

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 579**

51 Int. Cl.:

F03B 3/02 (2006.01)

F03B 3/10 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

F03B 15/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2014** **E 14290369 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018** **EP 3029311**

54 Título: **Procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación de una máquina hidráulica con características S e instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2018

73 Titular/es:

GE RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)
82 avenue Léon Blum
38100 Grenoble, FR

72 Inventor/es:

ALLOIN, QUENTIN;
PERRISSIN-FABERT, NICOLAS y
RENAUD, GUILLAUME

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 690 579 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación de una máquina hidráulica con características S e instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica

- 5 La invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, para estabilizar la velocidad de rotación de una máquina hidráulica con características S. Las máquinas hidráulicas con características S habituales son una turbobomba que funciona en modo turbina o una turbina Francis diseñada para condiciones de elevada altura neta. La invención también se refiere a una instalación de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 7, para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, en la que puede implementarse este procedimiento.
- 10 Durante el arranque de una turbobomba en modo turbina, la velocidad de rotación de su rodete debe estabilizarse y sincronizarse con la frecuencia de red, de manera que la máquina pueda acoplarse a la red. Además, la operación de acoplamiento se realiza normalmente cuando la turbobomba está en un punto operativo sin carga, en el que el flujo de agua no ejerce ningún par sobre el rodete. Este punto operativo específico es el punto de acoplamiento.
- 15 En condiciones de baja caída de agua, la estabilización de la velocidad de rotación puede ser difícil de alcanzar debido a la presencia de "zonas S". Las "zonas S" son zonas inestables en las que la máquina es sensible a las perturbaciones. Como resultado, una ligera variación de la velocidad de rotación con respecto al punto de acoplamiento conduce a un aumento significativo del par aplicado por el flujo de agua sobre el rodete, por lo que aumenta o disminuye sustancialmente la velocidad de rotación de la máquina. En estas condiciones, no es posible estabilizar la velocidad de rotación de la máquina con un bucle PID convencional.
- 20 Para resolver este problema, se sabe cómo rediseñar completamente las partes hidráulicas de la máquina, tales como el rodete o las paletas de guía. En particular, las partes hidráulicas de la máquina se rediseñan para evitar la presencia de zonas S en el intervalo operativo de la turbobomba en modo turbina. El intervalo operativo de una máquina corresponde al intervalo entre la altura bruta inferior y la altura bruta superior a la que puede someterse la máquina. Sin embargo, esta solución es muy costosa de implementar y reduce el rendimiento de la turbobomba.
- 25 Otra solución consiste en equipar la turbobomba con paletas de guía no sincronizadas. Esto significa que algunas paletas de guía pueden orientarse de manera independiente. Como resultado, al arrancar la máquina, algunas de las paletas de guía se abren más que otras, lo que modifica temporalmente las características de la máquina. Esto permite evitar la presencia de zonas S durante el arranque. Sin embargo, esta solución genera vibraciones no deseadas que afectan a la vida útil de la máquina.
- 30 Por último, la solicitud de patente US-A-2004/0115048 aborda el tema de la estabilización de la velocidad de rotación en zonas S de una manera diferente. De hecho, esta publicación proporciona un procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación de un aparato de turbina en un punto que está muy cerca de la porción de característica S, sin arriesgarse a entrar en esta porción inestable. La porción de característica S puede definirse como la porción de curva con una pendiente positiva en la figura 1A de la solicitud, que es la porción por debajo de
- 35 la curva NR. La curva NR es la curva en la que el flujo de agua en el rodete de turbina no ejerce ningún par. El procedimiento consiste en usar un controlador PID que actúa directamente sobre la velocidad de rotación de la máquina. Este controlador PID es específico ya que sus parámetros característicos pueden cambiarse dependiendo de la velocidad de rotación de la máquina. Más exactamente, cuando la velocidad de rotación de la máquina aumenta de 0 a una velocidad predeterminada, los coeficientes de los elementos proporcionales e integradores del controlador PID se ven afectados por una alta ganancia. Sin embargo, cuando la velocidad de rotación supera la
- 40 velocidad predeterminada, los coeficientes de los elementos proporcionales e integradores del controlador PID se ven afectados por una baja ganancia.
- En el ejemplo descrito, la velocidad predeterminada se establece en un 80 % de la velocidad de rotación objetivo. Como resultado, cuando el punto operativo de la máquina se acerca al punto de acoplamiento, la velocidad de
- 45 convergencia hacia el punto de acoplamiento se ralentiza para evitar excitar el sistema y entrar en la porción de característica S inestable. Los parámetros característicos del controlador PID se seleccionan entre dos valores usando un par de conmutadores.
- El principal inconveniente de este procedimiento es que no permite estabilizar la velocidad de rotación de la máquina cuando el punto de acoplamiento se localiza precisamente en la porción de característica S.
- 50 La invención pretende resolver este inconveniente proponiendo un procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación de una máquina hidráulica que permita estabilizar la velocidad de rotación en la porción de característica S.
- Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación de una máquina hidráulica con características S, tal como se define en la reivindicación 1.
- 55 Gracias a la invención, los parámetros característicos del controlador se cambian en cada iteración para garantizar la estabilidad del sistema de retroalimentación de bucle de control. Este sistema de retroalimentación de bucle de control no es sensible al hecho de que el punto de acoplamiento esté o no en una porción de característica S. En

consecuencia, la máquina puede sincronizarse con la red incluso cuando el punto de acoplamiento está localizado en la porción de característica S.

Otros aspectos del procedimiento que son ventajosos pero no obligatorios se especifican en las reivindicaciones 2 a 6.

- 5 La invención también se refiere a una instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica tal como se define en la reivindicación 7.

Otros aspectos de la instalación que son ventajosos pero no obligatorios se especifican en las reivindicaciones 8 a 10.

- 10 La invención se explicará a continuación en correspondencia con las figuras, y como un ejemplo ilustrativo, sin limitar el objeto de la invención. En las figuras:

- la figura 1 es una sección esquemática de una instalación para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, y recíprocamente, de acuerdo con la invención, que comprende una turbobomba,
- la figura 2 es una gráfica que representa las características en modo turbina de la turbobomba de la instalación de la figura 1, y
- 15 - la figura 3 es un esquema de control que ilustra un procedimiento de acuerdo con la invención, que tiene como objetivo estabilizar la velocidad de rotación de la turbobomba que pertenece a la instalación de la figura 1.

20 La figura 1 representa una instalación 2 para convertir energía hidráulica en energía eléctrica. La instalación 2 incluye una máquina hidráulica. En el ejemplo, esta máquina hidráulica es una turbobomba 20 que usa, en modo turbina, energía hidráulica para poner un árbol 201 en rotación alrededor de un eje Z201. El árbol 201 se acopla a un generador no representado para producir electricidad.

25 En lo sucesivo, a menos que se indique lo contrario, la turbobomba 20 funciona en modo turbina. La turbobomba 20 incluye una voluta 200 que está soportada por los bloques 22 y 24 de hormigón. Una compuerta no representada se extiende entre un depósito ascendente no representado y la voluta 200. Esta compuerta genera un flujo de agua forzado F para alimentar la máquina 20. La máquina 20 incluye un rodete 202 que está rodeado por la voluta 200 y que incluye unos álabes 208 entre los que el agua fluye en condiciones operativas. Como resultado, el rodete 202 rota alrededor de un eje Z202 que está superpuesto con el eje Z201 de rotación del árbol 201. El rodete 202 está fijado al árbol 201.

30 Un distribuidor está dispuesto alrededor del rodete 202. Incluye una pluralidad de paletas 206 de guía móviles que se distribuyen uniformemente alrededor del rodete 202. Un predistribuidor está dispuesto corriente arriba y alrededor del distribuidor. El predistribuidor está formado por una pluralidad de paletas 204 directriz fijas distribuidas uniformemente alrededor del eje Z202 de rotación del rodete 202.

Un tubo 26 de succión está dispuesto por debajo del rodete 202 y está adaptado para evacuar el agua corriente abajo de la máquina 20.

35 Cada una de las paletas 206 de guía del distribuidor tiene un paso ajustable alrededor de un eje Z206 paralelo al eje Z202 de rotación del rodete 202. En consecuencia, pueden girarse para regular el caudal de agua que entra en la máquina 20. Todas las paletas 206 de guía están orientadas con el mismo ángulo con respecto a una posición cerrada. En otras palabras, están sincronizadas.

40 El hillchart de una máquina hidráulica es una recopilación de puntos operativos que se definen cada uno por un cuádruplo de los valores N11, C11, Q11, Y, donde Y es la orientación que afecta a las paletas 206 de guía, N11 es un parámetro que depende de la velocidad de rotación de la máquina, C11 es un parámetro que depende del par ejercido por el agua del flujo F en el rodete de la máquina y Q11 es un parámetro que depende del caudal del agua que fluye a través de la máquina hidráulica. En una orientación de paletas de guía dada Y, puede extraerse una curva de "isoapertura" del hillchart.

45 Como un ejemplo ilustrativo, la figura 2 representa cinco curvas de isoapertura que corresponden cada una a una orientación de paletas de guía diferente Y1, Y2, Y3, Y4 y Y5. Estas curvas de isoapertura se trazan en una gráfica que tiene el eje N11 como eje de abscisas y el eje C11 como eje de ordenadas. El cuadrante derecho superior de esa gráfica, que es el cuadrante en el que N11 y C11 son ambos positivos, corresponde al modo turbina. En modo turbina, el intervalo operativo de la turbobomba 20 corresponde al intervalo entre una altura bruta inferior Hmín y una altura bruta superior Hmáx a la que puede someterse la máquina. A una altura neta H dada, se conoce el punto de acoplamiento I de la máquina 20. Este punto de acoplamiento I corresponde a un punto en el que la turbobomba 20 puede acoplarse a la red en modo turbina. Es un punto operativo sin carga, en el que no se ejerce ningún par sobre el rodete 202 y en el que la velocidad de rotación de la máquina se sincroniza con la frecuencia de red. En el ejemplo elegido, este punto de acoplamiento I se localiza en la curva de isoapertura asociada a la apertura de paletas de guía Y2. Como se muestra en la figura 2, la máquina 20 hidráulica presenta características S en condiciones de baja caída de agua. Más exactamente, las curvas de isoapertura que corresponden a las aperturas

50

55

de paletas de guía Y1 e Y2, que permiten alcanzar el punto de acoplamiento de máquina en condiciones de baja caída de agua, incluyen una porción en S.

5 En el presente documento, una porción de característica S de una curva de isoapertura corresponde a una porción de curva que tiene una pendiente positiva. En otras palabras, es una porción de curva para la cual un aumento del parámetro N11 implica un aumento del parámetro C11. Para la claridad de la memoria descriptiva, considerando el ejemplo de la curva de isoapertura asociada a la apertura de paletas de guía Y2, la porción de característica S está delimitada entre los puntos K y J.

10 La porción de característica S se considera inestable. Esto significa que la máquina 20 hidráulica es sensible a las perturbaciones en esta porción específica. Como resultado, una ligera variación de la velocidad de rotación de la máquina con respecto al punto de acoplamiento I implica un aumento significativo del par aplicado por el flujo F de agua en el rodete 202 de la turbobomba 20, por lo que aumenta o disminuye sustancialmente la velocidad de rotación de la máquina. La estabilización de la velocidad de rotación de la máquina puede ser entonces difícil de lograr.

15 En lo sucesivo, se explica, en correspondencia con la figura 3, un procedimiento para estabilizar automáticamente la velocidad de rotación de una máquina hidráulica con características S. En particular, el procedimiento es adecuado para estabilizar la velocidad de rotación de la máquina cuando el punto de acoplamiento está localizado en una porción de característica S, tal como el punto I.

20 Como se muestra en la figura 3, este procedimiento se implementa por medio de un sistema 1 de retroalimentación de bucle de control que tiene un controlador C(s) que es, en el ejemplo, un controlador derivativo integrativo proporcional. El controlador C(s) toma como entrada una diferencia de velocidad ΔN entre la velocidad de rotación N de la máquina hidráulica y la velocidad de rotación objetivo N_c . A continuación, el controlador C(s) emite una orientación Y_i para afectar a las paletas 206 de guía. En el dominio de Laplace, la función de transferencia del controlador se da a continuación:

$$C(s) = \frac{K_p * (1 + T_i * s + T_i * T_d * s^2)}{T_i * s} = \frac{Y_i}{\Delta N}$$

Ecuación 2

25 donde K_p , T_i y T_d son parámetros de regulación del controlador.

El sistema 1 de retroalimentación de bucle de control actúa directamente sobre el comportamiento de la máquina real, que se representa por el bloque Σ real en la figura 3. Σ real corresponde a la función de transferencia real de la máquina 20 hidráulica.

30 El procedimiento es iterativo. Consiste entonces en generar sucesivamente parámetros de regulación de C(s) para estabilizar la velocidad de rotación en la velocidad de rotación objetivo. La velocidad de rotación objetivo N_c corresponde a una velocidad de sincronización con la red. Al comienzo del procedimiento, las paletas 206 de guía se orientan en una orientación nominal.

35 Una primera etapa del procedimiento consiste en calcular un conjunto de estados internos asociados al punto operativo de la máquina 20. Este conjunto de estados internos incluye las coordenadas N11, Q11, C11 del punto operativo, la altura neta H a la que está sometida la máquina 20 hidráulica, el caudal Q del agua que pasa a través de la máquina 20 y algunas derivadas parciales asociadas a las coordenadas del punto operativo de la máquina. Estas derivadas parciales son intrínsecas al cuádruplo de los valores del punto operativo.

40 El conjunto de estados internos asociados al punto operativo pueden calcularse basándose en el conocimiento del hillchart y de las mediciones directas. Una calculadora 102 integrada en el sistema 1 de retroalimentación de bucle de control permite realizar esta tarea.

La función de transferencia Σ real es altamente no lineal y no puede aprovecharse directamente para estabilizar la velocidad de rotación de la máquina.

45 A continuación, una segunda etapa del procedimiento consiste en establecer una función de transferencia linealizada $\Sigma_{lin}(s)$ que puede usarse en el proceso de cálculo que conduce a la estabilización de la velocidad de rotación N de la máquina. Representa la velocidad de rotación de la máquina en función de la orientación que afecta a las paletas de guía. Esta función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$ puede considerarse como el modelo linealizado más cercano a la realidad. En el dominio de Laplace, la función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$ puede venir dada por la siguiente ecuación:

$$\Sigma_{lin}(s) = \frac{A0+A1.s}{B0+B1.s+B2.s^2}$$

Ecuación 1

donde A0, A1, B0, B1 y B2 son parámetros característicos que dependen del punto operativo de la máquina y s es la variable de Laplace. En este ejemplo, se usa una función de transferencia de segundo orden. Para un modelo más preciso, puede usarse un orden superior.

- 5 Los parámetros característicos A0, A1, B0, B1 y B2 de la función de transferencia linealizada $\Sigma_{lin}(s)$ se calculan en función del conjunto de estados internos calculados en la primera etapa, de manera que la función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$ sea lo más realista posible. Esta operación se realiza en una calculadora 103. En otras palabras, los parámetros característicos de la función de transferencia linealizada se calculan de manera que la velocidad de rotación calculada de acuerdo con esta función linealizada sea aproximadamente la misma que la velocidad de rotación real en una orientación de paletas de guía dada.

Una tercera etapa del procedimiento es calcular los parámetros de regulación Kp, Ti y Td del controlador de manera que el sistema 1 de retroalimentación de bucle de control sea estable. Con este fin, una calculadora 100 diseñada para realizar esta tarea se integra en el sistema 1 de control y la función de transferencia real, Σ real, se aproxima por la función de transferencia linealizada $\Sigma_{lin}(s)$. Los parámetros de regulación se calculan de manera que la

- 15 función de transferencia de bucle cerrado aproximada $F(s) = \frac{C(s) \cdot \Sigma_{lin}(s)}{1+C(s) \cdot \Sigma_{lin}(s)}$ del sistema 1 de retroalimentación de bucle de control tenga polos estables.

Como recordatorio, los polos de una expresión son los valores de la variable s de Laplace para los que el denominador de la expresión es nulo.

- 20 Existen diversos números de procedimientos para garantizar la estabilidad de F(s). Por ejemplo, en este caso, se presenta el procedimiento de compensación de polos. El procedimiento de colocación de polos también puede usarse pero no se presenta. Los polos del denominador de la función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$ se consideran inestables. A continuación, se ajusta el numerador del controlador C(s) para compensar o impedir este comportamiento inestable. Más exactamente, el numerador del controlador C(s) se elige para que tenga los mismos polos que el denominador de la función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$. Esto se denomina compensación de polos y da como resultado la siguiente ecuación:

$$T_i = \frac{B1}{B0} \quad \text{y} \quad T_d = \frac{B2}{B1}$$

Ecuación 3

Teniendo en cuenta las dos ecuaciones anteriores, la función de transferencia de bucle cerrado F(s) del sistema 1 de retroalimentación de bucle de control puede expresarse de la siguiente manera:

$$F(s) = \frac{K_p * (A0 + A1 * s)}{K_p * (A0 + A1 * s) + B1 * s}$$

Ecuación 4

- 30 Para garantizar la estabilidad del sistema 1 de retroalimentación de bucle de control, cada uno de los polos del denominador de la función de transferencia de bucle de control aproximada F(s) debe tener una parte real negativa. Para lograr este objetivo, puede usarse un procedimiento de colocación de polos. Este procedimiento de colocación de polos consiste en ajustar los parámetros de la expresión para obtener uno o más polos deseados. En el presente caso, puede elegirse un polo equivalente a $\frac{-1}{T_{BF}}$, en el que T_{BF} corresponde a un período de tiempo característico del controlador. Como resultado, el denominador de la función de transferencia de bucle cerrado aproximada F(s) puede expresarse de la siguiente manera:

$$1 + T_{BF} * s = 1 + \left(\frac{A1}{A0} + \frac{B1}{Kp * A0} \right) * s$$

Ecuación 5

donde

$$T_{BF} = \frac{Kp * A1 + B1}{Kp * A0}$$

Ecuación 6

5 A continuación, puede extraerse el tercer parámetro característico Kp del controlador basándose en la ecuación anterior, tal como se establece a continuación:

$$Kp = \frac{B1}{T_{BF} * A0 - A1}$$

Ecuación 7

Una cuarta etapa del procedimiento consiste en medir la velocidad de rotación N de la máquina.

Una etapa adicional consiste en comparar la velocidad de rotación medida N con la velocidad de rotación objetivo Nc, que corresponde a la velocidad de sincronización con la red.

10 Una última etapa consiste en ajustar de manera automática, por el controlador, la orientación que afecta a las paletas 206 de guía con el fin de reducir la diferencia de velocidad ΔN entre la velocidad de rotación medida N y la velocidad de rotación objetivo Nc. Con este fin, el controlador emite una apertura objetivo Y_{i+1} para afectar a las paletas 206 de guía. Esta apertura objetivo Y_{i+1} se usa como una orden para las paletas 206 de guía del sistema real representado por la función de transferencia linealizada $\Sigma_{lin}(s)$.

15 En efecto, como se ha mencionado anteriormente en el presente documento, el procedimiento es iterativo, lo que significa que las etapas descritas anteriormente en el presente documento se reiteran mientras el sistema está en el modo de arranque.

20 Como resultado, los parámetros característicos de la función de transferencia linealizada $\Sigma_{lin}(s)$ se calculan en cada iteración del procedimiento para adaptarse tanto como sea posible a la realidad. En consecuencia, los parámetros de regulación Kp, Ti y Td del controlador se calculan en cada incremento, es decir, en cada iteración del procedimiento, con el fin de obtener un sistema de retroalimentación de bucle de control que sea estable.

25 En una realización alternativa no representada de la invención, puede implementarse un procedimiento similar para estabilizar la velocidad de rotación de una turbina doblemente regulada, tal como una turbina Kaplan o una turbina tipo bulbo. Una turbina doblemente regulada incluye un cubo provisto de álabes móviles. El caudal de agua que circula alrededor del cubo también se regula gracias a una serie de paletas de guía. En este caso, los álabes móviles también se orientan a reducir la diferencia de velocidad ΔN entre la velocidad de rotación N calculada sobre la base de la función de transferencia $\Sigma_{lin}(s)$ y la velocidad de rotación objetivo Nc.

En una realización alternativa no representada de la invención, puede implementarse un procedimiento similar para estabilizar la velocidad de rotación de una turbina Francis diseñada para condiciones de elevada altura neta.

30 En otra realización alternativa que no está cubierta por la presente invención, puede usarse otro tipo de controlador distinto de un controlador PID. Por ejemplo, el controlador C(s) puede ser un compensador de adelanto-retraso o un controlador derivativo doble. Las características técnicas de las diferentes realizaciones y realizaciones alternativas de la invención descritas anteriormente en el presente documento pueden combinarse entre sí para generar nuevas realizaciones de la invención, de acuerdo con el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

35

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para estabilizar la velocidad de rotación (N) de una máquina (20) hidráulica con características S, **caracterizado porque** se implementa por medio de un sistema (1) de retroalimentación de bucle de control que tiene un controlador (C(s)) para calcular una orientación (Y) que afecte a las paletas (206) de guía de la máquina y **porque** el procedimiento incluye etapas que consisten, en cada iteración, en:
- a) calcular un conjunto de estados internos (N11, Q11, C11, H, Q) asociados al punto operativo de la máquina,
 - b) de acuerdo con el conjunto de estados internos calculados en la etapa a), establecer una función de transferencia linealizada ($\Sigma_{lin}(s)$) que represente la velocidad de rotación de máquina en función de la orientación de paletas de guía.
 - c) calcular los parámetros característicos (Kp, Ti, Td) del controlador en función de los parámetros característicos (A0, A1, B0, B1, B2) de la función de transferencia linealizada establecida en la etapa b), de manera que el sistema de retroalimentación de bucle de control sea estable,
 - d) medir la velocidad de rotación (N) de la máquina hidráulica,
 - e) comparar la velocidad de rotación medida (N) con una velocidad de rotación objetivo (Nc), y
 - f) ajustar, mediante el controlador (C(s)), la orientación (Y) que afecta a las paletas de guía con el fin de reducir la diferencia de velocidad (ΔN) entre la velocidad de rotación medida (N) y la velocidad de rotación objetivo (Nc).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el conjunto de estados internos asociados al punto operativo incluye las coordenadas (N11, Q11, C11) del punto operativo, la altura neta (H) a la que está sometida la máquina (20) hidráulica, el caudal (Q) del agua que pasa a través de la máquina (20) y alguna derivada parcial asociada a las coordenadas del punto operativo de la máquina.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque**, en la etapa c), los parámetros característicos (Kp, Ti, Td) del controlador se calculan de acuerdo con un procedimiento de compensación de polos y/o un procedimiento de colocación de polos.
4. Procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, **caracterizado porque** el controlador (C(s)) es un controlador derivativo integrativo proporcional.
5. Procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, **caracterizado porque** la máquina (20) hidráulica es una turbina doblemente regulada, que comprende un cubo provisto de álabes móviles y **porque** la etapa d) también consiste en ajustar la orientación que afecta a los álabes móviles de la máquina para reducir la diferencia de velocidad (ΔN) entre la velocidad de rotación medida (N) de la máquina y la velocidad de rotación objetivo (Nc).
6. Procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, **caracterizado porque** la función de transferencia linealizada ($\Sigma_{lin}(s)$) y el controlador (C(s)) se modelan en el dominio de Laplace.
7. Instalación (2) para convertir energía hidráulica en energía eléctrica, que comprende una máquina (20) hidráulica con unas paletas (206) de guía ajustables, **caracterizada porque** incluye además:
- un sistema (1) de retroalimentación de bucle de control que tiene un controlador (C(s)) para calcular una orientación (Y) que afecte a las paletas (206) de guía,
 - medios (102) para calcular un conjunto de estados internos (N11, Q11, C11, H, Q) asociados al punto operativo de la máquina,
 - medios (103) para establecer, de acuerdo con el conjunto de estados internos calculados, una función de transferencia linealizada ($\Sigma_{lin}(s)$) que represente la velocidad de rotación de la máquina en función de la orientación de paletas de guía.
 - medios (100) para calcular los parámetros característicos (Kp, Ti, Td) del controlador en función de los parámetros característicos (A0, A1, B0, B1, B2) de la función de transferencia linealizada establecida, de manera que el sistema de retroalimentación de bucle de control sea estable,
 - medios para medir la velocidad de rotación (N) de la máquina hidráulica,
 - medios para comparar la velocidad de rotación medida (N) con una velocidad de rotación objetivo (Nc), y
 - un controlador (C(s)) para ajustar la orientación que afecta a las paletas de guía con el fin de reducir la diferencia de velocidad (ΔN) entre la velocidad de rotación medida (N) y la velocidad de rotación objetivo (Nc).
8. Instalación de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada porque** la máquina (20) hidráulica es una turbobomba con características S en modo turbina.
9. Instalación de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada porque** la máquina (20) hidráulica es una turbina Francis diseñada para condiciones de elevada altura neta.
10. Instalación de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizada porque** la máquina (20) hidráulica es una turbina doblemente regulada, que comprende un cubo provisto de álabes móviles y **porque** la instalación incluye, además, medios para ajustar la orientación que afecta a los álabes móviles de la máquina con el fin de reducir la diferencia de velocidad (ΔN) entre la velocidad de rotación medida (N) de la máquina y la velocidad de rotación objetivo (Nc).

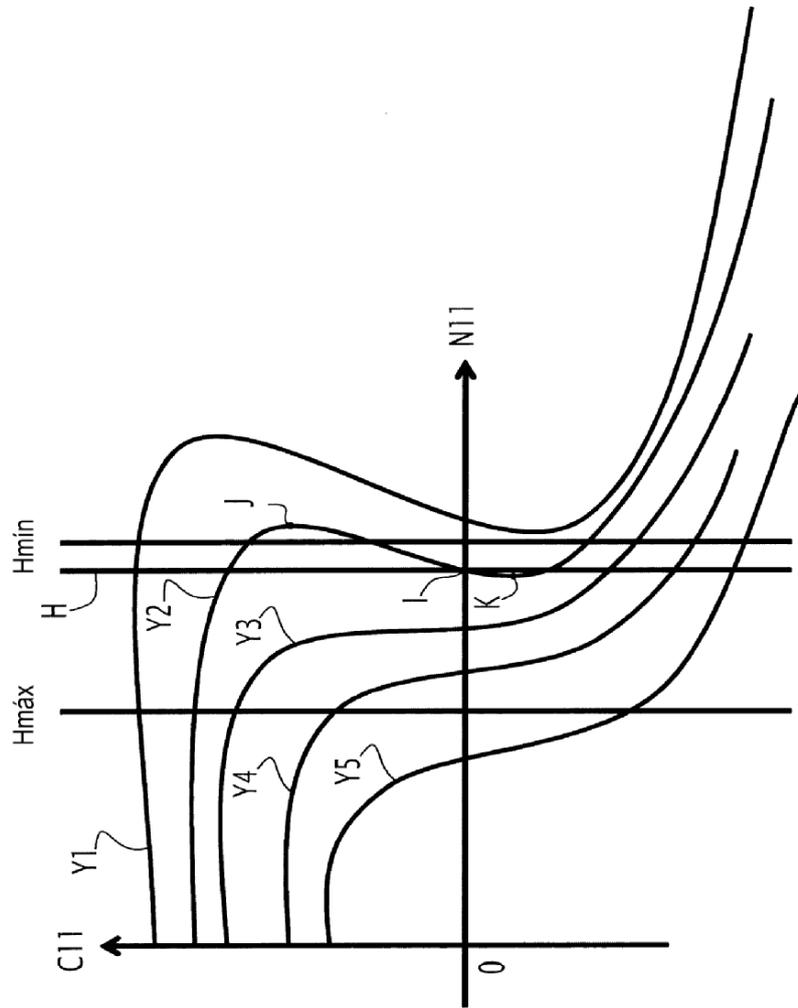


FIG.2

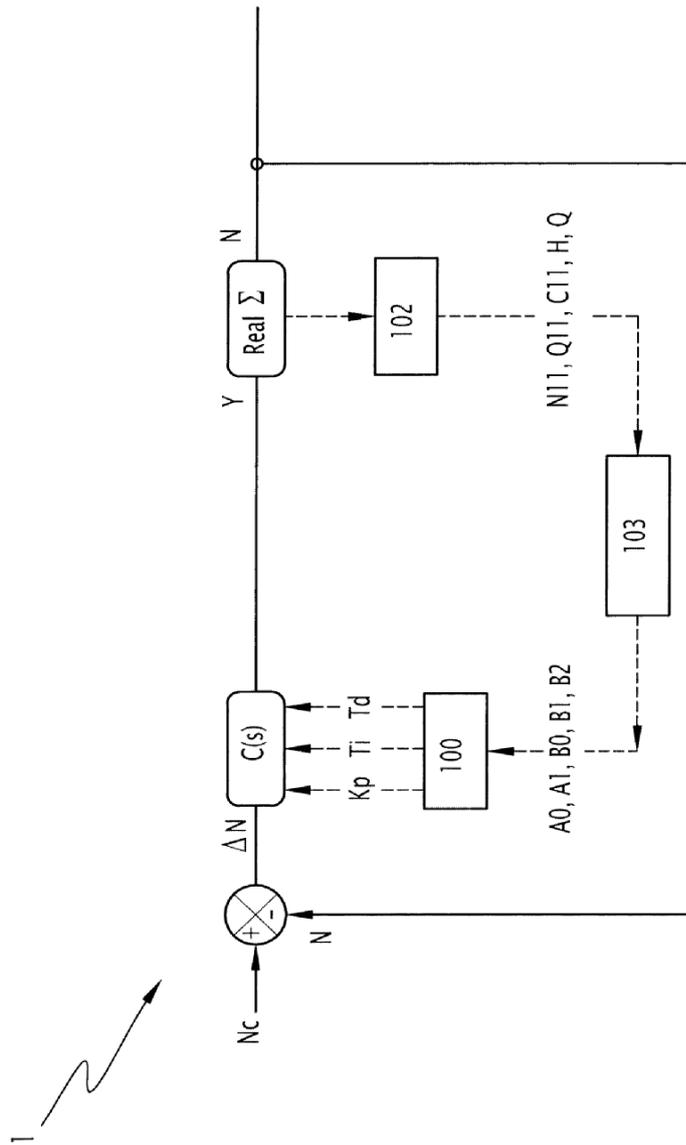


FIG. 3