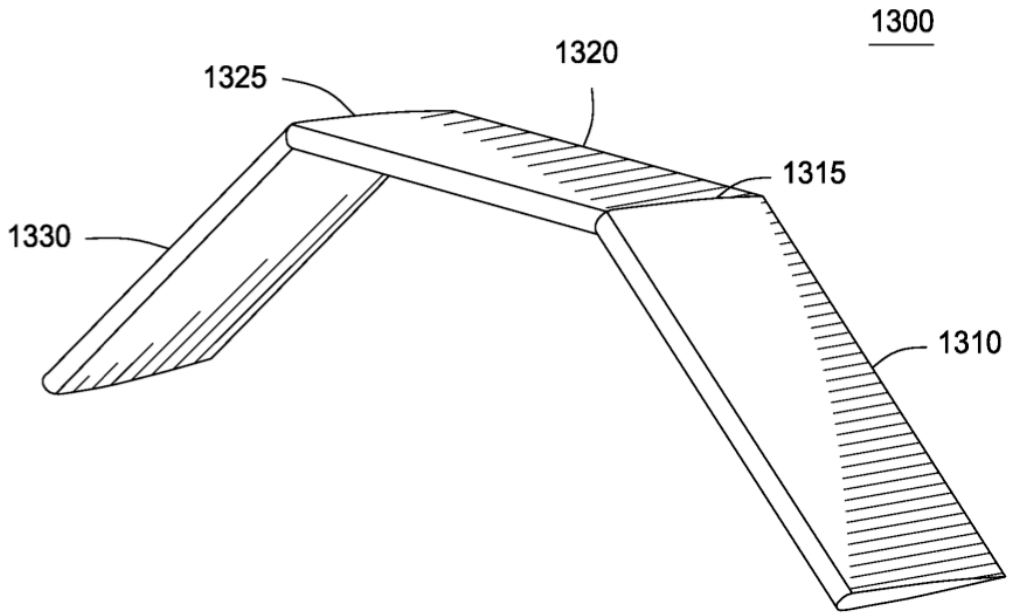


FIG. 13

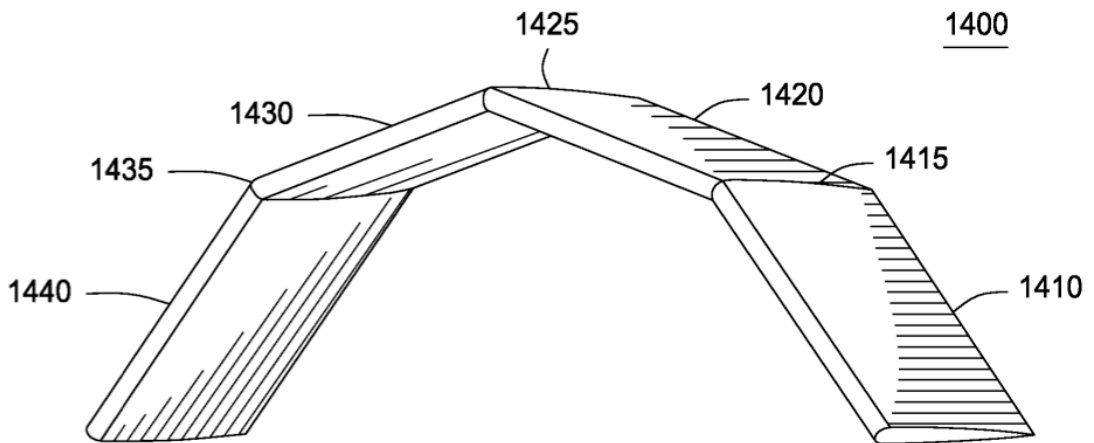


FIG. 14

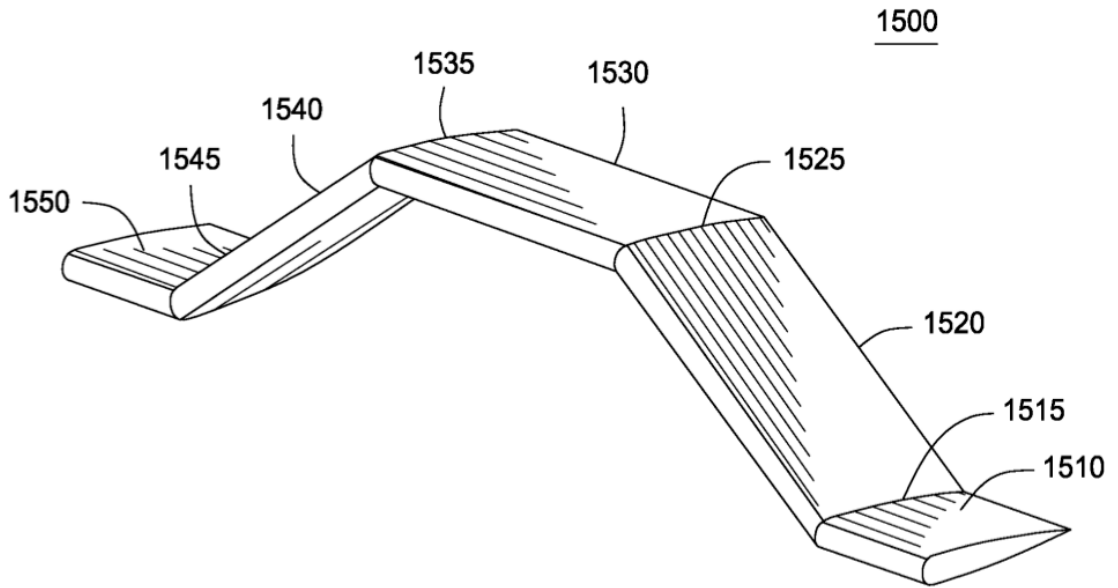


FIG. 15

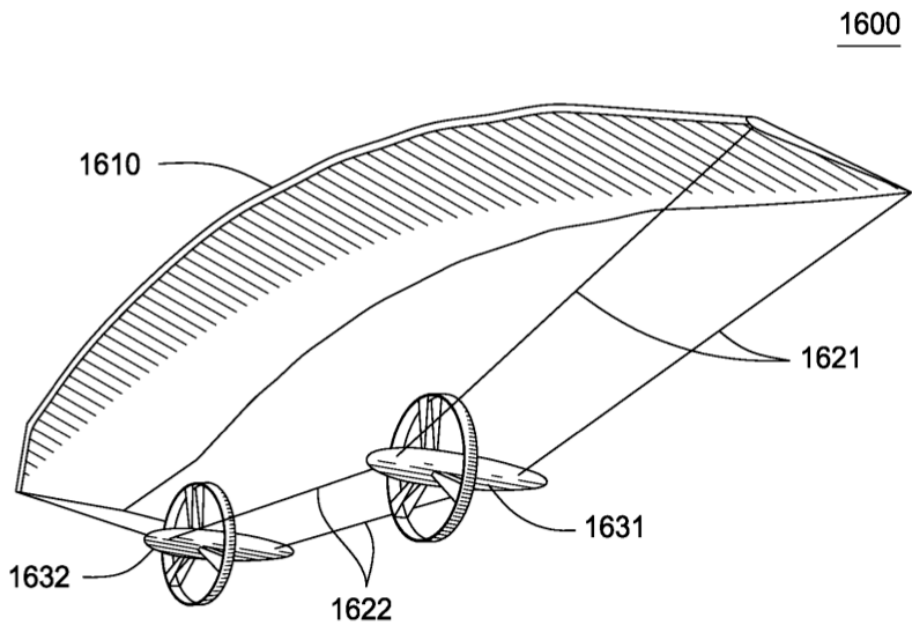


FIG. 16

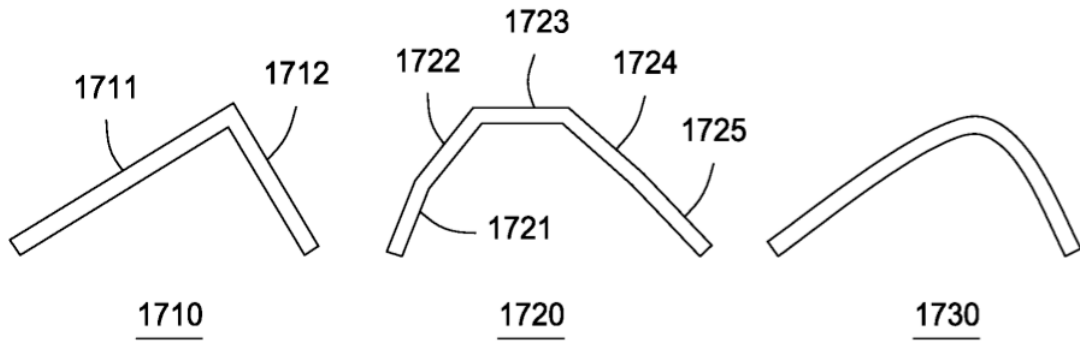


FIG. 17

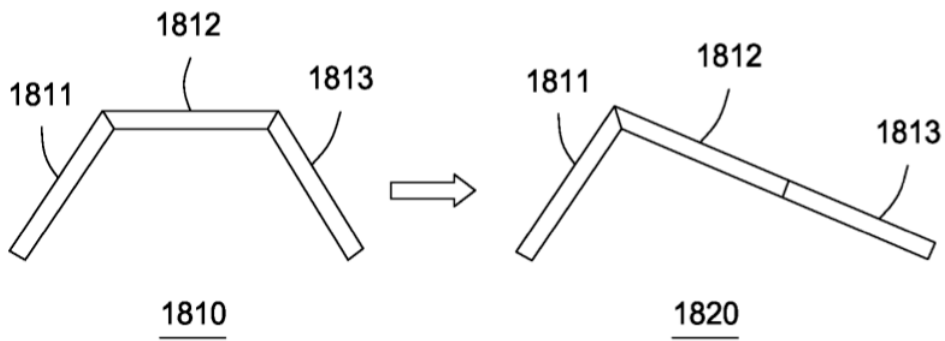


FIG. 18