

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 763**

51 Int. Cl.:

**B63H 1/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.06.2020 PCT/EP2020/066194**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2021 WO21249645**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.06.2020 E 20732212 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024 EP 4164941**

54 Título: **Aparato, método y programa informático para controlar la propulsión de una embarcación marina**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.10.2024**

73 Titular/es:  
**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
Bruggerstrasse 66  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:  
**LIU, BIN;  
PELJO, VELI-PEKKA;  
FRANSSON, PETER;  
TRANGARD, ARNE;  
JI, WEI;  
GARCIA-GABIN, WINSTON;  
MISHCHENKO, KATERYNA;  
KIVELÄ, JARI;  
KARILA, KAI y  
KIVIOJA, MATTI**

74 Agente/Representante:  
**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 981 763 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

Aparato, método y programa informático para controlar la propulsión de una embarcación marina

### 5 CAMPO

Diversas realizaciones se refieren a un aparato para controlar la propulsión de una embarcación marina, un método para controlar la propulsión de una embarcación marina y un código de programa informático para controlar la propulsión de una embarcación marina.

10

### ANTECEDENTES

Un sistema de propulsión de rueda de aletas genera empuje mediante una acción combinada de una rotación de un punto fijo de aletas alrededor de un centro y una oscilación de las aletas que cambia su ángulo de ataque a lo largo del tiempo. Algunas implementaciones de un sistema de propulsión de este tipo también se conocen como ciclorrotor, hélice trocoidal o hélice de Voith-Schneider (VSP). Tradicionalmente, una rueda (o rotor) rota, y unas aletas (o palas) unidas a la rueda cambian su ángulo de ataque debido a un acoplamiento mecánico entre la rotación de la rueda y la rotación de las aletas.

15

20 El documento DE 10060067 A1 divulga un sistema en donde cada aleta es ajustable por separado, independientemente del ajuste del rotor.

El documento EP 2944556 B1 divulga un mapa de control o un algoritmo que usa diversas entradas para controlar una rotación de disco y unas rotaciones de pala independientes.

25

Sin embargo, es deseable una sofisticación adicional en el control del sistema de propulsión de rueda de aletas.

### BREVE DESCRIPCIÓN

30 De acuerdo con un aspecto, se proporciona materia objeto de reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen algunas realizaciones.

Uno o más ejemplos de implementaciones se exponen con más detalle en los dibujos adjuntos y en la descripción de realizaciones.

35

### LISTA DE DIBUJOS

Algunas realizaciones se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

40 la figura 1 y la figura 2 ilustran realizaciones de un aparato para controlar la propulsión de una embarcación marina;

la figura 3A y la figura 3B ilustran realizaciones de un sistema de propulsión de rueda de aletas;

45 la figura 4 ilustra realizaciones de una trayectoria de aleta;

la figura 5 ilustra realizaciones adicionales del aparato para controlar la propulsión de la embarcación marina;

50 la figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra realizaciones de un método para controlar la propulsión de una embarcación marina;

la figura 7, la figura 8 y la figura 9 ilustran realizaciones adicionales del aparato para controlar la propulsión de la embarcación marina; y

55 la figura 10A y la figura 10B ilustran realizaciones adicionales de un sistema de propulsión de rueda de aletas.

### DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

60 Las siguientes realizaciones son solo ejemplos. Aunque la memoria descriptiva puede hacer referencia a "una" realización en varias ubicaciones, esto no significa necesariamente que cada una de tales referencias sea a la(s) misma(s) realización(es), o que la característica solo sea aplicable a una única realización. Las características individuales de diferentes realizaciones también pueden combinarse para proporcionar otras realizaciones. Además, las palabras "comprendiendo/que comprende" e "incluyendo/que incluye" deberían entenderse como que no limitan las realizaciones descritas a consistir solo en aquellas características que se han mencionado y tales realizaciones pueden contener también características/estructuras que no se han mencionado específicamente.

65

Los números de referencia, tanto en la descripción de las realizaciones como en las reivindicaciones, sirven para ilustrar las realizaciones con referencia a los dibujos, sin limitación a solo estos ejemplos.

5 Las realizaciones y características, de haber alguna, divulgadas en la siguiente descripción que no caen bajo el alcance de las reivindicaciones independientes han de interpretarse como ejemplos útiles para entender diversas realizaciones que no son parte de la invención. La invención se define por las reivindicaciones.

10 Estúdiense simultáneamente la figura 1, la figura 2 y la figura 5, que ilustran realizaciones de un aparato 100 para controlar la propulsión de una embarcación marina 102, y la figura 6, que ilustra realizaciones de un método para controlar la propulsión de la embarcación marina 102. El método puede implementarse como un algoritmo 526 programado como código de programa informático 504, ejecutado por el aparato 100 como un ordenador de propósito especial.

15 El aparato 100 comprende una interfaz de embarcación 506 acoplable con un sistema de control de embarcación 106. El sistema de control de embarcación 106 puede interactuar con un navegante 110 a través de una interfaz de usuario 108. El navegante 110 es la persona que pilota la embarcación marina 102 o ayuda como miembro de la tripulación: un capitán, un oficial de navegación, un oficial, un oficial de guardia, un timonel u otro miembro de la tripulación de cubierta, o incluso un piloto. La interfaz de usuario 108 implementa la presentación de información gráfica, textual y posiblemente también auditiva al navegante 110. La interfaz de usuario puede usarse para realizar acciones de usuario requeridas en relación con gobernar la embarcación marina 102, tal como dar comandos de propulsión y gobierno. La interfaz de usuario puede lograrse con diversas técnicas, tales como un timón, pantalla, teclado, teclado numérico, botones, palancas, conmutadores, medios para enfocar un cursor (ratón, bola de seguimiento, teclas de dirección, área sensible al tacto, etc.), elementos que posibilitan control de audio, etc. Los comandos de propulsión y gobierno pueden referirse a un paso de timón, un paso de accionamiento y una revolución, por ejemplo.

El aparato 100 también comprende una interfaz de control 508 para controlar un sistema de propulsión de rueda de aletas 104.

30 El sistema de propulsión de rueda de aletas 104 comprende una rueda rotatoria 204 y una pluralidad de aletas rotatorias 214A, 214B, 214C, 214D unidas perpendicularmente a la rueda 204.

35 Como se muestra en la figura 3A, la rueda 204 puede configurarse para rotar en un nivel sustancialmente horizontal, sustancialmente paralelo a un fondo de la embarcación marina 102, y cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D está configurada para rotar en un nivel sustancialmente vertical. En una realización, el número de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D es cuatro, pero el número de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D puede variar de tal modo que haya menos (tal como dos) o más aletas 214A, 214B, 214C, 214D. Las aletas 214A, 214B, 214C, 214D pueden disponerse simétricamente alrededor de un eje de rotación de la rueda 204. Para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D, una excentricidad en relación con el eje de rotación de la rueda 204 puede ajustarse mediante la función de paso de aleta 532.

45 Como se muestra en la figura 3B, la rueda 204 puede configurarse, como alternativa, para rotar en un nivel sustancialmente vertical, sustancialmente perpendicular en relación con el fondo de la embarcación marina 102, y cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D está configurada para rotar en un nivel sustancialmente horizontal.

La rueda rotatoria 204 es accionada por un motor de rueda 202 y controlada por un controlador de rueda 200.

50 Cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D es accionada por un motor de aleta 212A, 212B, 212C, 212D y controlada por un mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

55 En una realización, cada motor 212A, 212B, 212C, 212D es un motor eléctrico, y cada mecanismo de accionamiento 210A, 210B, 210C, 210D es un controlador de la energía eléctrica enviada al motor 202, 212A, 212B, 212C, 212D. En una realización, cada mecanismo de accionamiento 210A, 210B, 210C, 210D es un inversor tal como el mecanismo de accionamiento móvil HES880 de ABB.

60 En una realización, el motor de rueda 202 es un motor eléctrico, y el controlador de rueda 200 es un mecanismo de accionamiento de rueda configurado para controlar la energía eléctrica enviada al motor eléctrico 202. En una realización, el mecanismo de accionamiento de rueda 200 es un inversor tal como el mecanismo de accionamiento ACS600 de ABB.

65 En una realización, el motor de rueda 202 es un motor térmico 114, y el controlador de rueda 200 está configurado para controlar eléctricamente el motor térmico 114. El controlador de rueda 200 puede configurarse para cambiar la velocidad (rpm) del motor térmico 202, 114, por ejemplo. Como se muestra en la figura 1, una o más cajas de engranajes 112 (conectadas en serie) están configuradas para transmitir potencia mecánica desde el motor térmico 114 a la rueda 204.

5 Naturalmente, la energía eléctrica consumida por los motores eléctricos 202, 212A, 212B, 212C, 212D puede producirse mediante cualquier tecnología adecuada utilizable en la embarcación marina 102, incluyendo, pero sin limitación: uno o más motores térmicos tales como motores diésel o un motor de gasolina y/u otros uno o más tipos de fuentes de energía eléctrica tales como una fuente de energía eléctrica renovable, un grupo motor o un almacenamiento de energía eléctrica 116 tal como un conjunto de baterías y/o un conjunto de (super)condensadores. Naturalmente, el motor térmico 114 o el grupo motor puede usarse para producir la energía eléctrica almacenada en el almacenamiento de energía eléctrica 116.

10 En una realización, el motor de rueda 202 es el motor térmico 114 (tal como un motor diésel, por ejemplo), controlado por el controlador de rueda 200 adecuado, mientras que los motores de aleta 212A, 212B, 212C, 212D son motores eléctricos controlados por los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. El motor térmico 114 puede operarse con una velocidad óptima (desde el punto de vista del consumo de fueloil específico o SFOC), y el control descrito de la función de paso de aleta 532 puede usarse para ajustar el empuje necesario en lugar de ajustar la velocidad del motor térmico 114. Esto posibilita múltiples configuraciones en caso de propulsión híbrida con toma de fuerza/toma de fuerza de entrada de potencia (PTO/PTI), almacenamientos de energía, etc. Por ejemplo, durante una potencia de propulsión menor, el motor térmico 114 se usa para cargar las baterías 116. El control de antealimentación puede calcular la velocidad necesaria de la rueda 204 (rpm) en el caso de la rueda 204 accionada por motor térmico y enviar la velocidad de rueda de referencia al control del motor térmico 114.

20 El sistema de propulsión de rueda de aletas 104 también comprende un sensor de rueda 206 para medir una posición de rueda angular real de la rueda 204, y una pluralidad de sensores de aleta 216A, 216B, 216C, 216D para medir una posición de aleta angular real de cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

25 La cinemática del sistema de propulsión de rueda de aletas puede definirse con la ecuación 1:

$$\lambda = \frac{v_a}{\omega R} \quad (1)$$

donde:

- 30  $\lambda$  es el coeficiente de avance absoluto,
- $v_a$  es la velocidad del barco,
- $\omega$  es la velocidad de rotación de la rueda, y
- 35  $R$  es el radio de la rueda.

40 Una trayectoria de cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D puede describirse mediante las trocoides 410, 412, 414 ilustradas en la figura 4. La trocoide 410, 412, 414 es una ruleta (curva) dibujada por un punto fijo en un círculo 400 a medida que éste rueda a lo largo de una línea recta 408. Si el punto 406 está fuera del círculo 400, se dibuja la trocoide alargada 410. Si el punto 404 está en el círculo 400, se dibuja la trocoide común 412. Si el punto 402 está dentro del círculo 400, se dibuja la trocoide acortada 414.

45 En una realización, cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D está configurada para propagarse a lo largo de la trocoide alargada 410, donde  $\lambda < 1$  y que también puede denominarse trayectoria epicicloidal, o a lo largo de la trocoide acortada 414, donde  $\lambda > 1$  y que también puede denominarse trayectoria trocoidal.

50 Obsérvese que la figura 1 solo muestra un sistema de propulsión de rueda de aletas 104, pero la embarcación marina 102 también puede comprender uno o más sistemas de propulsión de rueda de aletas 104 adicionales, y también uno o más otros tipos de sistemas de propulsión. En una realización, el aparato 100 controla centralmente más de un sistema de propulsión de rueda de aletas 104 para optimizar adicionalmente el rendimiento del sistema.

55 El aparato comprende una o más memorias 502 que incluyen el código de programa informático 504, y uno o más procesadores 500 para ejecutar el código de programa informático 504 para hacer que el aparato 100 realice el método como un algoritmo 526 para controlar la propulsión de la embarcación marina 102.

60 El término 'procesador' 500 se refiere a un dispositivo que es capaz de procesar datos. Dependiendo de la potencia de procesamiento necesaria, el aparato 100 puede comprender varios procesadores 500 tales como procesadores paralelos, un procesador de múltiples núcleos o un entorno informático que utiliza simultáneamente recursos a partir de varias unidades informáticas físicas (a veces, estos se denominan entornos informáticos en la nube, de niebla o virtualizados). Cuando se diseña la implementación del procesador 500, un experto en la materia considerará los requisitos establecidos para el tamaño y el consumo de potencia del aparato 100, la capacidad de procesamiento necesaria, los costes de producción y los volúmenes de producción, por ejemplo.

El término 'memoria' 502 se refiere a un dispositivo que es capaz de almacenar datos en tiempo de ejecución (= memoria de trabajo) o permanentemente (= memoria no volátil). La memoria de trabajo y la memoria no volátil pueden implementarse mediante una memoria de acceso aleatorio (RAM), RAM dinámica (DRAM), RAM estática (SRAM), una memoria flash, un disco de estado sólido (SSD), PROM (memoria de solo lectura programable), un semiconductor adecuado o cualquier otro medio de implementación de una memoria informática eléctrica.

Una lista no exhaustiva de técnicas de implementación para el procesador 500 y la memoria 502 incluye, pero no se limita a: componentes lógicos, circuitos integrados convencionales, circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), sistema en un chip (SoC), productos convencionales específicos de la aplicación (ASSP), microprocesadores, microcontroladores, procesadores de señales digitales, chips informáticos de propósito especial, matrices de puertas programables en campo (FPGA) y otras estructuras electrónicas adecuadas.

El código de programa informático 504 puede implementarse mediante software. En una realización, el software puede escribirse mediante un lenguaje de programación adecuado, y el código ejecutable resultante puede almacenarse en la memoria 502 y ser ejecutado por el procesador 500.

Una realización proporciona un medio legible por ordenador 510 que almacena el código de programa informático 504, que, cuando se carga en el uno o más procesadores 500 y es ejecutado por uno o más procesadores 500, hace que el uno o más procesadores 500 realicen el algoritmo/método, que se explicará con referencia a la figura 6. El medio legible por ordenador 510 puede comprender al menos lo siguiente: cualquier entidad o dispositivo capaz de portar el código de programa informático 504 a el uno o más procesadores 500, un medio de registro, una memoria informática, una memoria de solo lectura, una señal portadora eléctrica, una señal de telecomunicaciones y un medio de distribución de software. En algunas jurisdicciones, dependiendo de la legislación y de la práctica de patentes, el medio legible por ordenador 510 puede no ser la señal de telecomunicaciones. En una realización, el medio legible por ordenador 510 puede ser un medio de almacenamiento legible por ordenador. En una realización, el medio legible por ordenador 510 puede ser un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio.

El código de programa informático 504 implementa el algoritmo 526 para controlar la propulsión de la embarcación marina 102. El código de programa informático 504 puede codificarse como un programa informático (o software) usando un lenguaje de programación, que puede ser un lenguaje de programación de alto nivel, tal como C, C++ o Java, o un lenguaje de programación de bajo nivel, tal como un lenguaje máquina o un ensamblador, por ejemplo. El código de programa informático 504 puede estar en forma de código fuente, forma de código objeto, archivo ejecutable o en alguna forma intermedia. Hay muchas formas de estructurar el código de programa informático 504: las operaciones pueden dividirse en módulos, subrutinas, métodos, clases, objetos, miniaplicaciones, macros, etc., dependiendo de la metodología de diseño de software y del lenguaje de programación usado. En entornos de programación modernos, existen bibliotecas de software, es decir, compilaciones de funciones ya preparadas, que pueden ser utilizadas por el código de programa informático 504 para realizar una amplia diversidad de operaciones convencionales. Además, un sistema operativo (tal como un sistema operativo de propósito general) puede proporcionar servicios de sistema al código de programa informático 504.

En una realización, el uno o más procesadores 500 pueden implementarse como uno o más microprocesadores que implementan funciones de una unidad de procesamiento central (CPU) en un circuito integrado. La CPU es una máquina lógica que ejecuta el código de programa informático 504. La CPU puede comprender un conjunto de registros, una unidad aritmético-lógica (ALU) y una unidad de control (CU). La unidad de control se controla mediante una secuencia del código de programa informático 504 transferido a la CPU desde la memoria (de trabajo) 502. La unidad de control puede contener un número de microinstrucciones para operaciones básicas. La implementación de las microinstrucciones puede variar, dependiendo del diseño de CPU.

En una realización, el aparato 100 puede ser un aparato 100 autónomo como se muestra en la figura 1, es decir, el aparato 100 es una unidad integrada separada, distinta del sistema de control de embarcación 106 y del sistema de propulsión de rueda de aletas 104.

Sin embargo, en una realización alternativa, al menos una parte de la estructura del aparato 100 puede estar más o menos distribuida con otro aparato. En una realización, la funcionalidad del aparato 100 se distribuye dentro de los actores mostrados en la figura 2. En consecuencia, el aparato 100 puede implementarse dentro del aparato 100 autónomo, y/o dentro del controlador de rueda 200, y/o dentro de uno o más de los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. De esta forma, la potencia de procesamiento distribuida puede utilizarse según sea posibilitado por la implementación real.

En otra realización, el aparato 100 es un aparato de servidor en red accesible a través de una red de comunicación. El aparato 100 de servidor en red puede ser un servidor informático en red, que interopera con el sistema de control de embarcación 106 y el sistema de propulsión de rueda de aletas 104 de acuerdo con una arquitectura de cliente-servidor, una arquitectura informática en la nube, un sistema entre pares u otra arquitectura informática aplicable.

La comunicación entre los actores 100, 104, 106, 108 puede implementarse con un protocolo de comunicación convencional/de propiedad exclusiva inalámbrico/cableado adecuado, tal como un bus de control industrial, Ethernet, Bluetooth, Bluetooth de baja energía, Wi-Fi, WLAN, Zigbee, etc.

5 Estúdiense a continuación el algoritmo/método con referencia a la figura 6.

El método se inicia en 600 y finaliza en 616. Obsérvese que el método puede ejecutarse tanto tiempo como se requiera (después del arranque del aparato 100 hasta el apagado) haciendo un bucle 614 desde una operación 610 de vuelta a una operación 602.

10 Las operaciones no están estrictamente en orden cronológico en la figura 6, y algunas de las operaciones pueden realizarse simultáneamente o en un orden diferente de los dados. Por ejemplo, las operaciones 602, 604, 606 pueden ejecutarse en un orden secuencial diferente o incluso en paralelo. También pueden ejecutarse otras funciones entre las operaciones o dentro de las operaciones e intercambiarse otros datos entre las operaciones. Algunas de las operaciones o parte de las operaciones también pueden omitirse o reemplazarse por una operación o parte de la operación correspondiente. Debería observarse que no se requiere ningún orden especial de operaciones, excepto donde sea necesario debido a los requisitos lógicos para el orden de procesamiento.

20 En 602, se recibe un estado de operación de rueda 520 desde el controlador de rueda 200.

En 604, se recibe una pluralidad de estados de operación de aleta 522 desde una pluralidad de mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

25 En 606, se recibe un comando 524 desde el sistema de control de embarcación 106.

En 608, se generan datos de control de rueda 528 para el controlador de rueda 200 para controlar una función de paso de aleta 532 del sistema de propulsión de rueda de aletas 104 basándose en el comando 524 en vista del estado de operación de rueda 520.

30 En 610, se generan datos de control de aleta 530 para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D para controlar adicionalmente la función de paso de aleta 532 del sistema de propulsión de rueda de aletas 104 basándose en el comando 524 en vista del estado de operación de rueda 520 y la pluralidad de estados de operación de aleta 522. Como parte de 610, en 612, se genera un par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D usando un modelo de antealimentación de aleta.

Obsérvese que, en esta solicitud, "referencia" es una notación usada para un valor de parámetro de control establecido (o deseado), mientras que "real" se usa para un valor de parámetro de control medido.

40 El modelo de antealimentación de aleta se refiere a la naturaleza del control: el comando 524 desde el sistema de control de embarcación 106 provoca un control predefinido de la función de paso de aleta 532 sin responder a cómo reacciona la carga de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D. El control se basa en un conocimiento con respecto a la función de paso de aleta 532 en forma de un modelo matemático y en un conocimiento con respecto a las perturbaciones. Pero se implementa una retroalimentación mediante el uso del estado de operación de rueda 520 la pluralidad de estados de operación de aleta 522. El estado de operación de rueda 520 puede incluir valores de parámetro de control de referencia (establecidos) y valores de parámetro de control reales (medidos) para la rueda 204. Los estados de operación de aleta 522 pueden incluir valores de parámetro de control de referencia (establecidos) y valores de parámetro de control reales (medidos) para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D. Obsérvese que el control de la rueda 204 puede implementarse mediante un modelo de antealimentación de rueda.

50 Para lograr un funcionamiento de alto rendimiento (por ejemplo, de alta eficiencia, alto empuje, etc.), el sistema de propulsión de rueda de aletas 104 necesita seguir la función de paso de aleta 532 predefinida con una alta precisión. Sin embargo, existen varios problemas que dificultan un control de movimiento del sistema de propulsión de rueda de aletas 104. En primer lugar, un punto de pivote de aleta típicamente no está alineado con un eje de inercia principal de aleta. Se inducirá un par centrífugo debido a esta desalineación y la rotación de rueda. En segundo lugar, muchas funciones de paso de aleta de alta eficiencia 532 requieren una aceleración alta y una tasa de cambio de aceleración alta para el movimiento de aleta, lo que es difícil de lograr para los motores de aleta 212A, 212B, 212C, 212D y los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. En tercer lugar, para algunas funciones de paso de aleta 532, tales como la trayectoria epicicloidal 410 (usada por VSP, por ejemplo), la velocidad de rotación de aleta cambia las direcciones de rotación, lo que significa que los motores de aleta 212A, 212B, 212C, 212D necesitan compensar un par de fricción. Además de estos problemas, una carga hidrodinámica aplicada sobre las aletas 214A, 214B, 214C, 214D también creará un error de seguimiento de función de paso de aleta. Los errores en el seguimiento de la función de paso de aleta 532 especificada conducirán a un rendimiento de hélice degradado, a un par motor de rueda aumentado y a una eficiencia reducida.

65

El aparato 100 y el método de la figura 6 implementan un método de configuración de control de movimiento para las aletas 214A, 214B, 214C, 214D alimentadas por los motores de aleta 212A, 212B, 212C, 212D. El aparato 100 recibe comandos 524 (un comando de empuje u otro tipo de comando en relación con la propulsión) desde el sistema de control de embarcación 106 (de nivel superior), recopila estados de operación de aleta 522 y el estado de operación de rueda 520 y, entonces, crea datos de control de aleta 530 para cada uno de los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D individuales y los datos de control de rueda 528 para el controlador de rueda 200 para controlar la función de paso de aleta 532. Cada una de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D puede estar en un modo de control de posición, y la rueda 204 puede estar en un modo de control de velocidad o en un modo de control de posición. Controlar cada una de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D con el modo de control de posición posibilita un control preciso de la función de paso de aleta 532. Controlar la rueda 204 con el modo de velocidad es una solución simple, mientras que controlar la rueda 204 con el modo de control de posición puede posibilitar algunas funciones adicionales, una compensación de fuerza lateral, por ejemplo. Debido a que el sistema de propulsión de rueda de aletas 104 se controla como una unidad integrada, se logra un rendimiento de sistema óptimo (en lo que respecta a la eficiencia, el empuje, etc.). El control también puede posibilitar funciones adicionales, tales como mantener el rendimiento de operación del sistema incluso si una o más aletas 214A, 214B, 214C, 214D están en un modo de fallo.

En una realización, el par de referencia se genera 612 como sigue.

En 620, la posición de rueda angular real se recibe como parte del estado de operación de rueda 520. En 622, se recibe una velocidad de rueda real como parte del estado de operación de rueda 520 o, como alternativa, en 630, se genera la velocidad de rueda real basándose en una pluralidad de posiciones de rueda angulares reales. En 624, se recibe una posición de aleta angular de referencia para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D como parte del estado de operación de aleta 522. En 626, se recibe una velocidad de aleta de referencia para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D como parte del estado de operación de aleta 522. En 628, se recibe una aceleración de aleta de referencia para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D como parte del estado de operación de aleta 522.

En 612, se genera el par de referencia de los datos de control de aleta 530 para cada mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D usando el modelo de antealimentación, cuyas entradas son la posición de rueda angular real, la posición de aleta angular de referencia, la velocidad de rueda real, la velocidad de aleta de referencia y la aceleración de aleta de referencia. El par de referencia se modifica por un par de retroalimentación de posición que describe una diferencia en el par entre la posición de aleta angular de referencia y la posición de aleta angular real, y por un par de retroalimentación de velocidad que describe una diferencia en el par entre la velocidad de aleta de referencia y la velocidad de aleta real.

La posición angular de referencia  $\theta_{aleta\_i\_ref}$  para cada aleta puede definirse con la ecuación 2:

$$\theta_{aleta\_i\_ref} = \tan^{-1} \left( \frac{\cos\left(\theta_{rueda} + \frac{360}{N} \cdot i + \psi\right)}{e_c - \sin\left(\theta_{rueda} + \frac{360}{N} \cdot i + \psi\right)} \right), \quad (2)$$

donde se definen constantes:

N = número de aletas por rueda,

i = índice de aleta a lo largo de la dirección de rotación de rueda,

donde las señales de medición de sensor son:

$\theta_{rueda}$  = posición de rueda angular real (0-360 grados),

$\theta_{aleta\_i\_real}$  = posición angular real (0-360 grados) de la i-ésima aleta,

y donde los comandos de control son:

$e_c$  = excentricidad de referencia,

$\psi$  = ángulo de guiñada de referencia, y

$T_{i\_aa}$  = comando de antealimentación de par para la i-ésima aleta.

El par de referencia  $T_{i\_total}$  para el i-ésimo motor de aleta puede definirse con la ecuación 3:

$$T_{i\_total} = T_{i\_pos\_ra}(\theta_{aleta\_i\_ref} - \theta_{aleta\_i\_real}) + T_{i\_velocidad\_ra}(\Omega_{aleta\_i\_ref} - \Omega_{aleta\_i\_real}) + T_{i\_aa}(\theta_{rueda}, \theta_{aleta\_i\_ref}, \Omega_{rueda}, \Omega_{aleta\_i\_ref}, a_{aleta\_i\_ref}), \quad (3)$$

donde:

- 5  $T_{i\_pos\_ra}$  = valor de par a partir del control de retroalimentación de posición para la i-ésima aleta,
- $T_{i\_velocidad\_ra}$  = valor de par a partir del control de retroalimentación de velocidad para la i-ésima aleta,
- $T_{i\_aa}$  = valor de par a partir de la compensación de antealimentación para la i-ésima aleta,
- 10  $\Omega_{rueda}$  = velocidad de rueda real (rotaciones por minuto),
- $\Omega_{aleta\_i\_real}$  = velocidad de aleta de referencia para la i-ésima aleta,
- $\Omega_{aleta\_i\_ref}$  = velocidad de aleta de referencia para la i-ésima aleta, y
- 15  $a_{aleta\_i\_ref}$  = aceleración de aleta de referencia para la i-ésima aleta.

20 La realización descrita anteriormente que emplea una compensación de antealimentación de par basada en modelo proporciona un valor de par preciso para compensar un par centrífugo, un par de aceleración, un par de fricción y un par hidrodinámico, que son, todos ellos, difíciles de lograr para el control de retroalimentación.

25 Esta realización puede desplegarse con al menos dos opciones diferentes en los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. En la primera opción, se usa un modo de control de par externo. El lazo de posición, el lazo de velocidad y el cálculo de antealimentación se realizan en el aparato 100. La suma del lazo de posición, el lazo de velocidad y el valor de antealimentación se envía al mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D como la referencia de par. En la segunda opción, se usa un modo de controlador de velocidad. El control de velocidad está ejecutándose en el mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. El control de posición y el cálculo de antealimentación se realizan en el aparato 100. La suma del lazo de posición y el valor de antealimentación se envía al mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D como la referencia de par externo. La segunda opción utiliza recursos del mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D y reduce la carga para el aparato 100 y la comunicación entre el aparato 100 y los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

35 En una realización ilustrada con referencia a la figura 7 y la figura 8, el par de referencia se genera 612 como sigue.

40 En 602, la posición de rueda angular real se recibe como parte del estado de operación de rueda 520. En 632, se recibe la posición de aleta angular real para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D como parte del estado de operación de aleta 522. En 634, se recibe una velocidad de aleta real como parte del estado de operación de aleta 522 o, como alternativa, en 636, se genera la velocidad de aleta real basándose en una pluralidad de posiciones de aleta angulares reales. En 638, se recibe un par de aleta real para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D como parte del estado de operación de aleta 522. En 640, se reciben uno o más parámetros desde la función de paso de aleta 532.

45 En 642, 644, 646, se generan una velocidad de aleta de referencia 810, una posición de aleta angular de referencia 812 y una aceleración de aleta de referencia 814 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D basándose en la posición de rueda angular real y el uno o más parámetros.

50 En 612, se genera el par de referencia 820 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D basándose en la velocidad de aleta de referencia (810), la posición de aleta angular de referencia 812 y la aceleración de aleta de referencia 814 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

En 648, se ajusta el ajuste 648 del par de referencia 820 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D basándose en el par de aleta real 822 de cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

55 Opcionalmente, en 650, se ajusta la velocidad de aleta de referencia 810 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D basándose en la velocidad de aleta real 816 de cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

Opcionalmente, en 652, se ajusta la posición de aleta angular de referencia 812 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D basándose en la posición de aleta angular real 818 de cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

60 Opcionalmente, en 654, se ajusta la aceleración de aleta de referencia 814 para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D usando un modelo de antealimentación de aceleración 804.

65 Como se muestra en la figura 7, la función de paso de aleta 532 proporciona el uno o más parámetros (tales como parámetros de función de paso establecidos) para el controlador de rueda 200 y a un control de propulsión 700, 702 de los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

En una realización, el control de propulsión puede dividirse en dos bloques funcionales: un bloque de generación de referencia de movimiento 700 y un bloque de control de movimiento de aleta 702. Estos bloques se ilustran con más detalle en la figura 8.

5 El bloque de generación de referencia de movimiento 700 recibe uno o más parámetros desde la función de paso de aleta 532 y, basándose en una posición de rueda angular real  $\theta_{rueda}$ , genera una posición de aleta angular de referencia  $\theta_{aleta\_ref}$ , una velocidad de aleta de referencia  $\Omega_{aleta\_ref}$  y una aceleración de aleta de referencia  $a_{aleta\_ref}$  para cada aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

10 La función de paso de aleta 532 (es decir, una referencia de movimiento) puede ser una función trocoidal, función cicloidal, función sinusoidal, función de ranura o cualquier otro tipo de función periódica adecuada.

El período de la función de paso de aleta 532 se basa en la posición de rueda angular real  $\theta_{rueda}$ . Cada una de las revoluciones es un período. La rueda 204 también está rotando basándose en el uno o más parámetros. Los uno o más parámetros para la rueda 204 pueden ser una velocidad de rotación o una transmisión por flujo continuo de posición angular, por ejemplo.

Por ejemplo, si la función de paso de aleta 532 es una función trocoidal o una función cicloidal, el uno o más parámetros pueden ser una combinación de una velocidad de rueda de referencia  $\Omega_{rueda\_ref}$ , una excentricidad  $e_c$  de la aleta 214A, 214B, 214C, 214D y un ángulo de guiñada  $\psi$ . Basándose en la posición de rueda angular real  $\theta_{rueda}$ , las salidas del bloque de generación de referencia de movimiento 700, una posición de aleta angular de referencia  $\theta_{aleta\_ref}$ , una velocidad de aleta de referencia  $\Omega_{aleta\_ref}$  y una aceleración de aleta de referencia  $a_{aleta\_ref}$  pueden definirse con las ecuaciones 4, 5 y 6:

$$\theta_{aleta\_ref} = \tan^{-1} \left( \frac{S_e \cos(\theta_{rueda} + \psi)}{S_e + S_e e_c \sin(\theta_{rueda} + \psi)} \right) \quad (4)$$

$$\Omega_{aleta\_ref} = -\Omega_{rueda\_ref} \frac{e_c^2 + e_c \sin(\theta_{rueda} + \psi)}{1 + 2 \cdot e_c \sin(\theta_{rueda} + \psi) + e_c^2} \quad (5)$$

$$a_{aleta\_ref} = \frac{\Omega_{rueda\_ref}^2 \cdot e_c \cdot \cos(\theta_{rueda} + \psi) \cdot (e_c^2 - 1)}{(1 + 2 \cdot e_c \sin(\theta_{rueda} + \psi) + e_c^2)^2}, \quad (6)$$

30 donde:

$S_e$  es el signo de la excentricidad.

35 El bloque de control de movimiento de aleta 702 recibe la posición de aleta angular de referencia  $\theta_{aleta\_ref}$ , la velocidad de aleta de referencia  $\Omega_{aleta\_ref}$  y la aceleración de aleta de referencia  $a_{aleta\_ref}$  y, basándose en la posición de aleta angular real  $\theta_{aleta\_real}$ , la velocidad de aleta real  $\Omega_{aleta\_real}$  y el par real  $\tau_{real}$  (o una corriente de motor), genera el par de referencia  $\tau_{ref}$  para cada mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D. El bloque de control de movimiento de pala 702 puede implementarse centralmente en el aparato 100 como se muestra en la figura 8, pero también puede implementarse de una forma distribuida en cada mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

45 En una realización, el bloque de control de movimiento de aleta 702 comprende un lazo de control de posición 818, 802, un lazo de control de velocidad 816, 800, una antalimentación de aceleración 804 y un lazo de control de par 822, 806. El lazo de control de posición 818, 802 y el lazo de control de velocidad 816, 800 pueden conectarse en paralelo como se muestra en la figura 8, pero también pueden conectarse en serie. La salida de estos dos lazos 818, 802 y 816, 800 se suma junto con la antalimentación de aceleración 804 para establecer un par de referencia de entrada al lazo de control de par 822, 806.

50 El lazo de control de posición 818, 802 y el lazo de control de par 822, 806 pueden ser lazos de retroalimentación cerrados. La antalimentación de aceleración 804 puede ser un lazo abierto. El lazo de control de velocidad 818, 800 puede ser el lazo de retroalimentación cerrado como se muestra en la figura 8, pero también puede ser un lazo abierto. El objetivo del lazo de control cerrado es minimizar el error entre la señal de referencia y la señal real. El controlador usado en los lazos de control cerrados puede ser un controlador PID (proporcional-integral-derivativo), un controlador PI (proporcional-integral), un controlador P (proporcional), un controlador LQR (regulador lineal-cuadrático) o cualquier otro tipo de controlador de retroalimentación adecuado.

En una realización ilustrada con referencia a la figura 9, el par de referencia se genera 612 como sigue.

60 En 656, se aplica una derivada de segundo orden 900 sobre la función de paso de aleta 532 para generar un comando de compensación de par 910.

En 658, el comando de compensación de par se multiplica por una constante de compensación de par para generar el par de referencia 910 de los datos de control de aleta 530 para cada mecanismo de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D.

5 En cálculo, la derivada de segundo orden 900 de una función de paso de aleta 532 es la derivada de la derivada de la función de paso de aleta 532. Puede decirse que la segunda derivada mide cómo está cambiando la propia tasa de cambio de una cantidad: la segunda derivada de la posición de aleta angular real con respecto al tiempo es una aceleración instantánea de la aleta 214A, 214B, 214C, 214D.

10 Tal compensación de anteaalimentación de par puede mejorar la precisión de control de paso. Un comando de compensación de par se genera mediante un control de la función de paso de aleta 910. La derivada de segundo orden se aplica sobre la función de paso de aleta 532, en lugar de su salida, la posición de aleta angular de referencia 912 o la posición de aleta angular real 914. El comando de compensación de par se multiplica por la constante de compensación de par para obtener el par de referencia 910. Obsérvense la posición de aleta angular de referencia 912 y la posición de aleta angular real 914 introducidas en un lazo de control de posición 914, 902, y también un lazo de control de par 916, 904.

Tómese, por ejemplo, una función de paso trocoidal de aleta 532, pero la realización puede aplicarse también a otras funciones de paso. Después de que se haya aplicado la derivada de segundo orden sobre la función de paso trocoidal de aleta 532, se obtiene la ecuación 7:

$$a_{aleta} = \frac{\Omega_{rueda}^2 \cdot e_c \cdot \cos(\theta_{rueda} + \psi) \cdot (e_c^2 - 1)}{(1 + 2 \cdot e_c \cdot \sin(\theta_{rueda} + \psi) + e_c^2)^2}, \quad (7)$$

donde:

- 25  $a_{aleta}$  es la señal de aceleración de aleta lograda,
- $\Omega_{rueda}$  es la velocidad de rueda real,
- 30  $e_c$  es una excentricidad de la aleta,
- $\psi$  es el ángulo de guiñada, y
- 35  $\theta_{rueda}$  es la posición de rueda angular real.

Las señales de compensación de anteaalimentación de par de la técnica anterior proceden o bien de una medición de aceleración o bien de un comando de aceleración. La compensación se origina a partir de la segunda derivada en la medición de posición o el comando de posición. El problema es que ambas señales tienen ruido y, en consecuencia, sus segundas derivadas también tienen ruido. La señal de acuerdo con la realización se deshace del problema de ruido en comparación con los métodos de compensación de par de la técnica anterior.

En una realización ilustrada con referencia a la figura 10A y la figura 10B, el sistema de propulsión de rueda de aletas 104 puede utilizarse como una ayuda de gobierno. Obsérvense que esta realización puede usarse independientemente de todas las otras realizaciones descritas como una realización autónoma.

En 660, se recibe un comando de gobierno desde el sistema de control de embarcación 106 que da instrucciones al sistema de propulsión de rueda de aletas 104 para que gobierne la embarcación marina 102.

En 608 y 610, se generan datos de control de rueda 528 para el controlador de rueda 200 y datos de control de aleta 530 para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta 210A, 210B, 210C, 210D basándose en el comando de gobierno.

Por lo tanto, en lugar de, o además del control de propulsión, también el control de gobierno puede ser realizado por el aparato 100.

En una realización, si se detiene o se pierde la propulsión principal, las aletas 214A, 214B, 214C, 214D individuales pueden controlarse como un timón. La propulsión principal puede proceder de la rotación de la rueda 204, pero también otra unidad de propulsión puede actuar como la propulsión principal. La otra unidad de propulsión puede ser otro sistema de propulsión de rueda de aletas u otro tipo de unidad de propulsión, tal como una hélice o una unidad de propulsión acimutal, por ejemplo. La fuerza de gobierno puede acumularse con una fuerza de elevación normal de las aletas 214A, 214B, 214C, 214D. De esta forma, esta realización implementa una función de timón de respaldo, pero en algunos casos esta realización puede implementar una función de timón (principal). Dependiendo de la implementación, está disponible toda o parte de la capacidad de maniobra, dependiendo del flujo disponible 1000 (= velocidad de la embarcación).

En una operación normal ilustrada en la figura 10A, la rueda 204 rota 1002, y las aletas 214A, 214B, 214C, 214D crean fuerza de empuje y gobierno.

- 5 En una operación alternativa ilustrada en la figura 10B, se detiene la rotación de la rueda 204, con lo que la propulsión es mínima y las aletas 214A, 214B, 214C, 214D se controlan como un(os) timón(es). Cierta cantidad de fuerza de gobierno estará disponible incluso cuando no haya ningún empuje disponible.

10 Esta realización puede usarse en un transbordador de doble extremo (con dos o más unidades de propulsión de rueda de aletas 104), donde la unidad de propulsión de rueda de aletas 104 anterior se mantiene como un 'timón' para minimizar su resistencia hidrodinámica, debido a que no es eficiente para producir el empuje debido a una gran deducción de empuje (en la parte frontal de la embarcación), mientras que la unidad de propulsión de rueda de aletas 104 posterior se usa para generar el empuje. Además, las embarcaciones que tienen al menos dos unidades de propulsión de rueda de aletas 104 (y, por ejemplo, una conexión de eje mecánico de motor diésel a la hélice) pueden, a velocidades más bajas, optimizar una carga para el motor diésel operativo para el SFOC (consumo de fueloil específico)/kW más bajo. De esta forma, la resistencia hidrodinámica de la hélice puede minimizarse (dando posibilidades para optimizar la carga para el grupo motor/motores diésel) o usarse para gobernar como un timón.

20 Basándose en el comando de gobierno, el gobierno puede producirse teniendo la rueda 204 activa y las aletas 214A, 214B, 214C, 214D bloqueadas, o la rueda 204 bloqueada y las aletas 214A, 214B, 214C, 214D activas, o manteniendo la rueda 204 y las aletas 214A, 214B, 214C, 214D activas. En la última opción, puede elegirse un ángulo de ataque de acuerdo con un campo de estela que produce la elevación máxima (la fuerza lateral más grande para el gobierno). A velocidades más bajas, la realización proporciona una analogía con un timón con aleta que mejora la fuerza lateral utilizando un ángulo mayor para la aleta 214A, 214B, 214C, 214D en el lado de popa. La expresión timón con aleta se refiere a un timón de múltiples secciones, en donde una sección de popa articulada actúa como una superficie de control adicional.

30 Aunque la invención se ha descrito con referencia a una o más realizaciones de acuerdo con los dibujos adjuntos, es obvio que la invención no está restringida a las mismas, sino que puede modificarse de varias formas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Todas las palabras y expresiones deberían interpretarse en un sentido amplio, y pretenden ilustrar, no restringir, las realizaciones. Será obvio para un experto en la materia que, a medida que avanza la tecnología, el concepto inventivo puede implementarse de diversas formas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para controlar la propulsión de una embarcación marina (102), que comprende:

5 una interfaz de embarcación (506) acoplable con un sistema de control de embarcación (106);  
 una interfaz de control (508) para controlar un sistema de propulsión de rueda de aletas (104), sistema de propulsión  
 de rueda de aletas (104) que comprende una rueda rotatoria (204) accionada por un motor de rueda (202) y controlada  
 por un controlador de rueda (200), una pluralidad de aletas rotatorias (214A, 214B, 214C, 214D) unidas  
 10 perpendicularmente a la rueda (204), alimentada cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) por un motor de aleta (212A,  
 212B, 212C, 212D) y controlada por un mecanismo de accionamiento de aleta (210A, 210B, 210C, 210D), un sensor  
 de rueda (206) para medir una posición de rueda angular real de la rueda (204) y una pluralidad de sensores de aleta  
 (216A, 216B, 216C, 216D) para medir una posición de aleta angular real de cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D);  
 una o más memorias (502) que incluyen código de programa informático (504); y  
 15 uno o más procesadores (500) para ejecutar el código de programa informático (504) para hacer que el aparato (100)  
 realice al menos lo siguiente:

recibir (602) un estado de operación de rueda (520) desde el controlador de rueda (200);  
 recibir (604) una pluralidad de estados de operación de aleta (522) desde una pluralidad de mecanismos de  
 accionamiento de aleta (210A, 210B, 210C, 210D);  
 20 recibir (606) un comando (524) desde el sistema de control de embarcación (106);  
 generar (608) datos de control de rueda (528) para el controlador de rueda (200) para controlar una función de paso  
 de aleta (532) del sistema de propulsión de rueda de aletas (104) basándose en el comando (524) en vista del estado  
 de operación de rueda (520); y  
 generar (610) datos de control de aleta (530) para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta (210A,  
 210B, 210C, 210D) para controlar adicionalmente la función de paso de aleta (532) del sistema de propulsión de rueda  
 25 de aletas (104) basándose en el comando (524) en vista del estado de operación de rueda (520) y la pluralidad de  
 estados de operación de aleta (522),  
**caracterizado por que** se genera (612) un par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo  
 de accionamiento de aleta (210A, 210B, 210C, 210D) usando un modelo de antealimentación de aleta.

2. El aparato de la reivindicación 1, en donde se hace que el aparato (100) realice:

recibir (620) la posición de rueda angular real como parte del estado de operación de rueda (520);  
 recibir (622) una velocidad de rueda real como parte del estado de operación de rueda (520), o generar (630) la  
 35 velocidad de rueda real basándose en una pluralidad de posiciones de rueda angulares reales;  
 recibir (624) una posición de aleta angular de referencia para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) como parte del  
 estado de operación de aleta (522);  
 recibir (626) una velocidad de aleta de referencia para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) como parte del estado  
 de operación de aleta (522);  
 40 recibir (628) una aceleración de aleta de referencia para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) como parte del estado  
 de operación de aleta (522); y  
 generar (612) el par de referencia de los datos de control de aleta (530) para cada mecanismo de accionamiento de  
 aleta (210A, 210B, 210C, 210D) usando el modelo de antealimentación, cuyas entradas son la posición de rueda  
 angular real, la posición de aleta angular de referencia, la velocidad de rueda real, la velocidad de aleta de referencia  
 45 y la aceleración de aleta de referencia, y el par de referencia se modifica por un par de retroalimentación de posición  
 que describe una diferencia en el par entre la posición de aleta angular de referencia y la posición de aleta angular  
 real, y por un par de retroalimentación de velocidad que describe una diferencia en el par entre la velocidad de aleta  
 de referencia y la velocidad de aleta real.

3. El aparato de la reivindicación 1, en donde se hace que el aparato (100) realice:

recibir (620) la posición de rueda angular real como parte del estado de operación de rueda (520);  
 recibir (632) la posición de aleta angular real para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) como parte del estado de  
 operación de aleta (522);  
 55 recibir (634) una velocidad de aleta real como parte del estado de operación de aleta (522), o generar (636) la velocidad  
 de aleta real basándose en una pluralidad de posiciones de aleta angulares reales;  
 recibir (638) un par de aleta real para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) como parte del estado de operación de  
 aleta (522);  
 recibir (640) uno o más parámetros desde la función de paso de aleta (532);  
 60 generar (642, 644, 646) una velocidad de aleta de referencia (810), una posición de aleta angular de referencia (812)  
 y una aceleración de aleta de referencia (814) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) basándose en la posición  
 de rueda angular real y el uno o más parámetros;  
 generar (612) el par de referencia (820) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) basándose en la velocidad de aleta  
 de referencia (810), la posición de aleta angular de referencia (812) y la aceleración de aleta de referencia (814) para  
 65 cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D); y

ajustar (648) el par de referencia (820) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) basándose en el par de aleta real (822) de cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D).

4. El aparato de la reivindicación 3, en donde se hace que el aparato (100) realice:

ajustar (650) la velocidad de aleta de referencia (810) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) basándose en la velocidad de aleta real (816) de cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D);

ajustar (652) la posición de aleta angular de referencia (812) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) basándose en la posición de aleta angular real (818) de cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D); y

ajustar (654) la aceleración de aleta de referencia (814) para cada aleta (214A, 214B, 214C, 214D) usando un modelo de antealimentación de aceleración (804).

5. El aparato de la reivindicación 1, en donde se hace que el aparato (100) realice:

aplicar (656) una derivada de segundo orden (900) sobre la función de paso de aleta (532) para generar un comando de compensación de par (910); y

multiplicar (658) el comando de compensación de par por una constante de compensación de par para generar el par de referencia (910) de los datos de control de aleta (530) para cada mecanismo de accionamiento de aleta (210A, 210B, 210C, 210D).

6. El aparato de la reivindicación 1, en donde se hace que el aparato (100) realice:

recibir (660) un comando de gobierno desde el sistema de control de embarcación (106) que da instrucciones al sistema de propulsión de rueda de aletas (104) para que gobierne la embarcación marina (102); y

generar (608, 610), basándose en el comando de gobierno, datos de control de rueda (528) para el controlador de rueda (200) y datos de control de aleta (530) para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta (210A, 210B, 210C, 210D).

7. El aparato de cualquier reivindicación anterior 1 a 6, en donde el motor de rueda (202) es un motor eléctrico, y el controlador de rueda (200) es un mecanismo de accionamiento de rueda configurado para controlar la energía eléctrica enviada al motor eléctrico (202).

8. El aparato de cualquier reivindicación anterior 1 a 6, en donde el motor de rueda (202) es un motor térmico (114), y el controlador de rueda (200) está configurado para controlar eléctricamente el motor térmico.

9. Un método para controlar la propulsión de una embarcación marina, implementándose la propulsión al menos parcialmente mediante un sistema de propulsión de rueda de aletas, sistema de propulsión de rueda de aletas que comprende una rueda rotatoria accionada por un motor de rueda y controlada por un mecanismo de accionamiento de rueda, una pluralidad de aletas rotatorias unidas perpendicularmente a la rueda, alimentada cada aleta por un motor de aleta y controlada por un mecanismo de accionamiento de aleta, un sensor de rueda para medir una posición de rueda angular real de la rueda y una pluralidad de sensores de aleta para medir una posición de aleta angular real de cada aleta, comprendiendo el método:

recibir (602) un estado de operación de rueda desde el mecanismo de accionamiento de rueda;

recibir (604) una pluralidad de estados de operación de aleta desde una pluralidad de mecanismos de accionamiento de aleta;

recibir (606) un comando desde el sistema de control de embarcación;

generar (608) datos de control de rueda para el mecanismo de accionamiento de rueda para controlar una función de paso de aleta del sistema de propulsión de rueda de aletas basándose en el comando en vista del estado de operación de rueda; y

generar (610) datos de control de aleta para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta para controlar adicionalmente la función de paso de aleta del sistema de propulsión de rueda de aletas basándose en el comando en vista del estado de operación de rueda y la pluralidad de estados de operación de aleta, en donde un par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo de accionamiento de aleta se genera (612) usando un modelo de antealimentación de aleta.

10. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

recibir (620) la posición de rueda angular real como parte del estado de operación de rueda;

recibir (622) una velocidad de rueda real como parte del estado de operación de rueda, o generar (630) la velocidad de rueda real basándose en una pluralidad de posiciones de rueda angulares reales;

recibir (624) una posición de aleta angular de referencia para cada aleta como parte del estado de operación de aleta;

recibir (626) una velocidad de aleta de referencia para cada aleta como parte del estado de operación de aleta;

recibir (628) una aceleración de aleta de referencia para cada aleta como parte del estado de operación de aleta; y

generar (612) el par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo de accionamiento de aleta usando el modelo de antealimentación, cuyas entradas son la posición de rueda angular real, la posición de aleta

angular de referencia, la velocidad de rueda real, la velocidad de aleta de referencia y la aceleración de aleta de referencia, y el par de referencia se modifica por un par de retroalimentación de posición que describe una diferencia en el par entre la posición de aleta angular de referencia y la posición de aleta angular real, y por un par de retroalimentación de velocidad que describe una diferencia en el par entre la velocidad de aleta de referencia y la velocidad de aleta real.

5

11. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

recibir (620) la posición de rueda angular real como parte del estado de operación de rueda;  
 recibir (632) la posición de aleta angular real para cada aleta como parte del estado de operación de aleta;  
 recibir (634) una velocidad de aleta real como parte del estado de operación de aleta, o generar (636) la velocidad de aleta real basándose en una pluralidad de posiciones de aleta angulares reales;  
 recibir (638) un par de aleta real para cada aleta como parte del estado de operación de aleta;  
 recibir (640) uno o más parámetros desde la función de paso de aleta;  
 generar (642, 644, 646) una velocidad de aleta de referencia, una posición de aleta angular de referencia y una aceleración de aleta de referencia para cada aleta basándose en la posición de rueda angular real y el uno o más parámetros;  
 generar (612) el par de referencia para cada aleta basándose en la velocidad de aleta de referencia, la posición de aleta angular de referencia y la aceleración de aleta de referencia para cada aleta; y  
 ajustar (648) el par de referencia para cada aleta basándose en el par de aleta real de cada aleta.

10

15

20

12. El método de la reivindicación 11, que comprende además:

ajustar (650) la velocidad de aleta de referencia para cada aleta basándose en la velocidad de aleta real de cada aleta;  
 ajustar (652) la posición de aleta angular de referencia para cada aleta basándose en la posición de aleta angular real de cada aleta; y  
 ajustar (654) la aceleración de aleta de referencia para cada aleta usando un modelo de antealimentación de aceleración.

25

30

13. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

aplicar (656) una derivada de segundo orden sobre la función de paso de aleta para generar un comando de compensación de par; y  
 multiplicar (658) el comando de compensación de par por una constante de compensación de par para generar el par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo de accionamiento de aleta.

35

14. El método de la reivindicación 9, que comprende además:

recibir (660) un comando de gobierno desde el sistema de control de embarcación que da instrucciones al sistema de propulsión de rueda de aletas para que gobierne la embarcación marina; y  
 generar (608, 610), basándose en el comando de gobierno, datos de control de rueda para el mecanismo de accionamiento de rueda y datos de control de aleta para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta.

40

45

50

15. Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo un método para controlar la propulsión de una embarcación marina, implementándose la propulsión al menos parcialmente mediante un sistema de propulsión de rueda de aletas, sistema de propulsión de rueda de aletas que comprende una rueda rotatoria accionada por un motor de rueda y controlada por un mecanismo de accionamiento de rueda, una pluralidad de aletas rotatorias unidas perpendicularmente a la rueda, alimentada cada aleta por un motor de aleta y controlada por un mecanismo de accionamiento de aleta, un sensor de rueda para medir una posición de rueda angular real de la rueda y una pluralidad de sensores de aleta para medir una posición de aleta angular real de cada aleta, comprendiendo el método:

recibir (604) una pluralidad de estados de operación de aleta desde una pluralidad de mecanismos de accionamiento de aleta;

55

recibir (606) un comando desde el sistema de control de embarcación;  
 generar (608) datos de control de rueda para el mecanismo de accionamiento de rueda para controlar una función de paso de aleta del sistema de propulsión de rueda de aletas basándose en el comando en vista del estado de operación de rueda; y

60

generar (610) datos de control de aleta para la pluralidad de los mecanismos de accionamiento de aleta para controlar adicionalmente la función de paso de aleta del sistema de propulsión de rueda de aletas basándose en el comando en vista del estado de operación de rueda y la pluralidad de estados de operación de aleta, en donde un par de referencia de los datos de control de aleta para cada mecanismo de accionamiento de aleta se genera (612) usando un modelo de antealimentación de aleta.

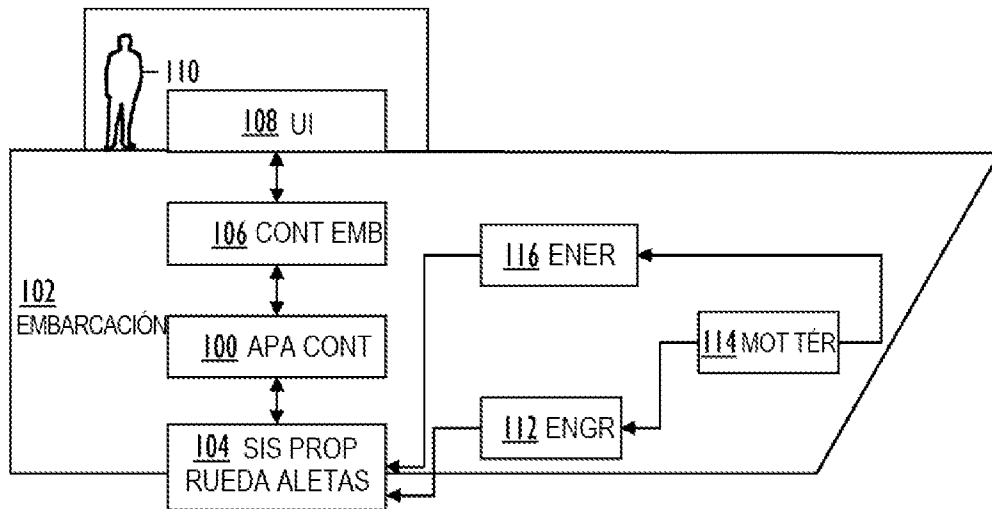


FIG. 1

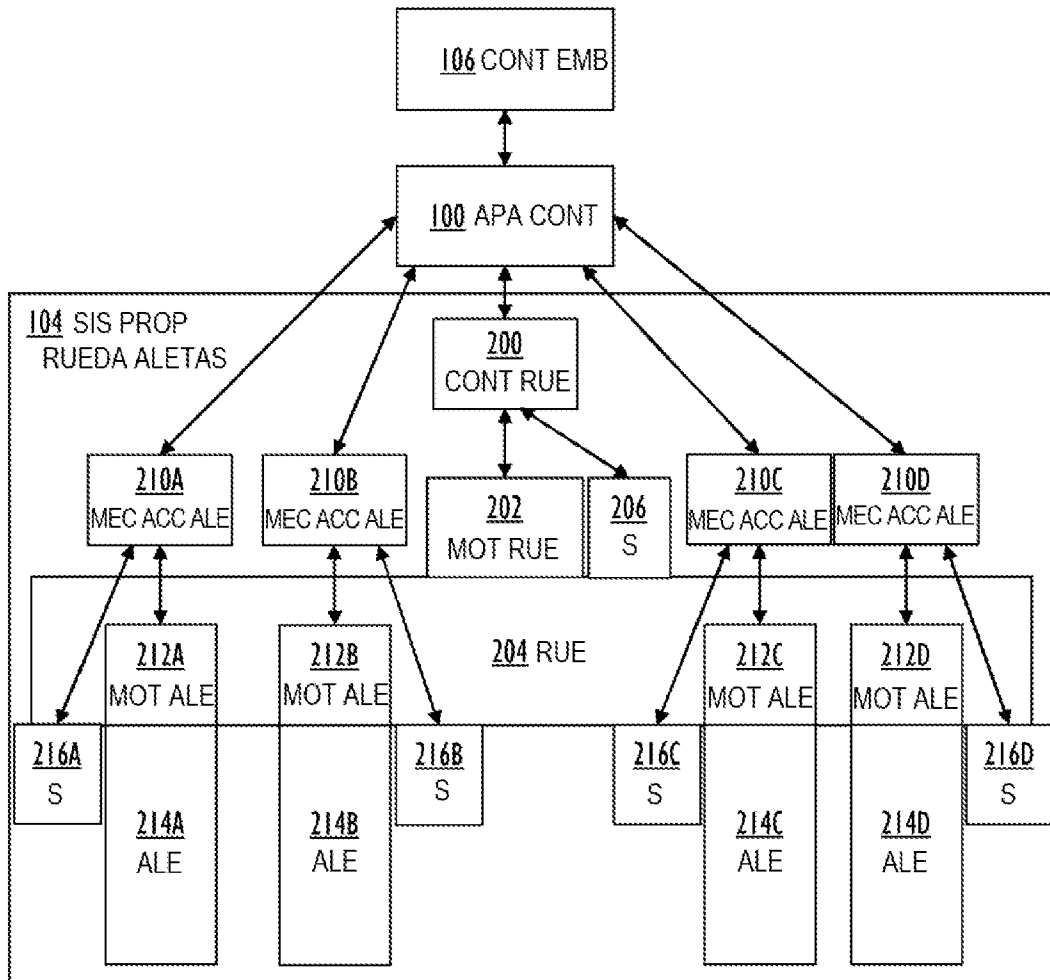


FIG. 2

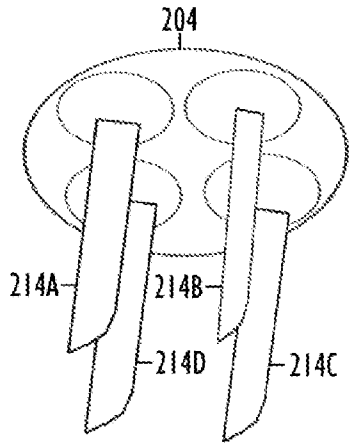


FIG. 3A

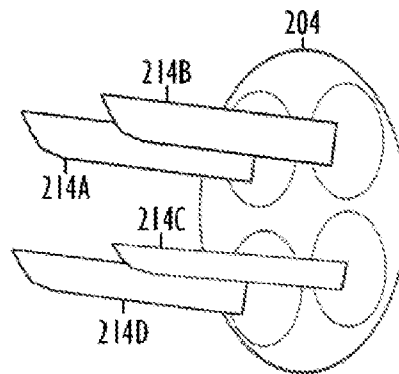


FIG. 3B

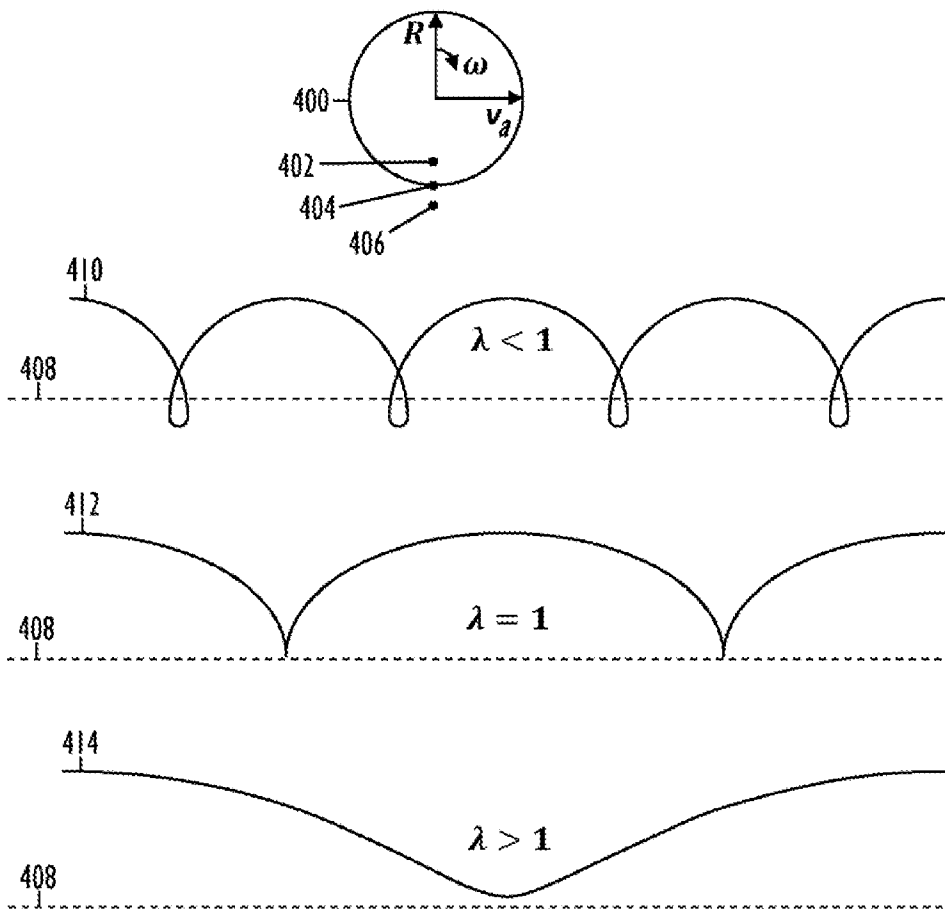


FIG. 4

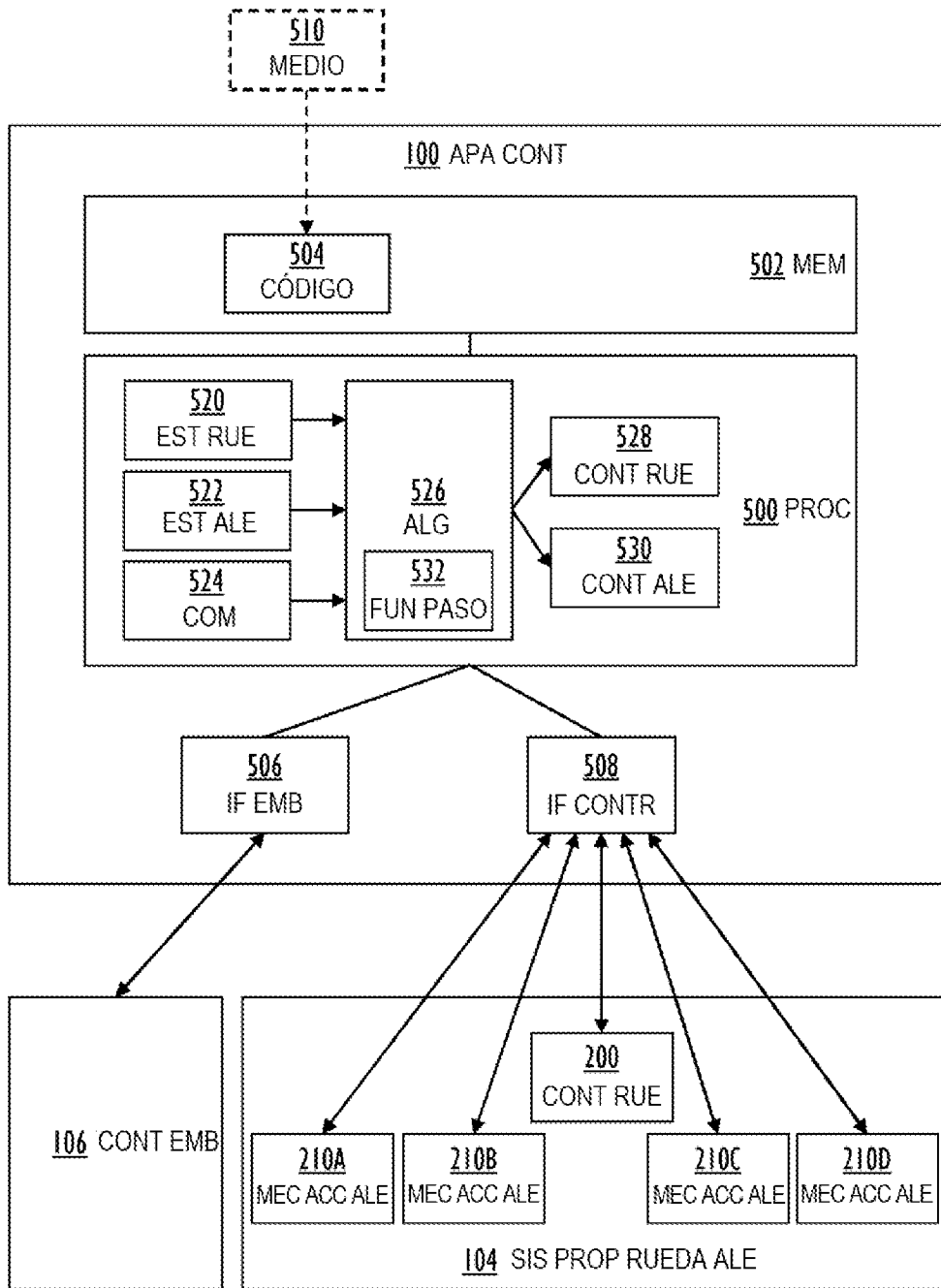


FIG. 5

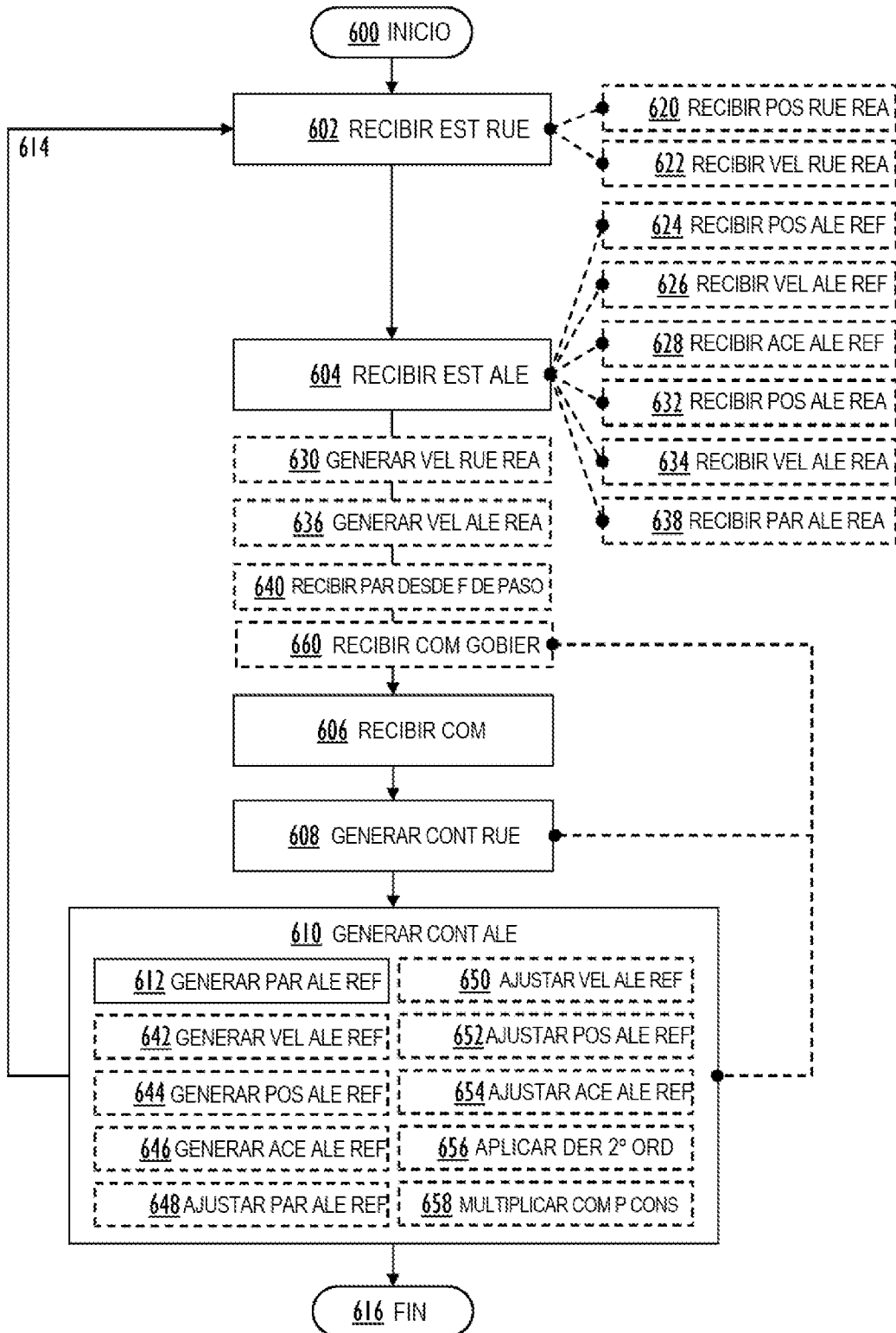


FIG. 6

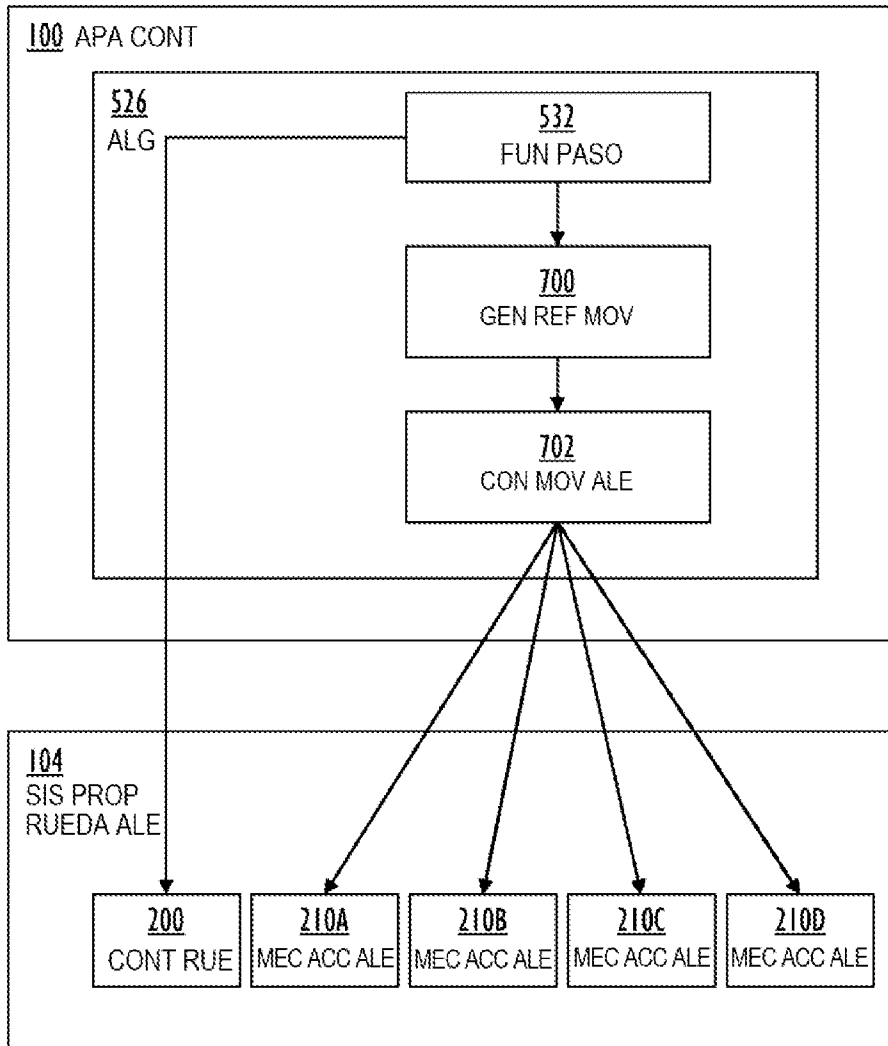


FIG. 7

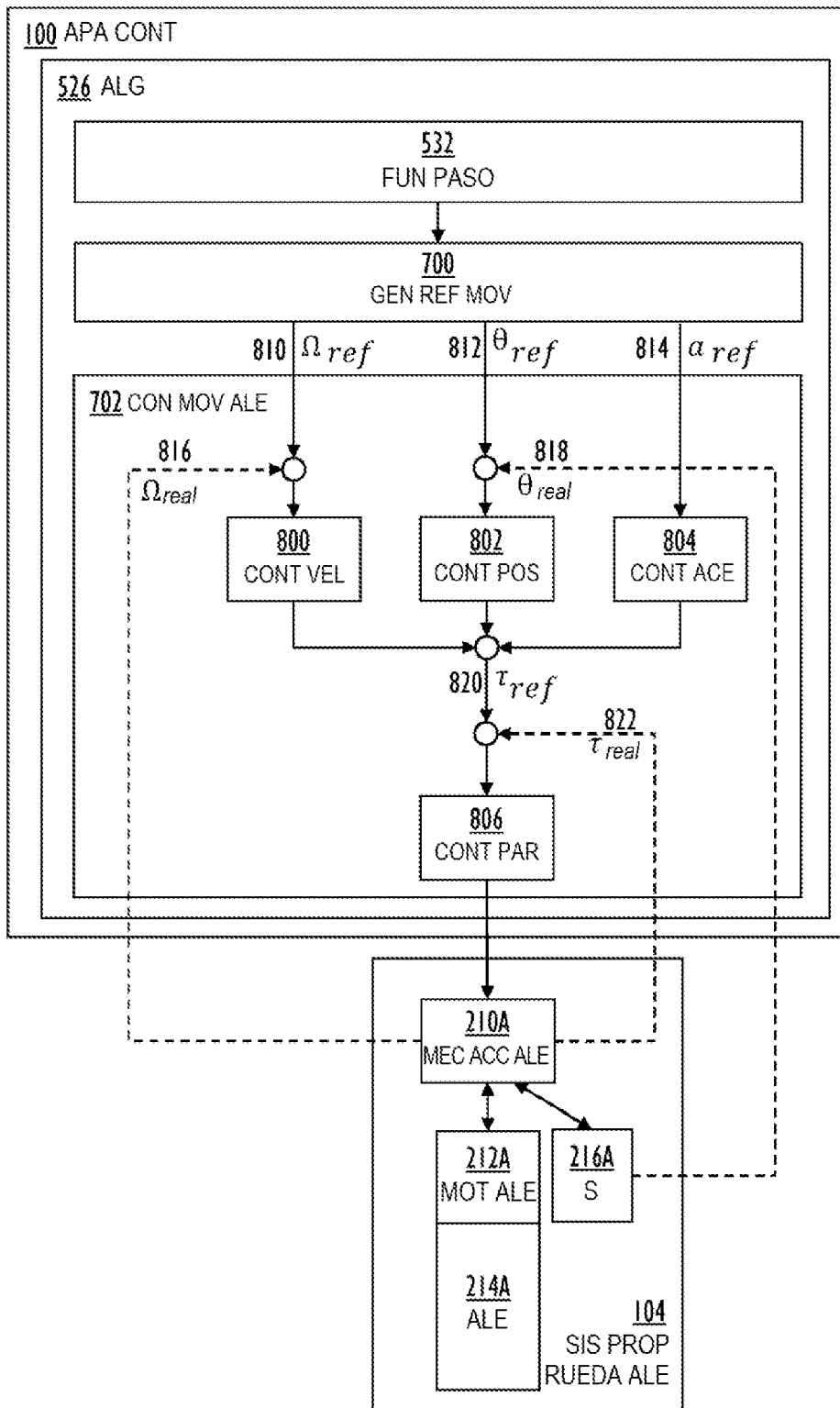


FIG. 8

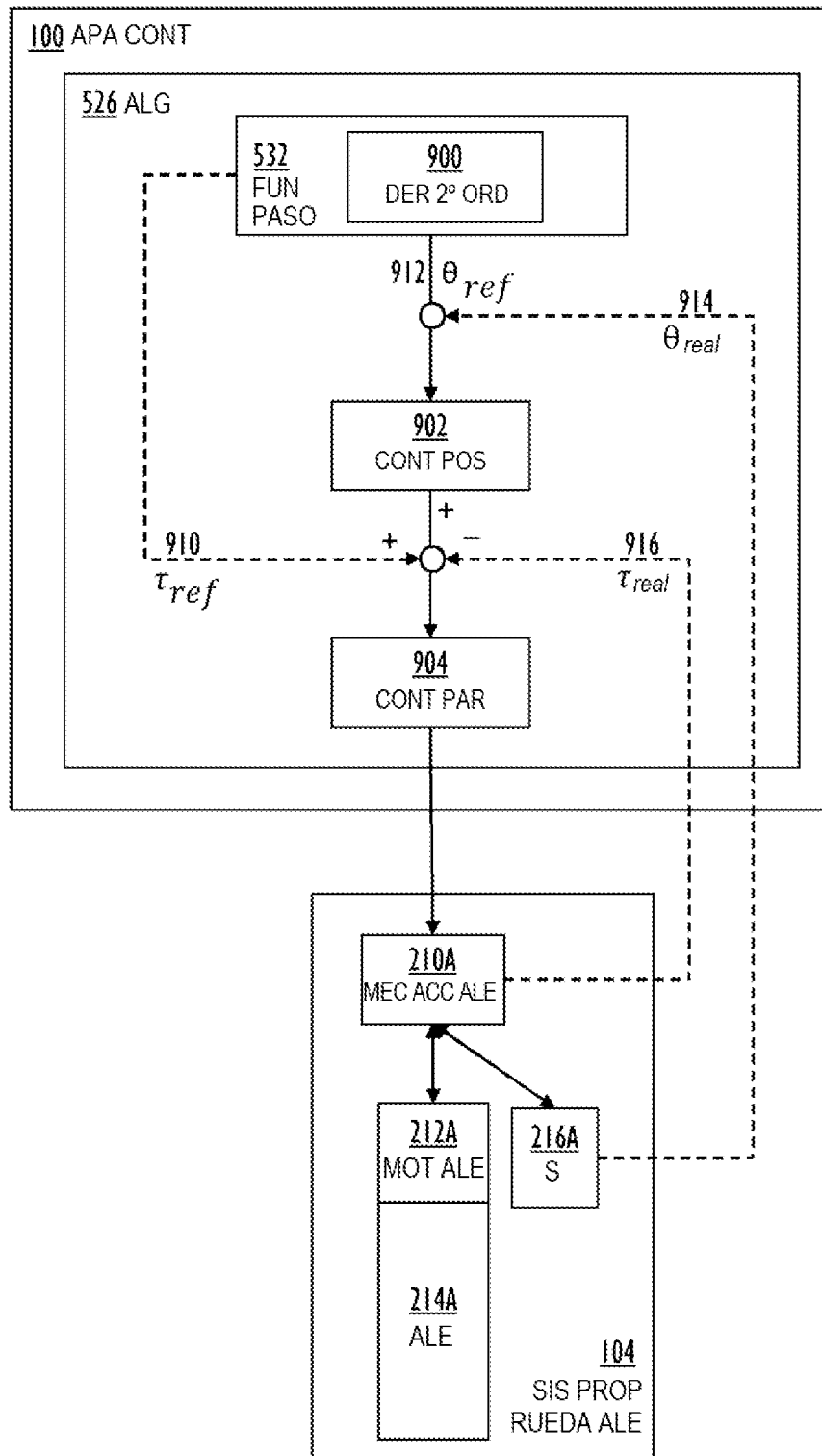


FIG. 9

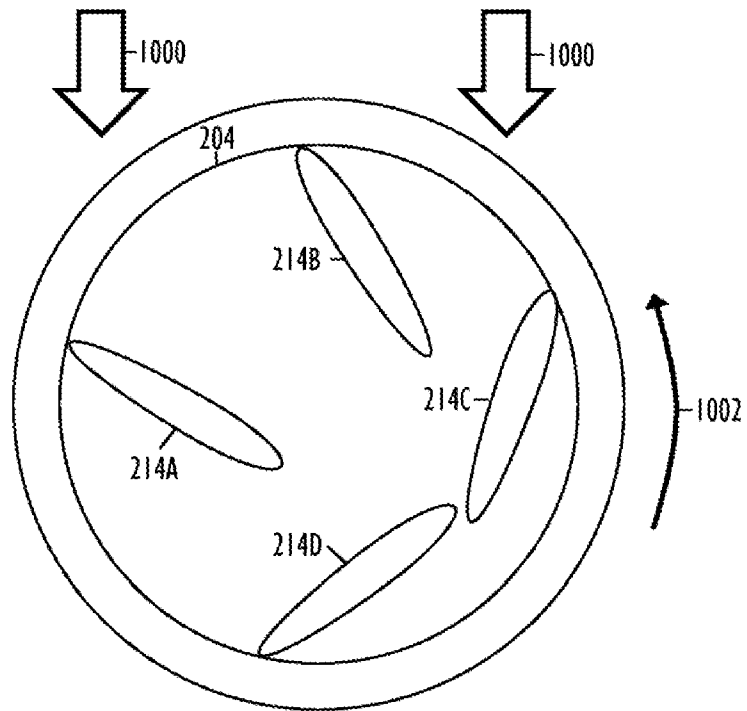


FIG. 10A

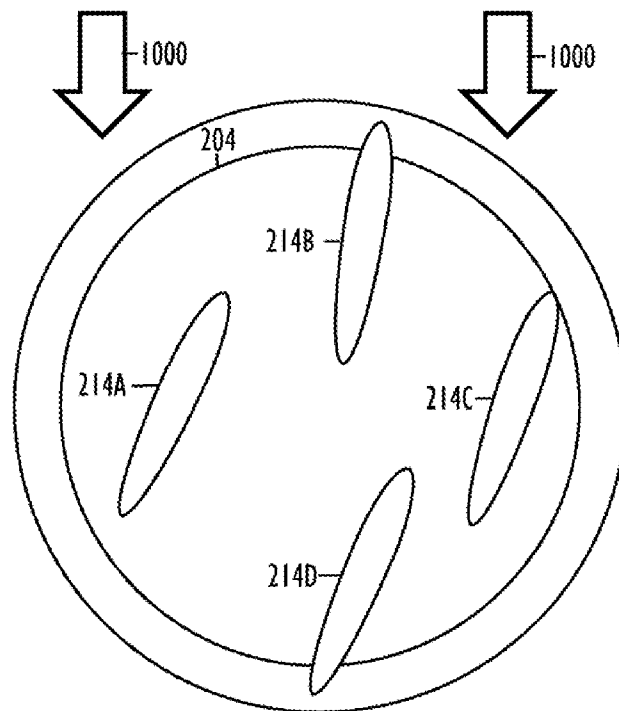


FIG. 10B