

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 672**

51 Int. Cl.:

B64C 11/30 (2006.01)

B64D 27/00 (2006.01)

B64C 27/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.05.2011** **E 11166635 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2388192**

54 Título: **Rotor abierto contrarrotatorio (RACR)**

30 Prioridad:

18.05.2010 US 345725 P

18.05.2010 US 345743 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.04.2017

73 Titular/es:

HAMILTON SUNDSTRAND CORPORATION
(100.0%)

One Hamilton Road
Windsor Locks, CT 06096-1010, US

72 Inventor/es:

TALASCO, ERIC J.;
CARVALHO, PAUL A.;
DANIELSON, DAVID R. y
PERKINSON, ROBERT H.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 608 672 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

Rotor abierto contrarrotatorio (RACR)

5 ANTECEDENTES

La presente descripción se refiere a motores de turbinas de gas, y más en particular al funcionamiento Beta de un rotor abierto contrarrotatorio (RACR).

- 10 Un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) incluye un motor de turbina de gas con rotores descarenados contrarrotatorios fuera de una estructura de góndola. Los propulsores de hélices también se conocen como motores de índice de derivación ultraalto (UHB) y, más recientemente, motores de reacción de rotor abierto. El diseño está destinado a ofrecer la velocidad y el rendimiento de un turbofán, con el ahorro de combustible de una turbohélice. Se describe un RACR de este tipo en el documento GB-2.194.357, que se contempla como la técnica anterior más
15 cercana y divulga todas las características del preámbulo de la reivindicación independiente 11.

Los RACR pueden plantear dificultades especiales en términos de aerodinámica, aeroacústica y dinámica estructural, ya que los rotores delantero y trasero están fuera de la estructura de góndola y están situados relativamente cerca entre sí, lo que puede dar lugar a interacciones entre los rotores.

20

RESUMEN

- Un procedimiento para controlar un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) de acuerdo con la invención tal como se indica en la reivindicación 1 incluye la medida de una velocidad de un primer rotor para obtener una velocidad
25 medida del primer rotor; y se caracteriza porque incluye las etapas adicionales consistentes en: la medida de la velocidad de salida de la turbina de potencia para obtener una velocidad medida de la turbina de potencia; la obtención de la velocidad de un segundo rotor en función de la velocidad medida del primer rotor y la velocidad medida de la turbina de potencia para obtener una velocidad derivada del segundo rotor; y el control del paso del primer rotor y del paso del segundo rotor en respuesta a la velocidad medida del primer rotor y la velocidad derivada
30 del segundo rotor.

- Un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) de acuerdo con la invención tal como se indica en la reivindicación 11 incluye un primer rotor; un segundo rotor; y un módulo de control de rotor; y se caracteriza porque dicho módulo de control de rotor está operativo para obtener la velocidad de uno de entre dicho primer rotor y dicho segundo rotor y
35 para medir la velocidad del otro de entre dicho primer rotor y dicho segundo rotor; y porque dicho módulo de control de rotor está configurado para evitar la entrada de dicho segundo rotor en una depresión de coeficiente de potencia (CP) durante Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente; y/o donde el paso de dicho segundo rotor está limitado a un límite de paso inferior durante Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente.

40

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- Para el experto en la materia serán evidentes diversas características a partir de la siguiente descripción detallada de la realización no limitativa divulgada. Los dibujos que acompañan a la descripción detallada pueden describirse
45 brevemente del modo siguiente:

- la Figura 1 es una vista en perspectiva en general de una realización de ejemplo de un motor de turbina de gas para su uso con un propulsor de hélice de rotor abierto contrarrotatorio (RACR);
la Figura 2 es una vista ampliada del propulsor de hélice RACR;
50 la Figura 3 es una representación esquemática de un programa de posición de control de rotor;
la Figura 4 es una vista esquemática ampliada de un cojinete de transferencia para el propulsor de hélice RACR;
la Figura 5 es un diagrama de bloques de una realización no limitativa de un sistema de control para controlar los rotores descarenados contrarrotatorios del propulsor de hélice RACR;
la Figura 6 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor delantero del propulsor de hélice
55 RACR de la Figura 5;
la Figura 7 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor trasero del propulsor de hélice RACR de la Figura 5;
la Figura 8 es una representación esquemática de un sistema de retroalimentación para un rotor trasero del propulsor de hélice RACR de la Figura 5;

la Figura 9 es un diagrama de bloques de otra realización no limitativa de un sistema de control para controlar los rotores descarenados contrarrotatorios del propulsor de hélice RACR;

la Figura 10 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor delantero del propulsor de hélice RACR de la Figura 9;

5 la Figura 11 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor trasero del propulsor de hélice RACR de la Figura 9;

la Figura 12 es una representación esquemática de un sistema de contrapesos del propulsor de hélice RACR de la Figura 9;

10 la Figura 13 es un diagrama de bloques de otra realización no limitativa de un sistema de control para controlar los rotores descarenados contrarrotatorios del propulsor de hélice RACR;

la Figura 14 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor delantero del propulsor de hélice RACR de la Figura 13; y

la Figura 15 es una representación esquemática de un mapa de control de un rotor trasero del propulsor de hélice RACR de la Figura 13.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) (20). El RACR (20) incluye generalmente un motor de turbina de gas (22) con rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26) fuera de una estructura de góndola (28) en un eje de motor longitudinal central A. El RACR (20) puede estar configurado como un tractor (rotores delante del motor en una configuración de tracción) o como un impulsor (mostrado). Aunque se representa como arquitectura particular en la realización no limitativa divulgada, debe entenderse que los conceptos descritos en la presente memoria descriptiva son aplicables a otras arquitecturas.

25 El motor de turbina de gas (22) incorpora generalmente una sección de compresor (30), una sección de cámara de combustión a presión (32) y una sección de turbina (34) con una turbina de potencia (36). La turbina de potencia (36) proporciona una salida de velocidad y par de torsión para accionar un sistema de engranajes (38) que acciona los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26). Las secciones se definen a lo largo del eje de motor longitudinal central A y el sistema de engranajes (38) puede estar situado axialmente entre los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26).

Con referencia a la Figura 2, el sistema de engranajes (38) en la realización no limitativa divulgada es una caja de engranajes diferencial planetaria que incluye generalmente un engranaje central (40) accionado por la turbina de potencia (36), múltiples engranajes planetarios (42), un portaengranajes planetarios (44) y una corona dentada (46) que gira con respecto a una estructura fija (48). El rotor delantero (24) gira con el portaengranajes planetarios (44) y el rotor trasero (26) gira en sentido contrario con la corona dentada (46).

Los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26) incluyen cada uno múltiples palas de la hélice (24B, 26B) (se muestra una) que están conectadas con el portaengranajes planetarios (44) y la corona dentada (46) a través de un sistema de cambio de paso (50, 52). Los sistemas de cambio de paso (50, 52) incluyen un accionador de campo de paso delantero móvil axialmente (54) y un accionador de campo de paso trasero móvil axialmente (56) para el paso con las palas de rotor (24B, 26B) alrededor de un eje de motor respectivo (B1, B2) para conseguir el modo de hélice deseado tal como Puesta en bandera, Regulación de velocidad delantera, "zona no permitida" de depresión de CP (coeficiente de potencia) e Inverso (Figura 3).

45

Los sistemas de cambio de paso (50, 52) pueden incluir sistemas de accionamiento hidráulico lineal con presiones medidas que pueden canalizarse a un tubo de transferencia de aceite (60) que contiene al menos cuatro pasos hidráulicos separados (Figura 4). El aceite suministrado a través del tubo de transferencia de aceite (60) a los accionadores de cambio de paso (54, 56) puede fluir a través de un cojinete de transferencia de cuatro apoyos (62) situado en el extremo posterior del tubo de transferencia de aceite (60). El cojinete de transferencia (62) proporciona la conexión hidráulica entre el hardware estático y rotatorio. Se proporcionan dos presiones (paso grueso y paso fino - rotor delantero) desde el tubo de transferencia de aceite (60) al accionador de cambio de paso delantero (54), mientras que las otras dos presiones (paso grueso y paso fino - rotor trasero) son proporcionadas al accionador de cambio de paso trasero (56) a través de un cojinete de transferencia trasero (64).

50

Cada uno de los accionadores de cambio de paso (54, 56) incluye un pistón de doble acción con áreas diferenciales dimensionadas de acuerdo con los requisitos estructurales y de rendimiento del accionador de cambio de paso. Cada accionador de cambio de paso (54, 56) incluye una horquilla de cambio de paso (54Y, 56Y) que transmite la salida de fuerza lineal del accionador de cambio de paso (54, 56) a un perno (24T, 26T) en la base de cada pala del

rotor (24B, 26B).

Con referencia a la Figura 3, un módulo de control de rotor (58) proporciona la medida y el control del aceite suministrado al sistema de cambio de paso (50, 52) para modificar el paso de los rotores (24, 26) del RACR (20).

5 Debe entenderse que la Figura 3 es una representación en diagrama de bloques de las funciones que pueden aplicarse en circuitos de hardware dedicados o en rutinas de software programadas susceptibles de su ejecución en un entorno de control electrónico basado en microprocesadores tal como un módulo de control de rotor (58). El módulo de control de rotor (58) usa dos modos primarios de control de la hélice para un sistema de hélice de velocidad constante: control de velocidad fijo y control beta. En vuelo a alta potencia, el RACR (20) está en modo de control de velocidad fijo que, en el lenguaje técnico, actúa como un regulador isócrono. Es decir, los rotores (24, 26) son esencialmente el regulador para la turbina de potencia (36) del motor de turbina de gas. Así el módulo de control de rotor (58) establece un requisito de velocidad fija y después ajusta el ángulo de pala del rotor para absorber las salidas de potencia del motor de turbina de gas (22) de manera que la velocidad de la pala de velocidad del rotor permanezca fija. Aunque, pueden existir velocidades del rotor seleccionables adicionales para condiciones de vuelo en particular, una vez que se selecciona la velocidad, se realiza el cambio de potencia a través del cambio de paso de las palas de rotor y no del cambio de velocidad para asegurar que se mantienen las frecuencias de las palas del rotor en regiones prediseñadas y que se dispone de un rendimiento óptimo.

A medida que disminuye la potencia, se reduce la efectividad de los rotores (24, 26) y el regulador para la turbina de potencia (36). Es decir, la pendiente aumenta conforme el paso se acerca a la depresión CP donde cambios relativamente grandes en el ángulo de las palas del rotor no producen un cambio importante en la absorción de potencia. La "zona no permitida" de depresión CP es la región en la que los rotores (24, 26) no pueden controlarse de manera efectiva a través de un cambio en el paso de la pala del rotor. Por ejemplo, si el paso de una pala del rotor menor que el límite de paso inferior es controlado en vuelo, la velocidad aerodinámica delantera de la aeronave puede hacer girar el rotor por el viento lo que aumenta la potencia en el sistema de manera que el rotor puede tener un exceso de velocidad. El movimiento adicional del ángulo de pala en la depresión en la dirección de paso descendente producirá un exceso de velocidad en aumento hasta que el ángulo de pala ha alcanzado la región inversa donde la reducción adicional en el ángulo de pala empezará a absorber potencia y a reducir así la velocidad de la hélice, lo que parece ir en contra de la intuición. En ciertas condiciones, esta "zona no permitida" de depresión CP puede producir órdenes invertidas que provocan un exceso de velocidad de los rotores.

El límite de paso inferior es el mínimo ángulo de paso de la pala en el modo fijo de control de velocidad por debajo del cual la velocidad del rotor no puede controlarse de manera efectiva. Sin embargo, es preciso pasar por el límite de paso inferior para entrar en el paso inverso. El módulo de control de rotor (58) cambia al modo Control Beta donde se controla directamente el paso de la pala del rotor y no la velocidad. El modo Control Beta se usa normalmente después de la aeronave aterriza y cuando la potencia es relativamente baja, por ejemplo, en marcha lenta en tierra, operaciones en tierra u operaciones inversas.

Con referencia a la Figura 5, una realización no limitativa de un sistema de control (80) con entradas y salidas para controlar los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26) del RACR (20). Las conexiones mecánicas se representan como líneas gruesas que van desde el motor de turbina de gas (22) al sistema de engranajes (38) y después se dividen hacia los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26). Los recuadros de función de líneas negras gruesas entre las trayectorias mecánicas representan las relaciones matemáticas debidas a los sistemas mecánicos.

45 El módulo de control de rotor (58) se comunica con el sistema de cambio de paso (50, 52) y un módulo de control de motor (82) tal como un Full Authority Digital Electronic Control (FADEC, control electrónico digital integral) que se comunica con el motor de turbina de gas (22). Los módulos de control (58, 82) ejecutan algoritmos que se divulgan en términos de bloques funcionales y deben ser comprendidos por los expertos en la materia con la ventaja de esta descripción de que estas funciones pueden aplicarse en circuitos de hardware dedicados o rutinas de software programadas susceptibles de su ejecución en realizaciones de módulos de control de electrónica basados en microprocesadores de diversas configuraciones.

A partir del motor de turbina de gas (22), Npt es la velocidad de la turbina de potencia (36) y T es el par de torsión de la turbina de potencia (36) que es esencialmente la salida de potencia en el sistema de engranajes (38). La salida del sistema de engranajes (38) tiene dos trayectorias, dado que la caja de engranajes diferenciales planetarios proporciona las dos salidas contrarrotatorias para los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26).

T1 y Nr1 son el par de torsión y la velocidad del rotor delantero (24) y T2 y Nr2 son el par de torsión y la velocidad

del rotor trasero (26). La física del sistema de engranajes (38) proporciona las siguientes relaciones matemáticas:

$$Nr1 + Nr2 = C * Npt \quad (1)$$

$$T1 = K * T2 \quad (2)$$

5

donde:

Nr1 es la velocidad del rotor delantero;

Nr2 es la velocidad del rotor trasero;

10 Npt es la velocidad de la turbina de potencia;

T1 es el par de torsión del rotor delantero;

T2 es el par de torsión del rotor trasero;

C es una constante del sistema de engranajes; y

K es una constante del sistema de engranajes.

15

En velocidad isócrona que regula el control de velocidad fijo, se mide la velocidad del rotor y se desea que se mantenga constante. El módulo de control de rotor (58) puede aumentar o reducir el ángulo de pala para absorber más o menos potencia tal como lo proporciona el motor de turbina de gas para mantener constante la velocidad del rotor. El aumento o disminución de la señal se anota como BetaDOT con el significado de "ritmo de cambio de Beta".

20 Para regulación estable en el modo fijo de control de velocidad es conveniente medir el ángulo de pala del rotor. Para operaciones de manejo en tierra, como modo taxi y operación inversa, es conveniente hacer funcionar el sistema en el modo Control beta. Para este fin se requiere retroalimentación Beta.

Debido a la proximidad del rotor delantero (24) a la estructura estacionaria del motor de turbina de gas (22), puede usarse tecnología convencional para proporcionar velocidad (Nr1) y retroalimentación Beta al módulo de control de rotor (58). El rotor trasero (26) está relativamente alejado de la estructura estacionaria del motor de turbina de gas (22) y las señales del rotor trasero (26) deben pasar a través de al menos dos interfaces rotatorias así como al sistema de engranajes (38).

30 Para controlar el paso de pala de los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26), se comunican dos bucles de retroalimentación al módulo de control de rotor (58). Una señal de retroalimentación del ángulo de pala (Retroalimentación Beta1) y un ritmo de cambio controlado de la señal del ángulo de pala (Beta1DOT controlado) se comunican con el rotor delantero (24). Una señal de retroalimentación del ángulo de pala (Retroalimentación Beta2) y un ritmo de cambio controlado de la señal del ángulo de pala (Beta2DOT controlado) se comunican con el trasero (26). En el lenguaje de control, el control de un ritmo como el cambio del ángulo de pala del rotor at grados por segundo en la dirección positiva es una orden de ritmo de cambio y normalmente proporciona un DOT como primera derivada; así pues, BetaDOT sería el ritmo de cambio de Beta.

El ángulo de pala del rotor real y la velocidad del rotor Nr1 pueden medirse directamente, por ejemplo, a través de sensores magnéticos dobles unidos a la estructura estacionaria adyacente al rotor delantero (24) para la comunicación con el módulo de control de rotor (58).

La velocidad de rotación del rotor trasero (26) se calcula (Nr2 derivada) de las funciones matemáticas anteriores del modo siguiente. Es común y necesario que las fabricaciones de motores de turbinas de gas midan la velocidad de la turbina de potencia (36) para proporcionar protección de seguridad frente a excesos de velocidad accidentales y para proporcionar regulación de defecto de velocidad durante el funcionamiento en modo Beta del sistema de rotores. Esta señal es proporcionada normalmente al control del motor (82) para esa función y por tanto está disponible para el control del rotor (58). A continuación Nr2 puede calcularse a partir de la fórmula $Nr2 = C * Npt - Nr1$. Es decir, en esta realización, la velocidad del rotor trasero se deduce, no se mide. Con Beta1, Beta1DOT, Beta2, Beta2DOT y la velocidad rotacional de regulación de la velocidad del rotor trasero (26) (Nr2) se consigue controlar fácilmente el ángulo de pala y se evita un exceso de velocidad en el motor (22) y se mantiene la potencia dentro de los límites deseados en los distintos regímenes. No obstante, esto requiere que las señales Beta2 y Beta2DOT se comuniquen a través de múltiples interfaces rotacionales entre el rotor trasero (26) y el módulo de control de rotor (58), lo que a veces puede resultar un tanto complicado.

55

En esta configuración, el rotor trasero (26) puede usarse de forma completa para operación en tierra e inversa bajo Control Beta de la misma forma que el rotor delantero (24) (Figuras 6 y 7). Es decir, se proporciona una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 controlado así como entre Beta2 real y Beta2 controlado. Esta relación lineal permite un paso negativo controlado o un paso positivo controlado y los rotores (24, 26) funcionarán a ese paso controlado.

Así pues, no existen restricciones Beta en operación en tierra o en operación inversa.

Con referencia a la Figura 8, para medir la señal de retroalimentación del ángulo de pala (Retroalimentación Beta2) del rotor trasero (26), se conecta un conjunto de retroalimentación (90) al accionador de cambio de paso trasero (56). El conjunto de retroalimentación (90) incluye generalmente un eje de retroalimentación (92), un LVDT (94), una junta deslizante (96) y cojinetes (98A, 98B). El eje de retroalimentación (92) se mantiene estacionario rotacionalmente en los cojinetes (98A, 98B) para proporcionar una trayectoria estacionaria rotacionalmente desde el accionador de cambio de paso trasero (56) al LVDT (94). Los cojinetes (98A) permiten la rotación entre el eje de retroalimentación (92) y el rotor delantero (24) mientras que el cojinete (98B) permite la rotación entre el eje de retroalimentación (92) y el rotor trasero (26).

El conjunto de retroalimentación (90) monitoriza directamente la posición axial del accionador de cambio de paso trasero (56). Dicha retroalimentación puede ser necesaria sólo por debajo de la marcha lenta de vuelo. El eje de retroalimentación (92) incluye un tope axial (92S) de manera que el eje de retroalimentación (92) está restringido axialmente por encima de la marcha lenta de vuelo. El movimiento axial adicional del accionador de cambio de paso trasero (56) por encima de la marcha lenta en vuelo es absorbido por la junta deslizante (96) tal como un muelle que se comprime por encima de la marcha lenta en vuelo con el fin de reducir al mínimo la carrera aplicada al LVDT (94). La limitación de la carrera aumenta la fidelidad de la medida necesaria del LVDT (94). Debe entenderse que de forma alternativa o adicional pueden proporcionarse otros diversos sistemas de medida.

Con referencia a la Figura 9, otra realización no limitativa de un sistema de control (100) con entradas y salidas para controlar los rotores descareados contrarrotatorios (24, 26) del RACR (20). En esta realización no limitativa, la velocidad rotacional del rotor trasero (26) se calcula (Nr2 derivada) de las funciones matemáticas tal como se expone anteriormente y se elimina la señal de retroalimentación Beta2.

Para controlar el rotor trasero (26) ante cualquier aumento o reducción del paso, se dispone de información suficiente dada la relación matemática del sistema de engranajes (38). Es decir, se mide la velocidad de salida de la turbina de potencia Npt y se mide la velocidad del rotor Nr1 del rotor delantero, y después con las relaciones matemáticas, se calcula la velocidad del rotor Nr2 del rotor trasero (26). El control de velocidad del rotor en el modo de regulación de velocidad se lleva a cabo de la misma forma descrita anteriormente para el sistema de la Figura 5 con la excepción de que las ganancias dinámicas usadas para determinar Beta2Dot deben diseñarse de forma que sean compatibles con la condición operativa menos estable.

Dado que el sistema de control (100) no recibe la señal de retroalimentación Beta2, se evita que el rotor trasero (26) entre en modo paso invertido con la introducción de un límite de carrera o un tope fijo en la articulación de accionamiento. Es decir, dado que se elimina el Control Beta para el rotor trasero (26), se impide que el rotor trasero (26) entre un paso por debajo del límite de paso inferior (Figura 3). Las operaciones de Control Beta (por debajo del límite de paso inferior) como la inversión y otras operaciones en tierra semejantes son realizadas por el rotor delantero (24) en solitario dado que el rotor trasero (26) se mantiene fijo en el límite de paso inferior con independencia de que el rotor delantero (24) esté controlado en un paso menor que el límite de paso inferior.

En cualquier momento el sistema de control (100) está en modo control beta, el rotor trasero (26) está en el límite de paso inferior y el rotor delantero (24) se moverá en solitario en el ángulo de palas bajo y en inversión. En esta configuración, el rotor trasero (26) no se usa para operación en tierra e inversa bajo Control Beta dado que lo es el rotor delantero (24) (Figuras 10 y 11). Es decir, se proporciona una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 controlado mientras que la relación lineal entre Beta2 real y Beta2 controlado se interrumpe en el límite de paso inferior.

En una realización no limitativa, el rotor trasero (26) está limitado físicamente al límite de paso inferior por la limitación física de la carrera del accionador de cambio de paso trasero (56). Es decir, durante la operación en tierra el rotor trasero (26) puede colocarse contra el límite de paso inferior (referido a menudo como límite de marcha lenta de vuelo) y los empujes delantero e inverso se controlan mediante una combinación de potencia de motor y control beta del rotor delantero (24).

Como un enfoque de control alternativo, el rotor trasero (26) puede colocarse frente a un límite fijo de puesta en bandera (Figura 3) dado que el uso del límite de paso inferior mecánico en el rotor trasero (26) requiere un control de empuje en tierra basado exclusivamente en cambios de paso de pala del rotor delantero (24). Con el rotor trasero (26) en ángulo de pala de marcha lenta en vuelo, se requiere una magnitud relativamente superior de empuje inverso del rotor delantero (24) debido al empuje delantero generado por el rotor trasero (26) cuando se aplica

potencia inversa cuando el rotor trasero (26) está limitado al límite de paso inferior. Para elevar al máximo el empuje inverso neto, el rotor trasero (26) puede controlarse alternativamente en el ángulo de pala (en bandera) con el fin de minimizar el empuje delantero del rotor trasero (26). Esto puede resultar especialmente ventajoso para aplicación de empuje inverso después del aterrizaje con el fin de minimizar la distancia de parada de la aeronave.

5

Mientras minimizar el empuje delantero generado por el rotor trasero (26) es ventajoso desde la perspectiva de rendimiento de parada de una aeronave después del aterrizaje, la minimización de la variación de velocidad rotacional así como la minimización de la velocidad de rotación media del rotor trasero (26) en operación de empuje inverso también pueden ser ventajosas. Minimizar las zonas de operación de velocidad potencial en el rotor trasero (26) puede ser fundamental para garantizar que el rotor trasero no se hace funcionar de forma continua a una velocidad que puede excitar cualquier frecuencia natural de la pala del rotor. Esta evitación minimizará la posibilidad de acumulación de daños por fatiga en los conjuntos del rotor.

10

En el caso improbable de una pérdida de presión hidráulica en el sistema de propulsión, se montan contrapesos (102) (Figura 12) en la base de cada una de las palas de rotor (24B, 26B) para proporcionar la salida de fuerza necesaria para accionar las palas de rotor (24B, 26B) hacia un aumento de paso de manera que se proporciona un modo de fallo seguro a través de la eliminación de cualquier condición posible de exceso de velocidad del motor.

15

Un sistema de protección electrónico independiente contra exceso de velocidad y límite de paso inferior, como el divulgado en la patente de Estados Unidos nº 6.422.816-B1, proporciona protección en el caso de fallo del sistema de control que pudiera provocar de otro modo un aumento en la RPM del rotor fuera de los límites establecidos o un ángulo de pala controlado por debajo de los límites establecidos. En el caso de una pérdida completa de potencia eléctrica en el sistema de control del rotor, los rotores (24, 26) son accionados hidráulicamente hacia el paso alto (puesta en bandera) para evitar excesos de velocidad así como violaciones del límite de paso inferior en vuelo. Esto puede conseguirse mediante la aplicación de un sesgo eléctrico de valor nulo en la servoválvula electrohidráulica de manera que sin entrada eléctrica en la válvula, el comportamiento es tal que los accionadores (54, 56) siempre son accionados hidráulicamente en la dirección de paso en aumento.

20

Otra realización no limitativa limita el movimiento del rotor trasero (26) al límite de paso inferior a través del enclavamiento del paso tal como se divulga en la solicitud de patente de Estados Unidos nº 2007/0.212.220-A1. En esta realización no limitativa puede haber múltiples enclavamientos de pasos distribuidos simétricamente alrededor de los accionadores de los rotores delantero y trasero que enclavan y evitan carreras no deseadas en la dirección de paso descendente ante la pérdida de potencia hidráulica. Esto permite la reducción o eliminación de los contrapesos y deriva así en una reducción del peso del sistema.

30

Con referencia a la Figura 13, se ilustra esquemáticamente otra realización no limitativa de un sistema de control (110) con entradas y salidas para controlar los rotores descarenados contrarrotatorios (24, 26) del RACR (20). En esta realización no limitativa, los sistemas de cambio de paso (50, 52) están relacionados mecánicamente por ejemplo a través de un tornillo de bolas. El ángulo de pala del rotor delantero (24) (Beta1) es controlado y el ángulo de pala del rotor trasero (26) (Beta2) sigue de manera que existe una relación funcional mecánica $B2 = f(B1)$. La relación está predeterminada tal como se describe en la solicitud de patente de Estados Unidos nº 2010/0.310.369. Esta configuración elimina la necesidad de señales de retroalimentación Nr2 y Beta2 así como la señal de comando Beta2DOT del rotor trasero (26). Así se reduce al mínimo la complejidad.

35

En esta configuración, se usa el rotor trasero (26) para operación en tierra e inversa bajo Control Beta (Figuras 14 y 15). Aunque se proporciona una relación lineal entre Beta1 real y Beta1 controlado, se obtiene una relación no lineal entre Beta2 real y Beta1 controlado del control del rotor trasero (26) a través del rotor delantero (24).

45

La relación no lineal entre Beta2 real y Beta2 controlado puede ser a través de una función de programación proporcionada, por ejemplo, mecánicamente con una leva u otra articulación mecánica de manera que la absorción de potencia de los rotores (24, 26) sea controlada con una señal. Así Beta1 se controla de manera que Beta1 real es una función lineal mientras Beta2 es una función no lineal.

50

Aunque el rotor trasero (26) puede controlarse de forma un tanto menos precisa que el rotor delantero (24), la acústica del RACR (20) puede mejorarse realmente a medida que se reduzca la generación de ruido debido a que las velocidades de los rotores (24, 26) son ligeramente diferentes. Dado que los rotores (24, 26) están en serie en el caudal de aire, la absorción de potencia de cada rotor es diferente de manera que cuando funcionan al unísono la función reduce ventajosamente la generación de ruido. En otras palabras, un rotor (24, 26) estará en funcionamiento a la velocidad controlada mientras que el otro rotor (26, 24) estará cerca pero diferente de manera que el resultado

55

final es un RACR relativamente más tranquilo (20).

Debe entenderse que números de referencia iguales identifican elementos correspondientes o similares a lo largo de varios dibujos. Debe entenderse también que aunque en la realización ilustrada se divulga una configuración particular de componentes, otras disposiciones se beneficiarán de la misma.

Aunque se muestran, describen y reivindican secuencias de etapas en particular, debe entenderse que las etapas pueden realizarse en cualquier orden, separadas o combinadas salvo que se indique de otro modo y aún así se beneficiarán de la presente descripción.

10

La descripción anterior es ilustrativa, en lugar de estar definida por las limitaciones de la misma. En la presente memoria descriptiva se describen diversas realizaciones no limitativas, sin embargo, un experto en la materia reconocerá que diversas modificaciones y variaciones a la luz de las enseñanzas anteriores pueden situarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por tanto debe entenderse que dentro del alcance de las

15

reivindicaciones adjuntas, la descripción puede ponerse en práctica de forma distinta a lo descrito específicamente. Por este motivo deben estudiarse las reivindicaciones adjuntas para determinar el verdadero alcance y contenido.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para controlar un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) que comprende:
 - 5 la medida de una velocidad de un primer rotor (24) para obtener una velocidad medida del primer rotor (Nr1);
la medida de la velocidad de salida de la turbina de potencia (36) para obtener una velocidad medida de la turbina de potencia (Npt);
 - 10 la obtención de la velocidad de un segundo rotor (26) en función de la velocidad medida del primer rotor (Nr1) y la velocidad medida de la turbina de potencia (Npt) para obtener una velocidad derivada del segundo rotor (Nr2); y
el control del paso del primer rotor (24) y del paso del segundo rotor (26) en respuesta a la velocidad medida (Nr1) del primer rotor y la velocidad derivada (Nr2) del segundo rotor.
- 15 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde el primer rotor es un rotor delantero (24) y el segundo rotor es un rotor trasero (26) a lo largo de un eje de rotación común (A).
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, donde un sistema de engranajes (38) que
20 acciona el primer rotor (24) y el segundo rotor (2) está situado axialmente entre el primer rotor (24) y el segundo rotor (26).
4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, 2 ó 3, donde la obtención de la velocidad (Nr2) del segundo rotor (26) tiene lugar en todos los modos de control.
- 25 5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la medida de la retroalimentación del ángulo de pala (Retroalimentación Beta2) del segundo rotor (26) sólo por debajo de la marcha lenta de vuelo.
- 30 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la prevención de que el segundo rotor (26) entre en una depresión de coeficiente de potencia (CP) cuando se sitúa por debajo del Control Beta.
7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende
35 además la limitación del segundo rotor (26) a un límite de paso inferior cuando está bajo Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente.
8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la sujeción mecánica del segundo rotor (26) en un límite de paso inferior cuando está bajo Control Beta
40 donde el paso de rotor está controlado directamente.
9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además al menos un enclavamiento de paso que impide el recorrido en una dirección de paso inferior por debajo de un punto predeterminado.
- 45 10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además la sujeción del segundo rotor (26) en un límite de puesta en bandera cuando el primer rotor (24) está en posición Inversa bajo Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente.
- 50 11. Un rotor abierto contrarrotatorio (RACR) que comprende:
un primer rotor (24);
un segundo rotor (26); y
un módulo de control de rotor (58);
- 55 caracterizado porque dicho módulo de control de rotor (58) está operativo para obtener la velocidad de uno de entre dicho primer rotor (24) y dicho segundo rotor (26) y para medir la velocidad del otro de entre dicho primer rotor (24) y dicho segundo rotor (26) con el procedimiento de la reivindicación 1;
y porque dicho módulo de control de rotor (58) está configurado para evitar la entrada de dicho segundo rotor (26) en

una depresión de coeficiente de potencia (CP) durante Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente; y/o donde el paso de dicho segundo rotor (26) está limitado a un límite de paso inferior durante Control Beta donde el paso de rotor está controlado directamente.

- 5 12. El RACR de acuerdo con la reivindicación 11 donde dicho uno de entre dicho primer rotor y el segundo rotor es un rotor trasero (26) en una configuración propulsora RACR; y/o que comprende además un sistema de engranajes (38) que acciona dicho primer rotor (26) y dicho segundo rotor (26), estando dicho sistema de engranajes dispuesto axialmente entre dicho primer rotor (24) y dicho segundo rotor (26).
- 10 13. El RACR de acuerdo con la reivindicación 11 o 12 donde dicho módulo de control de rotor (58) está configurado para recibir una retroalimentación del ángulo de pala (Retroalimentación Beta2) de dicho segundo rotor (26).

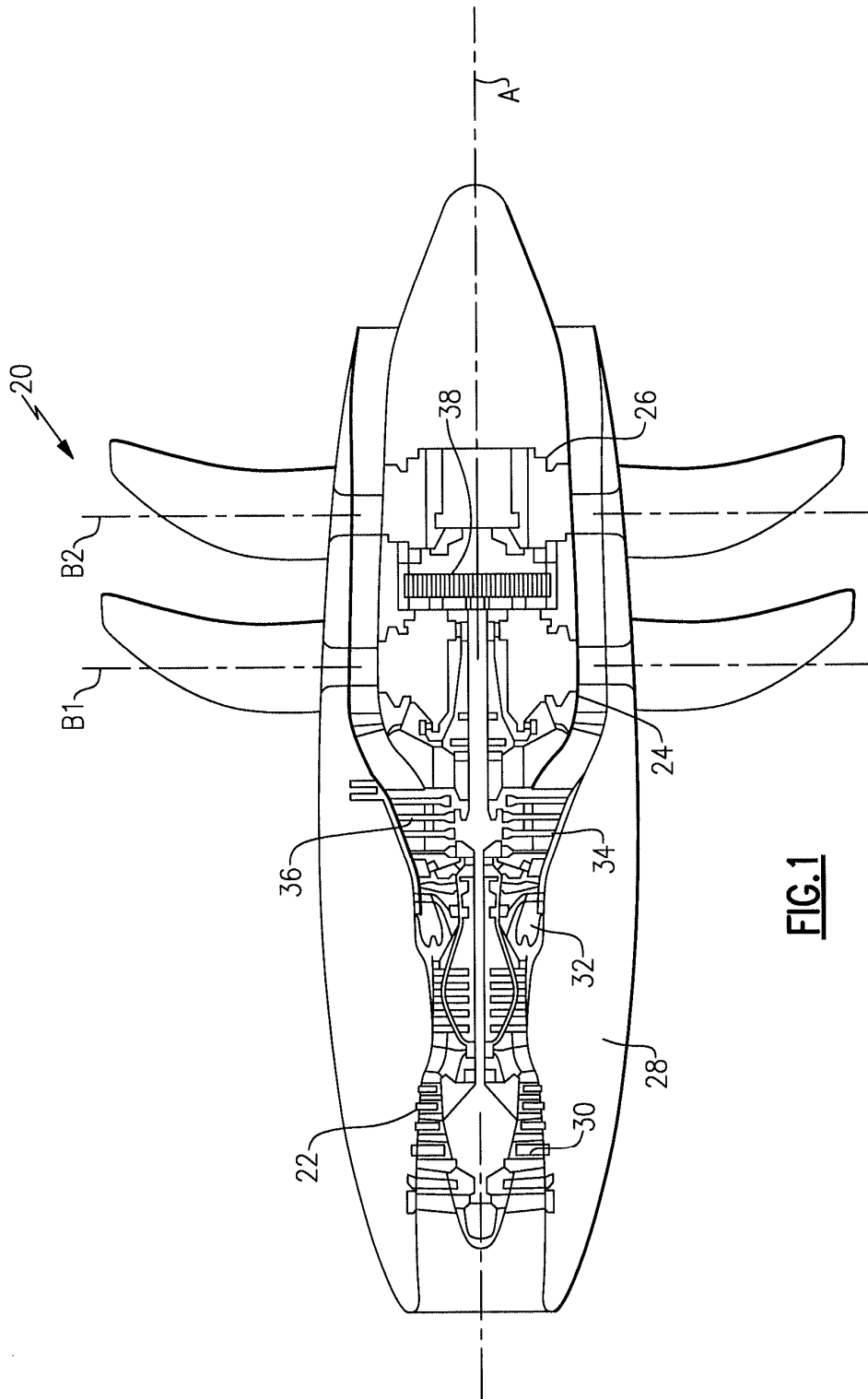


FIG. 1

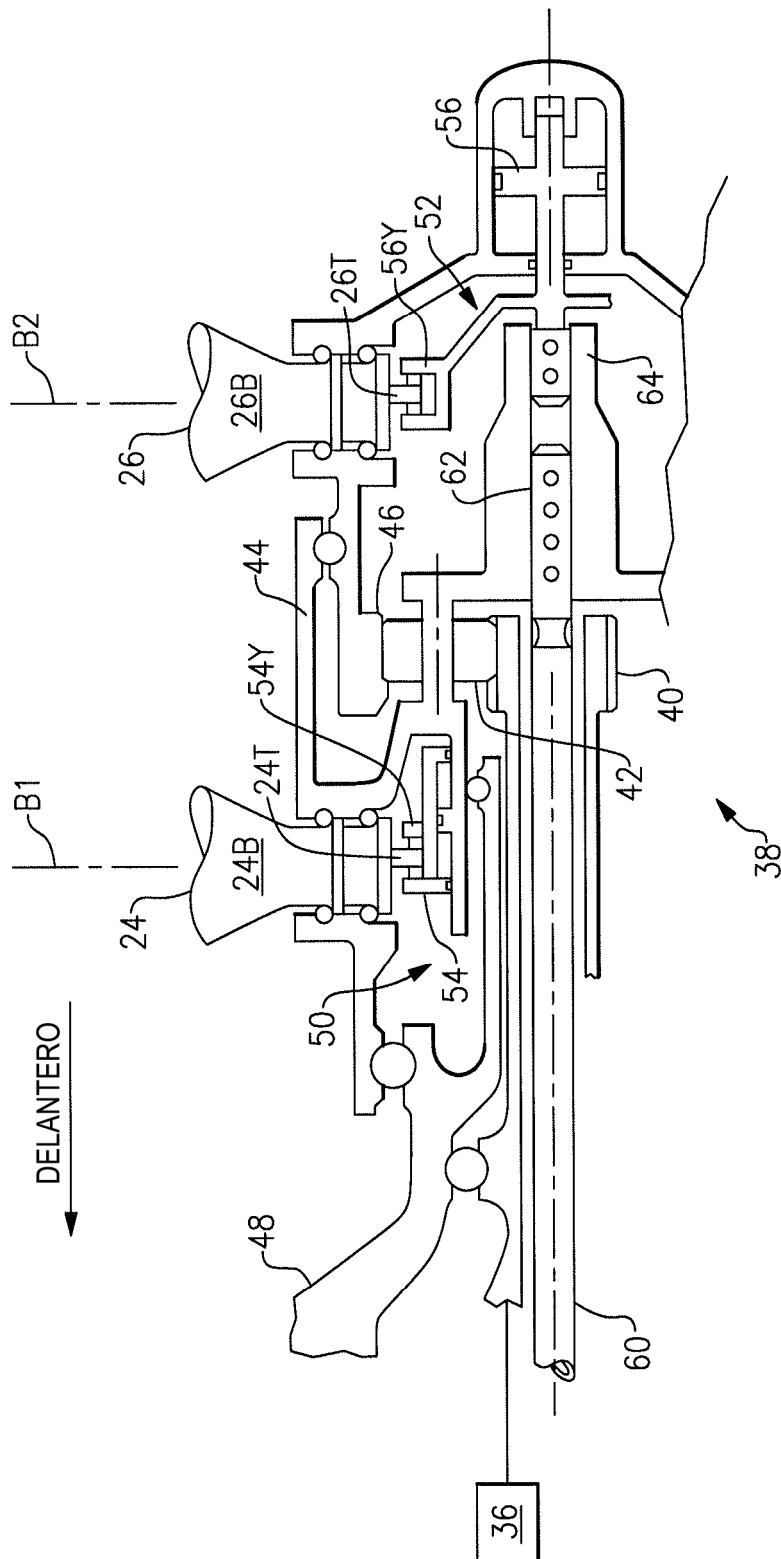


FIG.2

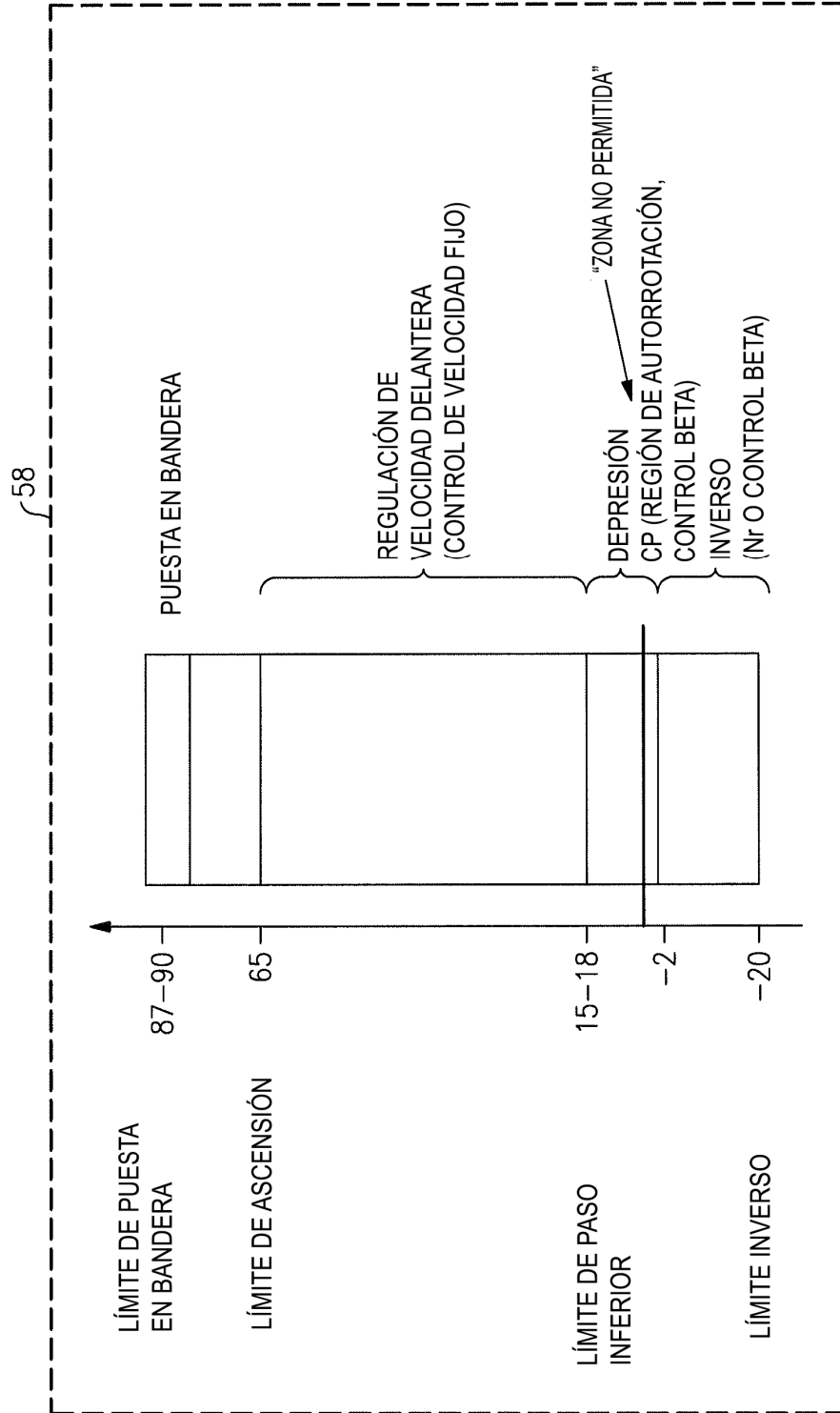


FIG.3

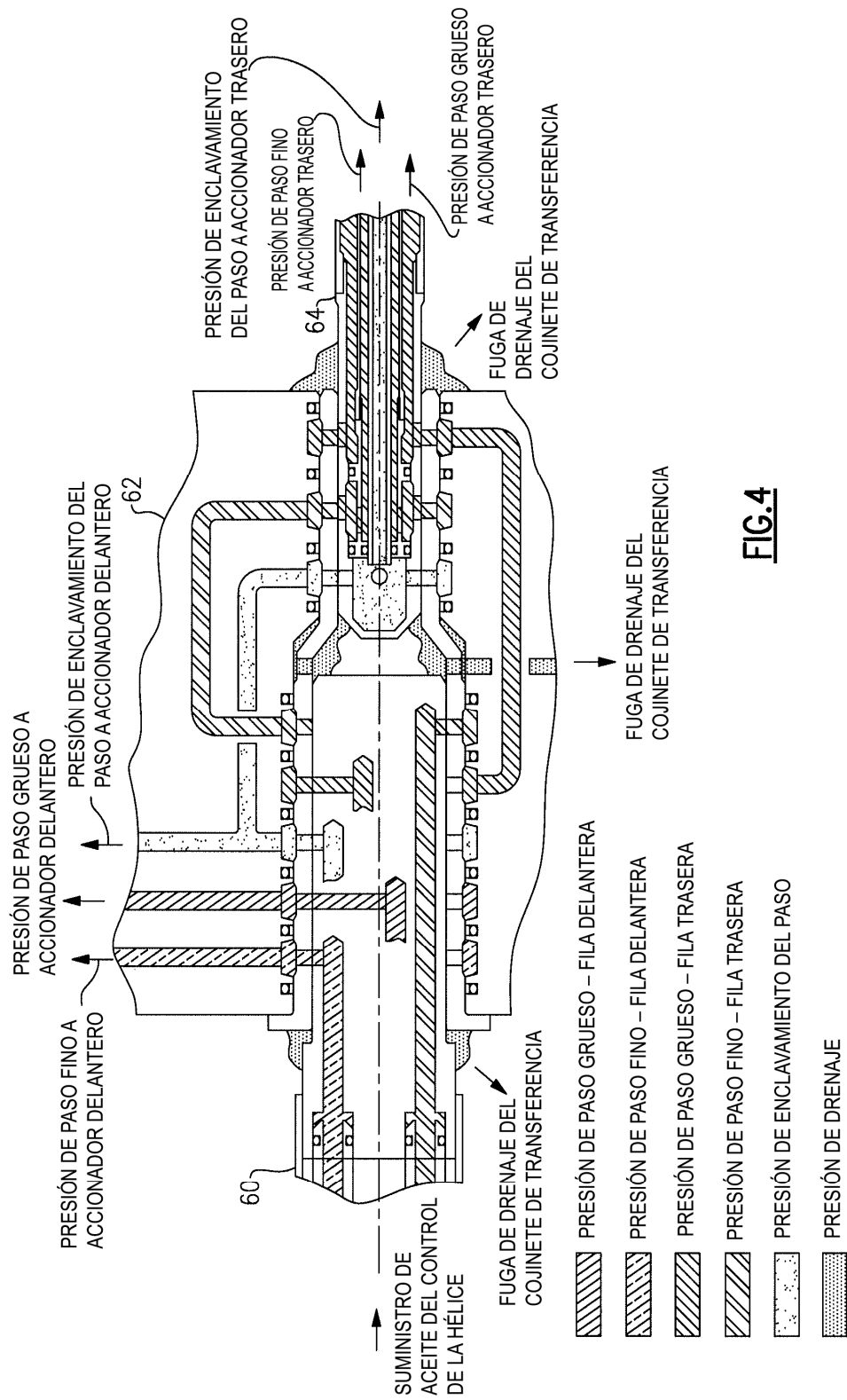


FIG. 4

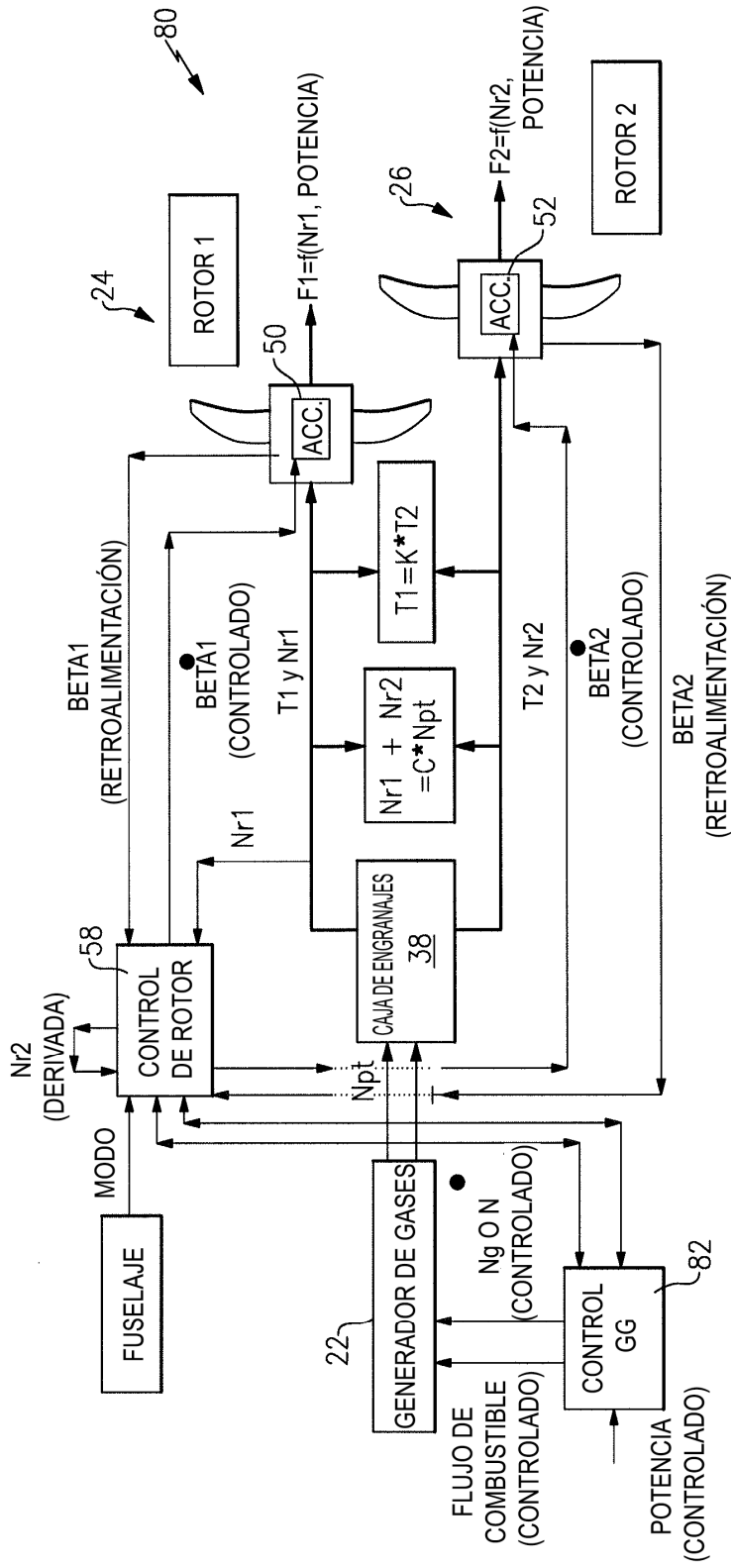


FIG. 5

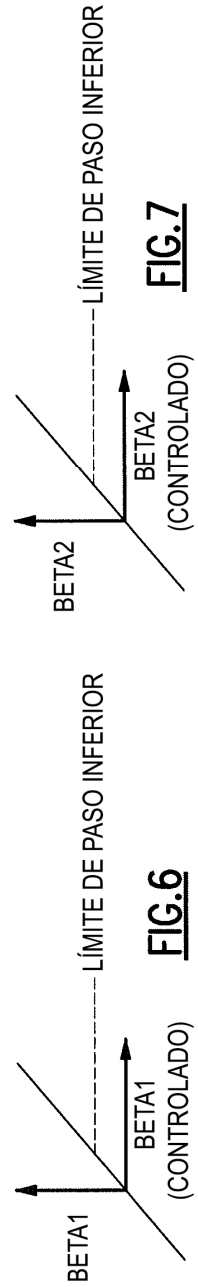


FIG. 6

FIG. 7

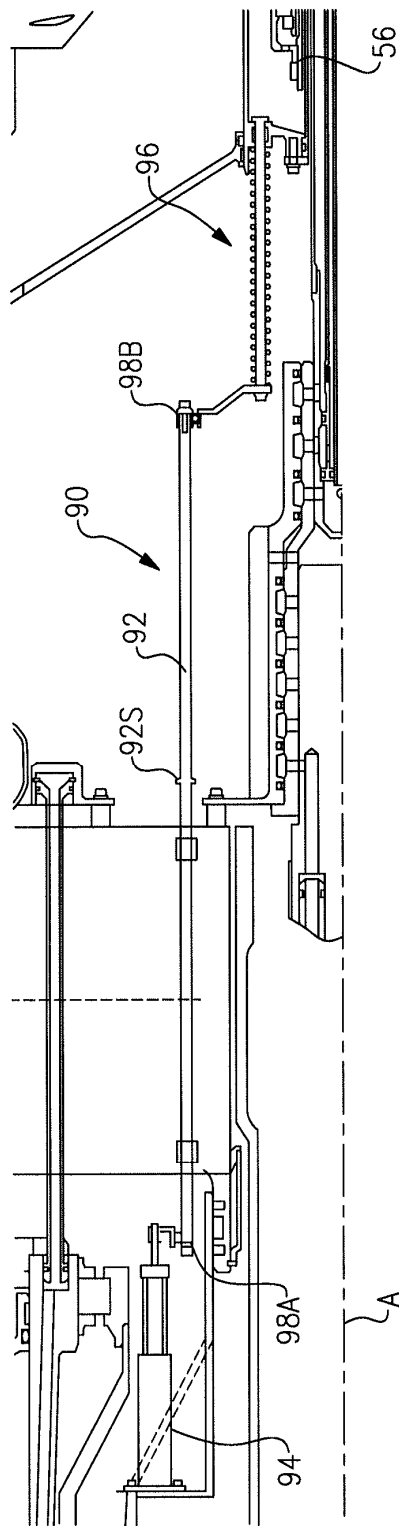


FIG. 8

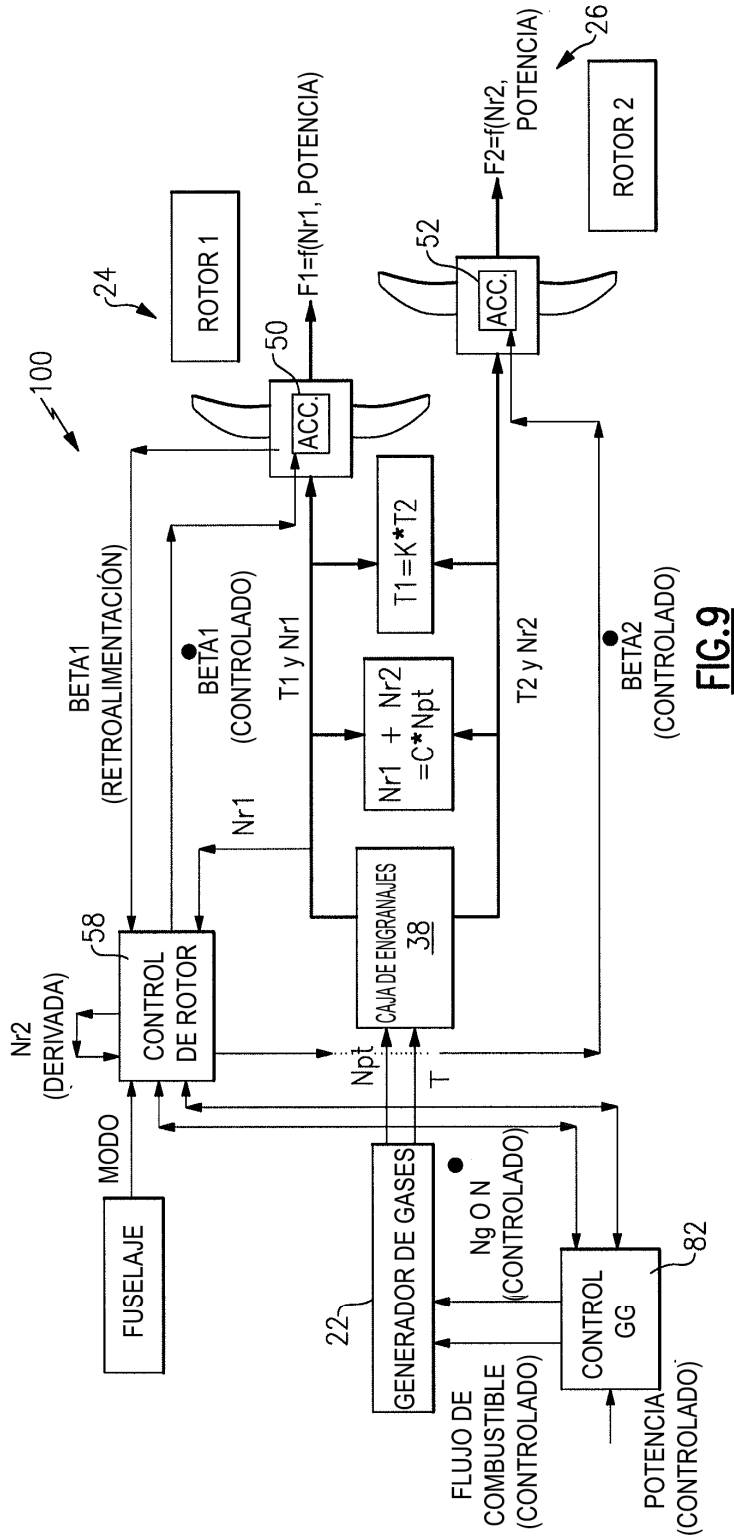


FIG. 9

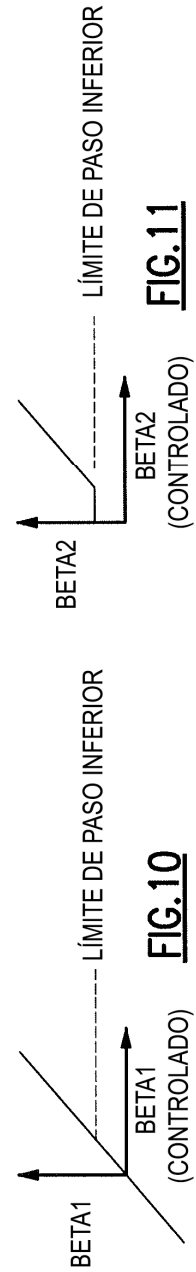


FIG. 10

FIG. 11

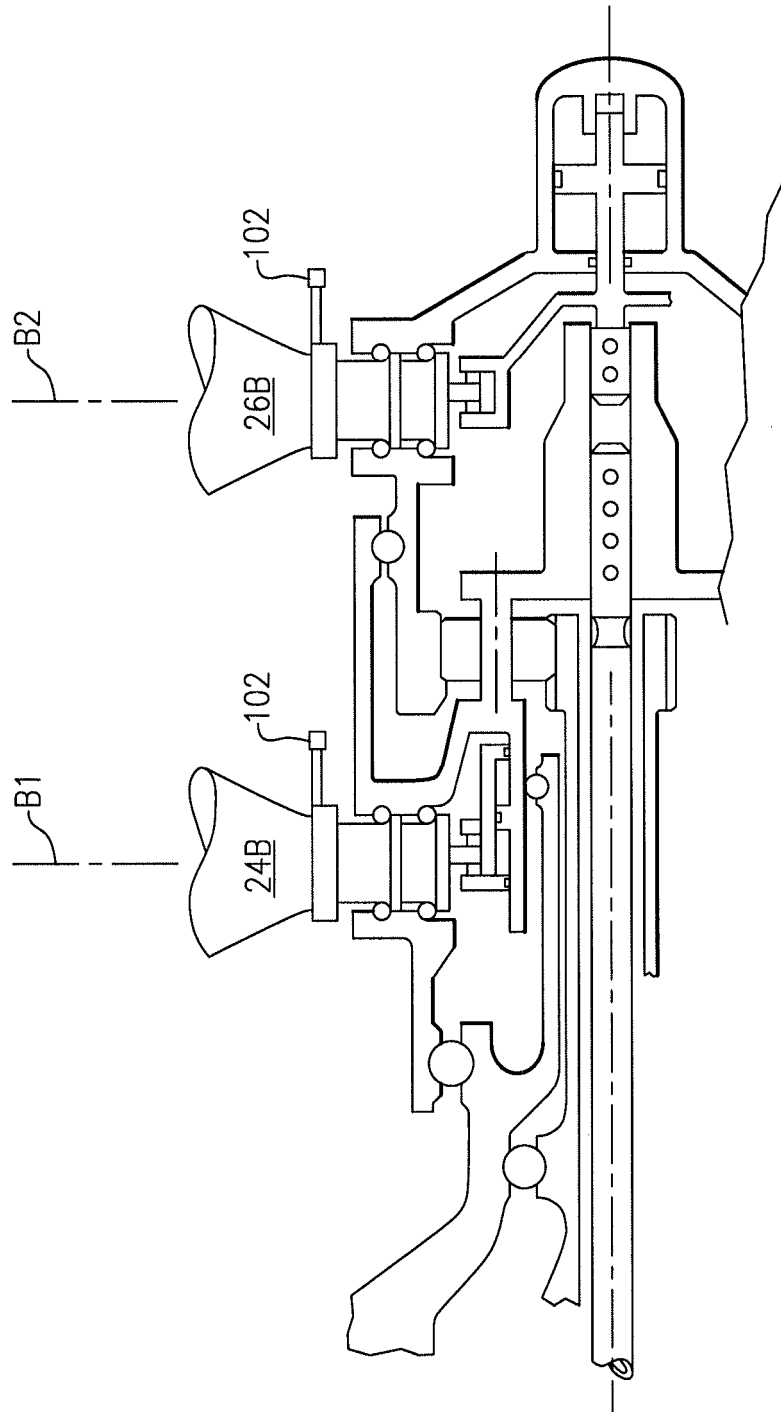


FIG. 12

