

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 854 706**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

G05F 1/10 (2006.01)

H02P 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2017 E 17186839 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2020 EP 3444939**

54 Título: **Procedimiento para el control de una instalación de energía eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.09.2021

73 Titular/es:
**NORDEX ENERGY SE & CO. KG (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:
**DE RIJCKE, SIMON;
HAMANN, NIELS y
WESSELS, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 854 706 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 el control de una instalación de energía eólica

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el control de una instalación de energía eólica, en el que una potencia eléctrica alimentada a una red de suministro eléctrico es elevada en un modo de funcionamiento elevador gracias a un retardo generador del generador.
- 10 La presente invención se refiere al control de la instalación de energía eólica para un modo de funcionamiento denominado "Inercia virtual" (en inglés, Virtual Inertia). A este respecto, para respaldar la red, se alimenta durante poco tiempo una potencia, en particular potencia activa, más elevada a la red de suministro eléctrico. La instalación de energía eólica emula a este respecto una respuesta de subfrecuencia de generadores síncronos convencionales. Desde el punto de vista del balance energético, para la alimentación del valor de potencia más elevado, la energía rotacional acumulada en la masa giratoria de la instalación de energía eólica se convierte mediante el generador en poco tiempo y durante todo tiempo en potencia eléctrica y se alimenta a la red de suministro eléctrico. Este proceso hace que en un modo de funcionamiento elevador se alimenta más potencia eléctrica a la red de suministro eléctrico que la potencia mecánica que se recibe del viento y puede recibirse en poco tiempo. Esto hace que se reduzca el número de revoluciones y, al mismo tiempo, la energía rotacional acumulada. Al final de la fase elevadora, la instalación de energía eólica está respecto al número de revoluciones y al par en un punto de funcionamiento que no está previsto para el funcionamiento continuo. En una fase de restablecimiento, la instalación de energía eólica se hace volver a pasar a un punto de funcionamiento en el que el número de revoluciones y el par tienen una relación óptima predeterminada para la recepción de potencia del viento pudiendo hacerse funcionar la instalación de energía eólica de forma continua. El procedimiento y el modo de actuar para la inercia virtual son difíciles de realizar desde el punto de vista de la técnica de control.
- 15
- 20 Por el documento EP 2 532 888 A1 se conoce una disposición de control para un modo de funcionamiento de inercia virtual en una instalación de energía eólica, en la que la generación de potencia con una potencia adicionalmente elevada se realiza mediante un controlador de dos puntos (controlador bang-bang).
- 25
- 30 Por el documento DE 10 2015 208 554 A1 se conoce un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, pasándose mediante control después de un primer estado de funcionamiento, una primera potencia suministrada y un primer número de revoluciones a un segundo estado de funcionamiento con una segunda potencia suministrada y un segundo número de revoluciones. Para pasar mediante el control al segundo estado de funcionamiento, se determina la potencia aerodinámica disponible para la alimentación, que predetermina el número de revoluciones teórico a ajustar.
- 35
- 40 Por el documento DE 10 2012 224 067 A1 se ha dado a conocer un procedimiento para regular el momento eléctrico de una instalación de energía eólica en caso de haber un error de red. En respuesta a una caída de tensión se activa un regulador de momentos, que determina un objetivo para el momento eléctrico de la instalación de energía eólica. Se inicializa una rampa de momentos y se compara el valor objetivo del regulador de momentos con el de la rampa de momentos, eligiéndose el más pequeño como valor teórico del momento.
- 45
- 50 Por el documento DE 2009 014 012 A1 se conoce un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica en el que la potencia suministrada por el generador de la instalación de energía eólica a la red se eleva en poco tiempo y durante un intervalo de tiempo corto más allá de la potencia actual de la instalación de energía eólica, cuando la frecuencia de red de la red eléctrica queda un valor de frecuencia predeterminado por debajo de la frecuencia teórica deseada de la red.
- 55
- 60 La invención se basa en el objetivo de poner a disposición un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica que, con medios sencillos, permita un control fiable del funcionamiento durante y después de poner a disposición una potencia eléctrica más elevada.
- 65 De acuerdo con la invención, el objetivo se consigue mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Los objetos de las reivindicaciones secundarias representan configuraciones ventajosas.
- El procedimiento de acuerdo con la invención está previsto para el control de una instalación de energía eólica provista de un generador controlado mediante un convertidor. La instalación de energía eólica conoce un modo de funcionamiento elevador, en el que se eleva una potencia eléctrica alimentada a una red de suministro eléctrico mediante un retardo generador del generador. En el modo de funcionamiento elevador se alimenta una potencia más elevada a la red de suministro eléctrico que se debe a un retardo generador de la instalación de energía eólica. Gracias al retardo generador, la energía rotacional acumulada en las partes giratorias se convierte en potencia eléctrica. El procedimiento de funcionamiento prevé que en función de un valor real del número de revoluciones se determine un valor teórico para un momento de generador. Se trata de un control de momentos en función del número de revoluciones. En el procedimiento, el valor teórico determinado para el momento de generador se aplica mediante un limitador con límite superior e inferior que pueden ser predeterminados a un convertidor. Si aparece una señal elevadora, se determina un valor teórico para el momento de generador en el modo de funcionamiento elevador. En

el modo de funcionamiento elevador, un valor real de la potencia alimentada queda elevado en este caso respecto al valor antes de activarse el modo de funcionamiento elevador. Hacia el final del modo de funcionamiento elevador se pone una señal de restablecimiento que inicia una reconducción de la instalación de energía eólica a un estado estable y adecuado para el modo de funcionamiento continuo. De acuerdo con la invención, para el modo de servicio de restablecimiento, en respuesta a la señal de restablecimiento, se limita un cambio del valor teórico para el momento de generador a lo largo del tiempo. Una señal de restablecimiento no tiene que estar presente necesariamente en forma de un bit de bandera, sino que también puede estar presente en forma de la comprobación de condiciones de activación de un modo de funcionamiento de restablecimiento. En un modo de funcionamiento de restablecimiento, está limitada la velocidad con la que se cambia el momento de generador. De este modo se consigue una reconducción continua y mejor controlable a un estado de funcionamiento estable y adecuado para el funcionamiento continuo y se evitan variaciones demasiado fuertes en la fase de restablecimiento.

En una variante preferible del procedimiento de acuerdo con la invención, cuando la señal de restablecimiento está puesta, el límite superior e inferior para el momento de generador se predeterminan de tal modo que, al alcanzar uno de estos límites, la instalación de energía eólica vuelve a encontrarse en un estado regular.

En otra configuración preferible, cuando la señal de restablecimiento está puesta, se determina el cambio máximo disponible del valor teórico para el momento de generador a lo largo del tiempo en función del cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo. El cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo predetermina a este respecto el cambio del momento de generador a lo largo del tiempo.

Alternativamente a tener en cuenta el cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo, el cambio del valor teórico del momento de generador a lo largo del tiempo también puede determinarse en función de un valor real de la potencia alimentada al presentarse la señal de restablecimiento y de un valor real del número de revoluciones.

En otra alternativa, también es posible determinar el cambio del valor teórico del momento de generador a lo largo del tiempo en función del valor real del número de revoluciones y de la potencia disponible en el viento que fluye hacia el rotor mecánico de la instalación de energía eólica. Es posible además de ello, determinar, cuando está puesta la señal de restablecimiento, el cambio máximo admisible para el valor teórico del momento de generador a lo largo del tiempo en función del cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo, pudiendo usarse como regulador un regulador con un elemento P y/o un elemento PI. Mediante el regulador se tiene en cuenta el cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo, sumándose al mismo un valor constante para el cambio del número de revoluciones a lo largo del tiempo.

En una variante preferible del procedimiento de acuerdo con la invención se reinicia la señal elevadora, o bien cuando ha pasado un intervalo de tiempo $T_{\text{elevación}}$ predeterminado desde la aparición de la señal elevadora o bien cuando el valor real de la frecuencia en la red de suministro eléctrico es superior a un segundo valor de frecuencia predeterminado, que es superior al primer valor de frecuencia predeterminado. El hecho de reponer la señal elevadora no comprende necesariamente que se anule una señal o se borre un bit de bandera, sino que también puede caracterizarse de forma general como finalización de una primera fase de funcionamiento del modo de funcionamiento elevador. Gracias a ello se genera una histéresis que garantiza un aumento de la frecuencia más allá del umbral de activación, antes de finalizar el modo de funcionamiento elevador. En particular, es importante el límite de tiempo, para no prolongar demasiado el modo de funcionamiento elevador, por ejemplo hasta un número de revoluciones demasiado bajo. En principio, para reponer la señal elevadora también pueden estar previstas otras condiciones, por ejemplo el número de revoluciones u otra magnitud de funcionamiento de la instalación de energía eólica.

En una variante preferible se genera en primer lugar una señal de transición al reponerse la señal elevadora. La señal de transición inicia el llamado modo de funcionamiento de transición. En el modo de funcionamiento de transición, en respuesta a la señal de transición puede ponerse preferentemente el cambio máximo admisible del valor teórico para el momento de generador en un valor constante. De este modo, se pretende un aumento rápido del momento de generador para el funcionamiento de transición.

Un criterio preferido, de poner la señal de restablecimiento y de reponer la señal de transición, está en que aumenta el valor real del número de revoluciones, siendo al mismo tiempo la potencia alimentada inferior a la potencia disponible en el viento. El último criterio garantiza que en el marco del restablecimiento puede alimentarse aún más potencia.

En una configuración preferible, una función de rampa controla el cambio del valor teórico para el momento de generador a lo largo del tiempo.

El modo de funcionamiento de restablecimiento termina cuando el valor teórico del momento de generador está situado en un intervalo predeterminado por el límite superior y el límite inferior del limitador. Mediante los límites superiores e inferiores predeterminados del modo de funcionamiento regular puede garantizarse una finalización del modo de funcionamiento de restablecimiento.

En una configuración preferible del procedimiento se genera la señal elevadora, cuando la frecuencia en la red de suministro eléctrico cae por debajo de un primer valor de frecuencia predeterminado. La caída de la frecuencia por

debajo del primer valor de frecuencia predeterminado activa la señal elevadora. Además, en el modo de funcionamiento elevador se aplica el valor teórico calculado para el momento de generador tanto como límite superior como también como límite inferior al limitador. Esto tiene la ventaja de que puede proseguirse con la regulación convencional de número de revoluciones/par y que mediante la unión del límite superior e inferior en el limitador puede predeterminarse un valor teórico nuevamente calculado para el momento de generador.

A continuación, se explica más detalladamente un ejemplo de realización preferible de la invención con ayuda de las figuras. Muestran:

- 10 la figura 1 en una vista esquemática, una instalación de energía eólica prevista para la alimentación a la red de suministro eléctrico,
- la figura 2 una vista esquemática para la regulación de un convertidor,
- 15 la figura 3 una vista esquemática para la determinación del límite superior e inferior para el limitador,
- la figura 4 una vista esquemática para el cálculo del valor teórico para el par de generador,
- 20 la figura 5 el cálculo del límite superior e inferior durante el funcionamiento de transición o el funcionamiento de restablecimiento,
- la figura 6 el proceso para la conmutación del modo de funcionamiento de transición al modo de funcionamiento de restablecimiento,
- 25 la figura 7 cuatro alternativas para el funcionamiento de la instalación de energía eólica en el modo de funcionamiento de transición y/o de restablecimiento y
- la figura 8 una vista esquemática del desarrollo de tiempo para potencia, momento de generador, número de revoluciones y frecuencia de red.

30 La figura 1a muestra en una vista esquemática una instalación de energía eólica 10 con una torre 11, una góndola 12 y un rotor 14. El rotor porta varias palas de rotor 16, que reciben potencia del viento. La figura 1b muestra una configuración de una instalación de energía eólica 10 con un generador asíncrono 18 de doble alimentación, que en el lado del rotor está conectado mediante un convertidor 20 y en el lado del estator directamente, es decir, sin estar intercalado un convertidor, con una red de suministro eléctrico 25. Alternativamente, la instalación de energía eólica también puede estar configurada con un convertidor total. La alimentación a la red de suministro eléctrico 25 se realiza, por ejemplo, mediante un transformador 24. La instalación de energía eólica 10 puede ser parte de un parque eólico formado por varias instalaciones de energía eólica 10, que están conectadas por ejemplo mediante una red de parque y un transformador de alta tensión con la red de suministro eléctrico 25. La instalación de energía eólica 10 presenta una regulación 26, que está conectada para una comunicación de datos con el convertidor 20 o su regulación. La regulación 26 está conectada para una comunicación de datos con una regulación de parque eólica 27, que está configurada para la regulación de varias instalaciones de energía eólica 10. El procedimiento de acuerdo con la invención puede estar implementado preferentemente en la regulación 26. En principio, la invención también puede usarse a nivel del parque eólico, predeterminando el regulador del parque eólico 27 valores teóricos para cada instalación de energía eólica 10 individual y midiéndose una frecuencia en el punto de alimentación o en la red del parque.

La figura 2 muestra en una vista esquemática un control 26 para el modo de funcionamiento normal de la instalación de energía eólica. Mediante un regulador PI se regula una diferencia de regulación formada por un valor teórico de número de revoluciones n^* y un valor real del número de revoluciones n_{med} y se convierte en un valor teórico de par $N^* \cdot 101$ para el convertidor. El valor teórico de número de revoluciones N^* se aplica a un limitador 102. El limitador es un limitador con límite inferior y superior ajustable (limitador dinámico). El límite inferior N_{inf} y el límite superior N_{sup} son predeterminados por un control de limitador 200. El control de limitador 200 también puede incluir procedimientos para el frenado de la instalación de energía eólica. También pueden estar previstos procedimientos para el fallo de la red de tensión, el llamado caso Fault Ride Through (FRT). En el presente caso, se discute la situación de inercia virtual y su procedimiento, en el que la energía rotacional de la parte giratoria de la instalación de energía eólica se toma aumentando la potencia eléctrica alimentada. El valor de partida del limitador 102 se usa para controlar el momento de generador N^* . El control del momento de generador se realiza según el generador usado y su modo de conmutación. En la máquina asíncrona 18 de doble alimentación anteriormente indicada, el momento de generador se ajusta por ejemplo mediante el mando del convertidor. El momento de generador es el momento eléctrico que debe aplicarse al generador para la generación de potencia eléctrica. En el ejemplo representado en la figura 2, el valor teórico para el momento de generador N^* se aplica al convertidor 30, que puede ser el convertidor 20, 22 del lado del generador o del lado de la red o de los dos.

65 El estado de funcionamiento de inercia virtual usa una frecuencia medida f_{med} en el punto de alimentación de la instalación de energía eólica. El valor de frecuencia medida f_{med} representa el valor real y detecta una desviación del

valor nominal. En un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica conectadas, un control de parque recibe la frecuencia medida y transmite la frecuencia medida sin otro procesamiento a todas las instalaciones de energía eólica conectadas o inicia un procedimiento correspondiente en la instalación de energía eólica. Alternativamente, la frecuencia también puede medirse localmente para una o varias instalaciones, por lo que se evita un retardo de tiempo de propagación y un esfuerzo por comunicación en el parque eólico.

La medición de frecuencia se evalúa en el control de la instalación de energía eólica para activar la función de la inercia virtual. Cuando la frecuencia cae por debajo de una frecuencia de activación $f_{\text{activación}}$ como primer valor de frecuencia predeterminado, se activa el procedimiento para la inercia virtual en el control del controlador 200. Cuando está activada la función de inercia virtual se pone una señal elevadora correspondiente y se pasa por una serie de estados de funcionamiento: El modo de funcionamiento elevador y el modo de funcionamiento de restablecimiento con modo de funcionamiento de transición eventualmente intercalado.

La figura 4 describe la generación de la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$, así como del valor teórico para el momento de generador $N_{\text{elevación}}$. La magnitud de entrada para la generación de la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$ es el valor real de la frecuencia f_{med} en la red de suministro eléctrico. En la etapa 302, el valor real de la frecuencia se compara con un primer valor de frecuencia predeterminado para la frecuencia de activación $f_{\text{activación}}$. Si el valor real es inferior al primer valor de frecuencia predeterminado, la salida del circuito de detección 304 correspondiente se pone a 1. La señal de salida del circuito de detección 304 se aplica a la entrada PONER de un inestable 306, de modo que en la salida Q de éste está presente la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$. Si el valor real de la frecuencia en una comparación 308 es superior a un segundo valor de frecuencia predeterminado para una frecuencia de restablecimiento $f_{\text{reposición}}$, esto se detecta en el circuito de detección 310 y un valor 1 correspondiente se aplica a la entrada del circuito O 312. A la otra entrada del circuito O 312 se aplica la salida de un elemento de tiempo 314, cuya salida está presente en un comparador 316 para la determinación de un intervalo de tiempo predeterminado, la duración de elevación $T_{\text{elevación}}$. Si se excede el intervalo de tiempo predeterminado $T_{\text{elevación}}$, se aplica un 1 al circuito O 312. A continuación, se describirán otras condiciones para el circuito O 312. La salida del circuito O 312 se aplica a la entrada REPONER del biestable 306, que sirve para poner a cero la salida Q.

La señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$ se aplica a una bifurcación si-entonces 318. Cuando está puesta la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$, a la salida entonces se aplica una potencia eléctrica constante $P_{\text{constante}}$ 320. La potencia eléctrica constante $P_{\text{constante}}$ 320 se realimenta mediante un elemento de tiempo z^{-1} 324. Con la potencia eléctrica constante $P_{\text{constante}}$ 320 se mantiene constante el valor real de la potencia eléctrica antes de aparecer la señal elevadora y se usa como base para el control durante el modo de funcionamiento elevador.

En un bloque adicional 301 se determina una potencia adicional P_{inc} como suplemento de potencia. Para determinar el suplemento de potencia pueden elegirse diferentes enfoques. En un enfoque se toma como base la potencia nominal P_n . En una configuración alternativa, puede tomarse como base la potencia constante $P_{\text{constante}}$. Según la configuración, puede multiplicarse un porcentaje como parte con la magnitud base, para obtener el suplemento de potencia P_{inc} . Como alternativa, también es posible elegir un factor en función de la frecuencia que se multiplica a continuación según el valor de frecuencia con la magnitud base. Se suman la potencia constante $P_{\text{constante}}$ y la potencia adicional P_{inc} y se dividen por el valor real actual del número de revoluciones n_{med} , para determinar el valor teórico para el momento de generador $N_{\text{elevación}}^*$.

En resumen, respecto al proceso en la figura 4 puede decirse que, cuando se detecta la frecuencia por debajo del valor de frecuencia $f_{\text{activación}}$, se genera una señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$ durante un tiempo de elevación $T_{\text{elevación}}$ que puede ser predeterminado. Mediante el uso de una segunda frecuencia predeterminada $f_{\text{reposición}}$, puede salirse antes de tiempo del modo de funcionamiento elevador. Otras condiciones posibles para salir antes de tiempo del modo de funcionamiento elevador pueden ser, por ejemplo, un número de revoluciones mínimo del generador. Por el número de revoluciones mínimo del generador puede evitarse una desconexión de la instalación de energía eólica como resultado del modo de funcionamiento elevador. También puede estar definida una velocidad mínima para el generador o una reducción máxima del número de revoluciones, para evitar un modo de funcionamiento de pérdida de sustentación y una parada de la instalación de energía eólica. Si se termina antes de tiempo el modo de funcionamiento elevador, también se repone la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$.

El cálculo de la señal elevadora y del valor teórico para el par del generador en el modo de funcionamiento elevador representado en la figura 4, se realiza según el diagrama de bloques de la figura 3 para determinar el límite superior N_{sup} y el límite inferior N_{inf} en el limitador 102. Para determinar el límite superior e inferior para el limitador 102, en la figura 3 se aplican el valor real del número de revoluciones n_{med} , el valor real de la frecuencia f_{med} y el valor real de la potencia eléctrica P_{med} alimentada a un bloque 300. El bloque 300 tiene la estructura explicada respecto a la figura 4. Las magnitudes de salida del bloque 300 son la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$ y el valor teórico para el par $N_{\text{elevación}}^*$ en el modo de funcionamiento elevador. En una bifurcación si-entonces 201 y 202 se aplica respectivamente la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$, así como el valor teórico de par $N_{\text{elevación}}^*$ determinado para el modo de funcionamiento elevador. Además, existen como alternativa "sino" los valores para el par máximo $N_{\text{máx}}$ y el par mínimo $N_{\text{mín}}$ previstos para el modo de funcionamiento normal. Cuando se ha activado la señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$, se emite durante este tiempo como límite superior N_{sup}^* 203 y N_{inf}^* 204 en la relación si-entonces. Si no está presente ninguna señal elevadora $\text{bandera}_{\text{elevación}}$, se pone el valor $N_{\text{máx}}$ como límite superior N_{sup}^* y $N_{\text{mín}}$ como límite inferior N_{inf}^* para el

limitador.

Los límites superiores e inferiores determinados mediante la relación si-entonces se aplican a un bloque de control 400 unitario. El bloque de control 400 unitario tiene como otras señales de entrada también la señal elevadora, así como el valor real del número de revoluciones n_{med} y el valor real de la potencia eléctrica P_{med} alimentada. Se suma el valor de la potencia P_{aero} actualmente disponible por el viento. En el bloque de control 400 unitario se calculan a partir de los valores teóricos aplicados para el límite superior N^*_{sup} y el inferior N^*_{inf} los límites superiores e inferiores N_{inf} y N_{sup} aplicados al limitador. Se trata en este sentido de un bloque de control 400 unitario, puesto que el mismo controla los valores teóricos aplicados para el par en cada estado de funcionamiento que puede producirse en una función de inercia virtual.

La transformación de los valores teóricos N^*_{inf} y N^*_{sup} en las magnitudes de control N_{inf} y N_{sup} se realiza mediante una función de rampa 401, 402. Las funciones de rampa se activan mediante una señal de rampa 410. La activación de la función de rampa se realiza cuando está activada o bien la señal de transición bandera_{trans} 412 o la señal de restablecimiento bandera_{rest} 414. Además, el valor teórico N^* 416 obtenido del control del número de revoluciones para el momento de generador debe ser en el comparador 418 inferior al valor teórico para el límite inferior del par N^*_{inf} . En la figura 5 no está representada la otra alternativa en la que está previsto un segundo comparador, que comprueba adicionalmente si el valor teórico para el momento de generador N^* es eventualmente también superior al valor teórico para el límite superior N^*_{sup} . En cualquier caso, es una condición necesaria para la activación de las funciones de rampa 401 y 402 que el valor teórico N^* para el momento de generador esté fuera de los valores teóricos para el momento de generador N^*_{inf} y N^*_{sup} .

Cuando están activadas las funciones de rampa, a la función de rampa 401 se aplica la rampa $rampa_{inf}$ para el límite inferior en el limitador y a la función de rampa 402 la rampa $rampa_{sup}$ para el límite superior en el limitador. Las rampas representan cambios máximos admisibles a lo largo del tiempo para el momento de generador.

El cálculo de las funciones de rampa se realiza en el bloque 600. La figura 7 muestra cuatro ejemplos de realización para los cálculos de las rampas en el bloque 600. En el cálculo de las funciones de rampa hay que distinguir si después de finalizar el modo de funcionamiento elevador está previsto un modo de funcionamiento de transición para la instalación de energía eólica o si el control de funcionamiento cambia directamente al modo de funcionamiento de restablecimiento. Las figuras 7a y 7b se refieren a un control de funcionamiento en el que la instalación de energía eólica cambia directamente al modo de restablecimiento, mientras que las figuras 7c y 7d muestran también un área de transición intercalada.

La figura 7a muestra la determinación de una señal de mando 602 $rampa_{rest}$ para la función de rampa. La señal de mando $rampa_{rest}$ se obtiene por ejemplo de una tabla de consulta en la que está representado el cambio del momento de generador a lo largo del tiempo respecto al cambio del número de revoluciones. El cambio del número de revoluciones se determina a partir del valor real del número de revoluciones n_{med} mediante un elemento diferenciador 606. En la tabla de consulta 604 se determina la relación entre la potencia P_{aero} que puede recibirse del viento y la potencia eléctrica alimentada. En la tabla de consulta hay que tener en cuenta que debido a un número de revoluciones creciente aumenta la energía rotacional en la instalación de energía eólica, mientras que con un momento de generador N decreciente se reduce también la potencia eléctrica alimentada. Mediante la señal de mando $rampa_{rest}$ 602 se limita el cambio máximo admisible del momento de generador. En una aplicación en las funciones de rampa, $rampa_{rest}$ puede aplicarse tanto como $rampa_{inf}$ a la función de rampa 401 como también como $rampa_{sup}$ a la función de rampa 402.

La figura 7b muestra una configuración alternativa, en la que la derivación del valor real a lo largo del tiempo suma mediante un término de cambio constante $\frac{dn^*}{dt} /_{const}$ 608. El cambio del número de revoluciones más elevado de este modo se regula mediante un regulador 610. El regulador 610 presenta un elemento proporcional y puede estar realizado como regulador P, PI o PID. La magnitud de partida del regulador 610 es la señal de mando 602 $rampa_{rest}$ para el mando de las funciones de rampa 401 y 402.

La figura 7c muestra un ejemplo para el cálculo de las señales de mando $rampa_{trans}$ y $rampa_{rest}$ para las funciones de rampa, cuando después del modo de funcionamiento elevador se distingue entre el modo de funcionamiento de transición y el modo de funcionamiento de restablecimiento. Durante el modo de funcionamiento de transición se predefine un valor constante $\frac{dN^*}{dt} /_{const}$ 631 para el cambio máximo admisible del momento de generador. Este valor definido es constante a lo largo del tiempo para el área de transición. Cuando después del modo de funcionamiento de transición vuelve a conmutarse al modo de funcionamiento de restablecimiento, partiendo del límite inferior N_{inf} que está presente anteriormente, este se hace retroceder un paso en el tiempo y se resta una magnitud de cociente 612. La magnitud de cociente 612 se compone del cociente, formado por la diferencia de la potencia P_{aero} disponible por el viento y una diferencia de potencia ΔP predeterminada. El denominador del cociente está formado por el valor real del número de revoluciones. La potencia dividida por el número de revoluciones corresponde a un par, pudiendo interpretarse el cociente como un par que debe ser predeterminado, para mantenerse una diferencia de potencia ΔP constante por debajo de la potencia P_{aero} disponible. El momento de generador se reduce lo que corresponde a esta

magnitud. La diferencia se divide por un intervalo de tiempo T_{muestreo} 614, para obtener así un cambio de par máximo admisible como señal de mando $ramp_{\text{rest}}$ para la función de rampa. La idea central en el funcionamiento de restablecimiento es que la diferencia de potencia ΔP no se toma del viento, para aumentar así la energía rotacional de la instalación de energía eólica.

5 Otra configuración se explica en la figura 7d. También en este caso, la señal de mando 602 para la función de rampa está puesta durante todo el funcionamiento de transición a un valor constante $\frac{dN^*}{dt} / c_{\text{const}}$ 641. En el modo de funcionamiento de restablecimiento, se calcula la señal de mando $ramp_{\text{rest}}$ 616 con un enfoque similar como el que está representado en la figura 7c. No obstante, el momento a restar en la etapa 618 no se determina con ayuda de una potencia de diferencia fijamente predeterminada, sino partiendo del valor real de potencia P_{med} y del valor real para el número de revoluciones. Mientras la señal de restablecimiento $bandera_{\text{rest}}$ está presente en la bifurcación si-entonces, el valor real de la potencia se mantiene constante mediante el elemento de tiempo z^{-1} , es decir, se mantiene en el valor de antes de haber cambiado al modo de funcionamiento de restablecimiento. Para el valor de revoluciones n_{med} se elige el valor real actual. La idea central en esta configuración es que, gracias a mantenerse constante el valor de potencia, se produce una corrección proporcional del momento de generador según el valor real de la potencia al empezar el modo de funcionamiento de restablecimiento, haciéndose depender esto del valor real del número de revoluciones n_{med} .

20 Con respecto al bloque de control 600 unitario, esto significa que, cuando a la bifurcación si-entonces 403 se aplica la señal de transición $bandera_{\text{trans}}$ 412, la señal de mando $ramp_{\text{inf}}$ para la función de rampa 401 corresponde a la señal de mando $ramp_{\text{trans}}$ calculada. Si en cambio se aplica la señal de restablecimiento $bandera_{\text{rest}}$ 414 a la bifurcación si-entonces 403, la señal de mando $ramp_{\text{inf}}$ para la función de rampa 401 está predeterminada por la señal de mando 616 $ramp_{\text{rest}}$. La conmutación de la señal elevadora ($bandera_{\text{elevación}}$) a la señal de transición ($bandera_{\text{trans}}$) o a la señal de restablecimiento ($bandera_{\text{rest}}$) está representada en el bloque de conmutación 500 en la figura 5. Una posible estructura más detallada del bloque de conmutación 500 se muestra en la figura 6.

30 Elementos centrales para la conmutación son dos circuitos biestables 502, 504. En la entrada PONER del circuito biestable 502 está presente la señal elevadora $bandera_{\text{elevación}}$, que mediante un circuito de detección 506, al desactivar la señal elevadora aplica una señal de entrada a la entrada PONER del biestable y genera por lo tanto una señal de transición $bandera_{\text{trans}}$ en la salida Q del circuito biestable 502. La condición final para el área de transición se consigue mediante activación en la entrada REPONER del biestable 502. La terminación del área de transición puede hacerse depender de que sea positivo el cambio del número de revoluciones. Esto significa que el número de revoluciones vuelve a aumentar, de modo que puede reponerse la señal de transición $bandera_{\text{trans}}$. Alternativamente a un aumento del número de revoluciones, también puede aplicarse una señal a la entrada REPONER del circuito biestable, cuando la potencia medida P_{med} es inferior a la potencia actualmente disponible por el viento P_{aero} .

40 En los dos casos, termina el área de transición y se desactiva la señal de transición $bandera_{\text{trans}}$. En respuesta a la desactivación de la señal de transición $bandera_{\text{trans}}$, la unidad de detección 508 aplica una señal a la entrada PONER del circuito biestable 504. Correspondientemente, se activa en la salida Q la señal de restablecimiento $bandera_{\text{rest}}$. El modo de funcionamiento de restablecimiento se mantiene hasta que en la entrada REPONER del circuito biestable 504 se aplique la señal de salida del comparador 510, que indica que el valor teórico para el momento de generador N^* es superior al límite inferior N_{inf} en el limitador. Adicionalmente puede estar previsto otro comparador, que compara si el valor teórico N^* es inferior al valor límite superior N_{sup} en el limitador.

45 La funcionalidad del modo de funcionamiento de transición y del modo de funcionamiento de restablecimiento puede resumirse de la siguiente manera: Se pone una señal para el servicio de transición, en cuanto se detecte que se ha desactivado el modo de funcionamiento elevador y se ha activado la señal para el modo de funcionamiento para la inercia virtual. Puede desactivarse el modo de transición, cuando se cumpla una de las dos condiciones de la figura 6 que se aplican a la entrada REPONER del circuito biestable 502. Si el número de revoluciones es superior a un valor positivo reducido que puede ser predeterminado y suficientemente elevado para activar oscilaciones por velocidad en el generador. La segunda condición se refiere al valor real de la potencia eléctrica alimentada, por ejemplo en forma de la potencia activa, en comparación con la potencia aerodinámica P_{aero} estimada proporcionada por el viento. Una diferencia que puede predeterminarse en la potencia está basada en las pérdidas entre la potencia aerodinámica y la potencia alimentada y debería ser suficientemente grande para impedir la activación de oscilaciones en la potencia aerodinámica estimada o en la potencia activa suministrada.

60 Cuando ha terminado el modo de funcionamiento de transición, se inicia el modo de funcionamiento de restablecimiento. El modo de funcionamiento de restablecimiento se mantiene conectado mientras el valor teórico del par para el modo de funcionamiento normal esté limitado por el límite inferior del limitador (véase el comparador 510). Una desactivación del modo de funcionamiento de restablecimiento indica que la instalación de energía eólica vuelve a su modo de funcionamiento normal.

65 La figura 8 muestra respecto al tiempo el desarrollo cualitativo de la potencia activa P , del momento de generador N , del número de revoluciones ω y de la frecuencia f en la red de suministro eléctrico. El modo de funcionamiento se activa en el momento t_1 , en el que la frecuencia de la red f cae por debajo de un valor $f_{\text{activación}}$. En el momento t_1 se

activa el modo de funcionamiento elevador. Después de un breve aumento de la potencia activa alimentada y del momento de generador N, la potencia alimentada alcanza un valor constante, que es P_{inc} superior al valor de potencia P_{pre} anteriormente usado. En el modo de funcionamiento elevador aumenta el momento de generador N y baja el número de revoluciones ω .

- 5 Después del intervalo de tiempo predeterminado para la alimentación de potencia más elevada $T_{elevación}$ se ha llegado al momento t_2 y sigue el área de transición. El área de transición está caracterizada porque el momento de generador se reduce con una pendiente constante entre el intervalo de tiempo t_2 y t_3 . En este lapso de tiempo se estabiliza el número de revoluciones. Termina el área de transición cuando se ha alcanzado un límite de potencia inferior P_{dip} . De este modo queda garantizado que la potencia en la instalación de energía eólica no baje de forma demasiado brusca produciéndose una parada de la instalación de energía eólica. Después de terminar el modo de funcionamiento de transición, vuelve a comenzar el modo de funcionamiento de restablecimiento en el momento t_3 . En el modo de funcionamiento de restablecimiento aumentan tanto el par como el número de revoluciones hasta que haya terminado el modo de funcionamiento de restablecimiento. Al terminar el modo de funcionamiento de restablecimiento, la potencia eléctrica alimentada corresponde a la potencia eléctrica alimentada antes de la caída de la frecuencia.
- 10
- 15

Lista de referencias

10	Instalación de energía eólica
11	Torre
12	Góndola
14	Rotor
16	Palas de rotor
18	Generador asíncrono
20	Convertidor
24	Transformador
25	Red de suministro eléctrico
26	Regulación
27	Regulación del parque eólico
28	Elemento PT
102	Limitador
200	Control del limitador
201	Bifurcación si-entonces
202	Bifurcación si-entonces
300	Bloque
301	Bloque adicional
302	Comparador
304	Circuito de detección
306	Biestable
308	Comparador
310	Circuito de detección
312	Circuito O
314	Elemento de tiempo
316	Comparador
318	Bifurcación si-entonces
320	Elemento de tiempo
322	Elemento de selección
324	Elemento de selección
326	Elemento de cálculo
400	Bloque de control unitario
401	Función de rampa
402	Función de rampa
403	Bifurcación si-entonces
418	Comparador
420	Bloque acumulador
500	Bloque de conmutación
502	Circuito biestable
504	Circuito biestable
506	Circuito de detección
508	Circuito de detección
510	Comparador
600	Bloque de control
604	Tabla de consulta
606	Elemento diferenciador
610	Regulador
n*	Valor teórico del número de revoluciones

ES 2 854 706 T3

N_{med}	Valor real del número de revoluciones
N^*	Valor teórico del par
$N^{*'} $	Valor teórico de par limitado
$N^*_{elevación}$	Valor teórico para el momento de generador
N_{inf}	Límite inferior aplicado
N_{sup}	Límite superior aplicado
N^*_{inf}	Valor teórico para el límite inferior
N^*_{sup}	Valor teórico para el límite superior
$N_{mín}$	Par mínimo
$N_{máx}$	Par máximo
f_{med}	Frecuencia de red medida
$f_{activación}$	Frecuencia de activación
$f_{reposición}$	Frecuencia de reposición
$T_{elevación}$	Duración de elevación
P_{aero}	Potencia disponible
$P_{elevación}(f)$	Valor de potencia determinado en función de la frecuencia
$P_{constante}$	Potencia eléctrica constante
P_{inc}	Potencia a proporcionar adicionalmente
P_{el}	Potencia eléctrica alimentada antes de producirse la caída de la frecuencia
P_{med}	Potencia eléctrica medida
P_n	Potencia nominal
P_{total}	Valor teórico de potencia agregado
$N^*_{elevación}$	Valor teórico para el momento de generador en el modo de funcionamiento elevador
$N_{máx}$	Par máximo en el modo de funcionamiento normal
$N_{mín}$	Par mínimo en el modo de funcionamiento normal
$bandera_{elevación}$	Señal elevadora
$bandera_{trans}$	Señal de transición
$bandera_{rest}$	Señal de restablecimiento
$rampa_{inf}$	Rampa para el límite inferior
$rampa_{sup}$	Rampa para el límite superior
$rampa_{rest}$	Señal de mando para la función de rampa en el modo de funcionamiento de restablecimiento
$rampa_{trans}$	Señal de mando para la función de rampa en el modo de funcionamiento de transición
$rampa_{activa}$	Señal de rampa
$\frac{dn^*}{dt} /_{const}$	Cambio del número de revoluciones constante a lo largo del tiempo
$\frac{dN^*}{dt} /_{const}$	Valor constante para el cambio del par a lo largo del tiempo
ΔP	Diferencia de potencia constante
P_{dip}	Límite inferior de la potencia

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de una instalación de energía eólica que presenta un generador controlado mediante un convertidor, en un modo de funcionamiento elevador, en el que se eleva una potencia eléctrica alimentada a una red de suministro eléctrico mediante un retardo generador del generador, estando previstas las siguientes etapas del procedimiento:
- determinación de un valor teórico para un momento de generador (N^*) en función del valor real de un número de revoluciones (n_{med}), caracterizado por
 - la aplicación del valor teórico determinado para el momento de generador (N^*) mediante un limitador con límite superior e inferior (N_{sup} , N_{inf}) que pueden ser predeterminados a un generador,
 - generación de una señal elevadora ($bandera_{elevación}$) para un cambio a un modo de funcionamiento elevador, en el que se alimenta una potencia más elevada a la red de suministro eléctrico,
 - en respuesta a la señal elevadora ($bandera_{elevación}$), la determinación del valor teórico para el momento de generador ($N^*_{elevación}$) en el modo de funcionamiento elevador, que en comparación con un valor real de la potencia alimentada ($P_{constante}$) conduce a una potencia eléctrica alimentada más elevada ($P_{constante} + P_{inc}$), y
 - en respuesta a una señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), que inicia una reconducción de la instalación de energía eólica a un estado estable y adecuado para el modo de funcionamiento continuo, se produce una limitación de un cambio del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo en un modo de funcionamiento de restablecimiento.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que, cuando está puesta la señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), se determina el cambio máximo admisible del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) en función del cambio del número de revoluciones (dn/dt) a lo largo del tiempo.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que, cuando está puesta la señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), se determina el cambio máximo admisible del valor teórico del momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo en función de un valor real de la potencia alimentada (P_{med}) cuando aparece la señal de restablecimiento y de un valor real del número de revoluciones (P_{med}).
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que, cuando está puesta la señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), se determina el cambio máximo admisible del valor teórico del momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo en función del valor real del número de revoluciones (n_{med}) y de la potencia disponible (P_{aero}).
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que, cuando está puesta la señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), se determina el cambio máximo admisible del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo en función del cambio del número de revoluciones (dn_{med}/dt) mediante un regulador con un elemento P y/o un elemento PI.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que al cambio del valor real del número de revoluciones a lo largo del tiempo (dn_{med}/dt) para la determinación del cambio máximo admisible del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo se suma un término constante (dn^*dt).
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que se repone la señal elevadora ($bandera_{elevación}$), cuando o bien ha pasado un intervalo de tiempo predeterminado ($T_{elevación}$) desde la aparición de la señal elevadora ($bandera_{elevación}$) o cuando el valor real de la frecuencia (f_{med}) en la red de suministro eléctrico es superior a un segundo valor de frecuencia ($f_{reposición}$) predeterminado, que es superior al primer valor de frecuencia predeterminado ($f_{activación}$).
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que se genera una señal de transición ($bandera_{trans}$) al reponer la señal elevadora ($bandera_{elevación}$) y antes de una señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$).
9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que cuando está presente la señal de transición ($bandera_{trans}$), el cambio máximo admisible del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo se pone en un valor constante.
10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que la señal de transición ($bandera_{trans}$) se repone y se pone la señal de restablecimiento ($bandera_{rest}$), cuando aumenta el valor real del número de revoluciones (n_{med}) y la potencia alimentada (P_{med}) es inferior a la potencia disponible (P_{aero}).
11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que una función de rampa controla el cambio del valor teórico para el momento de generador (dN^*/dt) a lo largo del tiempo.
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que se repone la señal de

restablecimiento ($\text{bandera}_{\text{rest}}$), cuando el valor teórico del momento de generador (N^*) está situado en un intervalo predeterminado por el límite superior (N_{sup}) y el límite inferior (N_{inf}) del limitador.

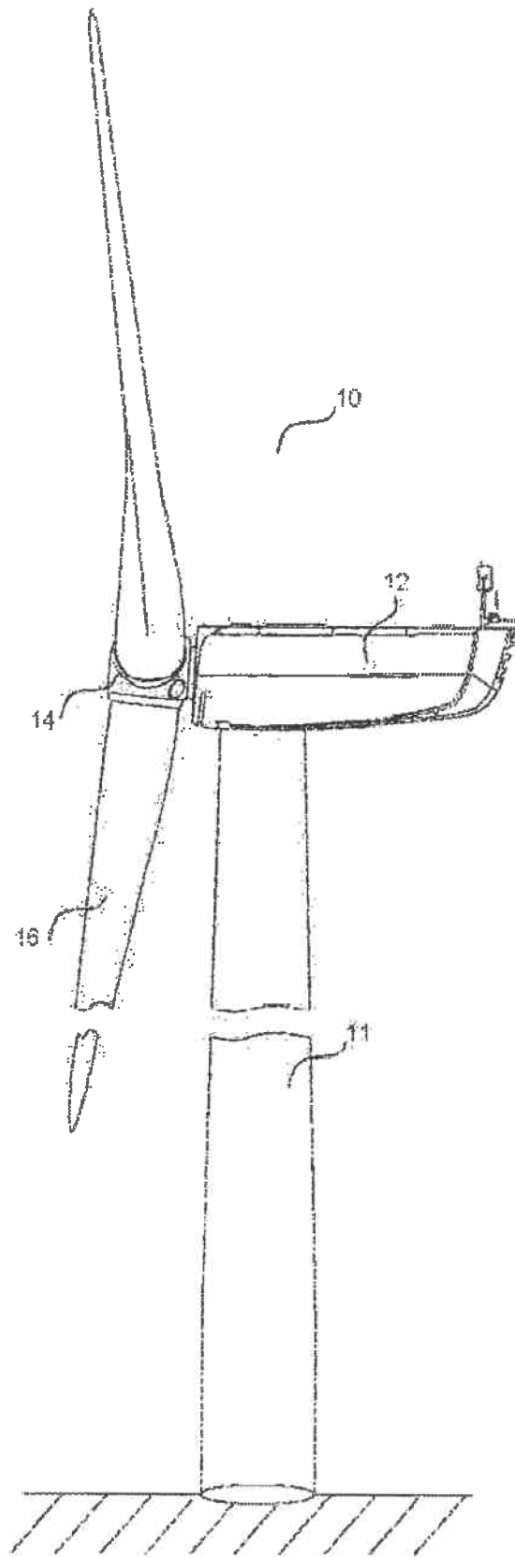


Fig. 1a

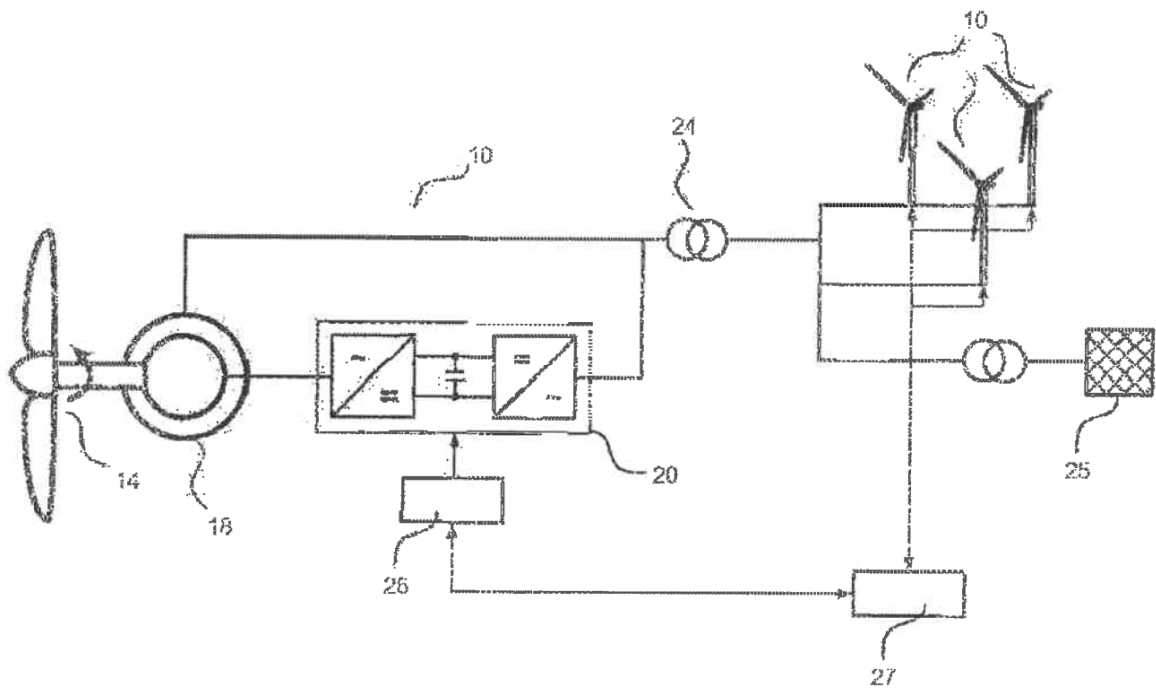


Fig. 1b

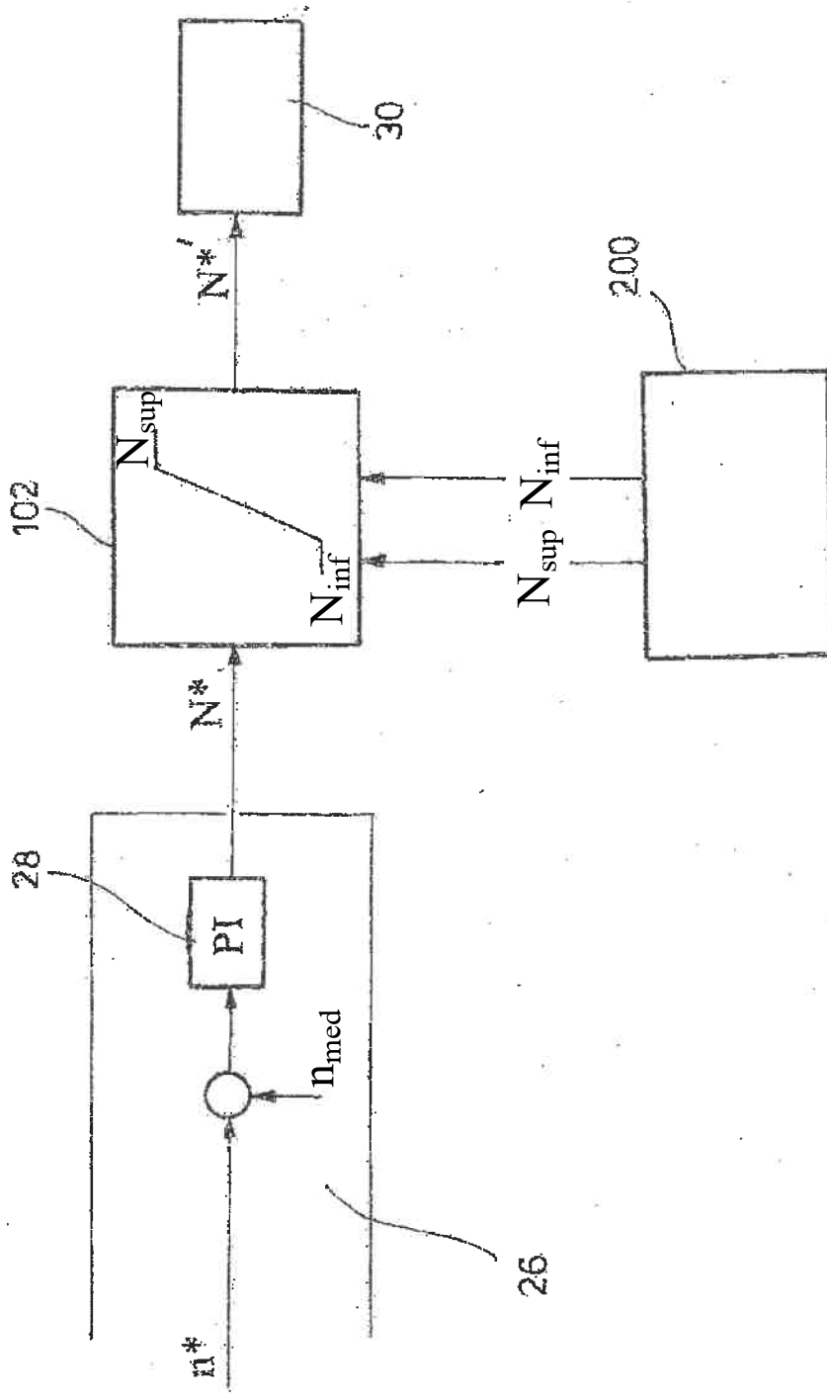


FIG. 2

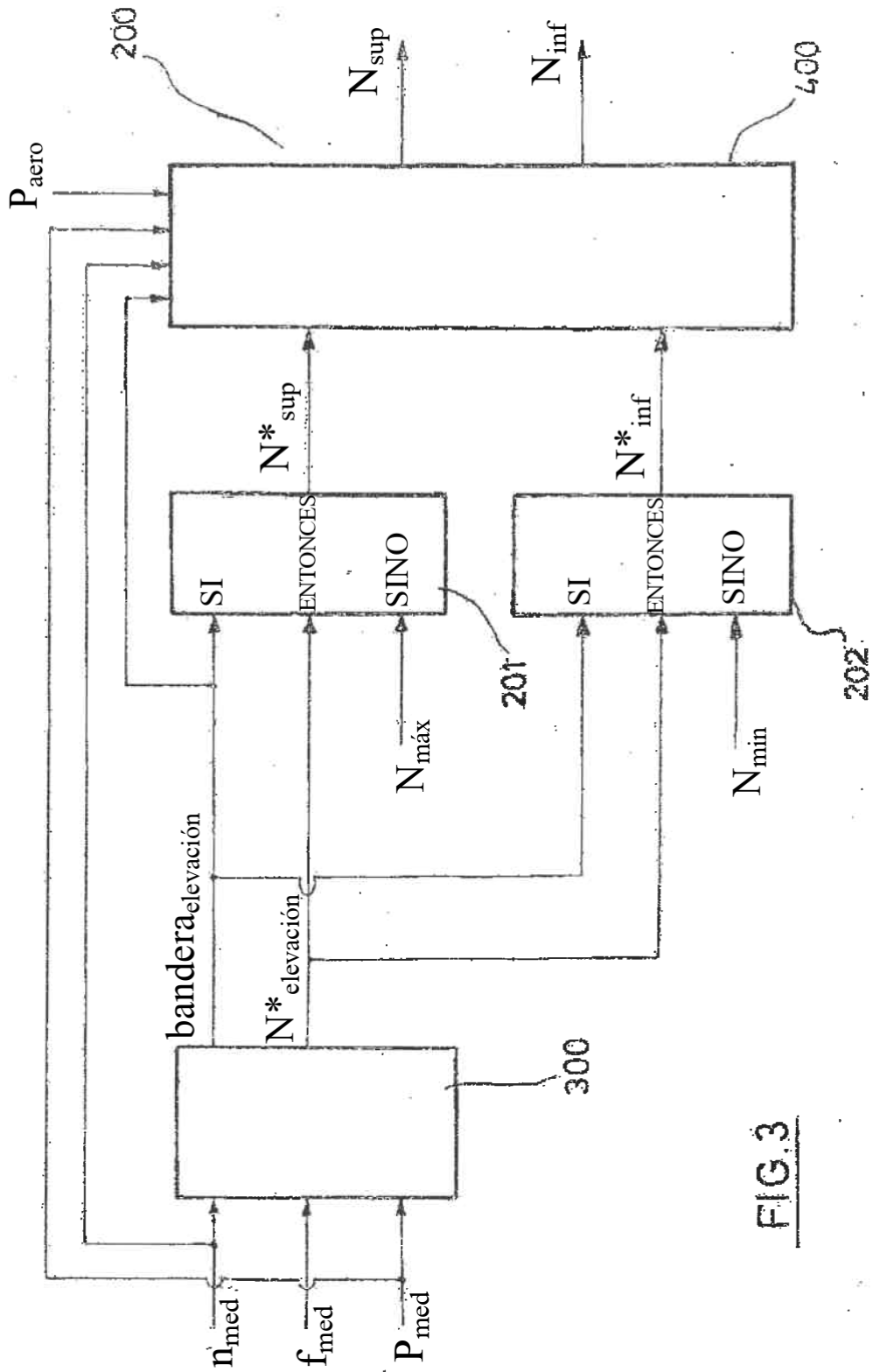


FIG.3

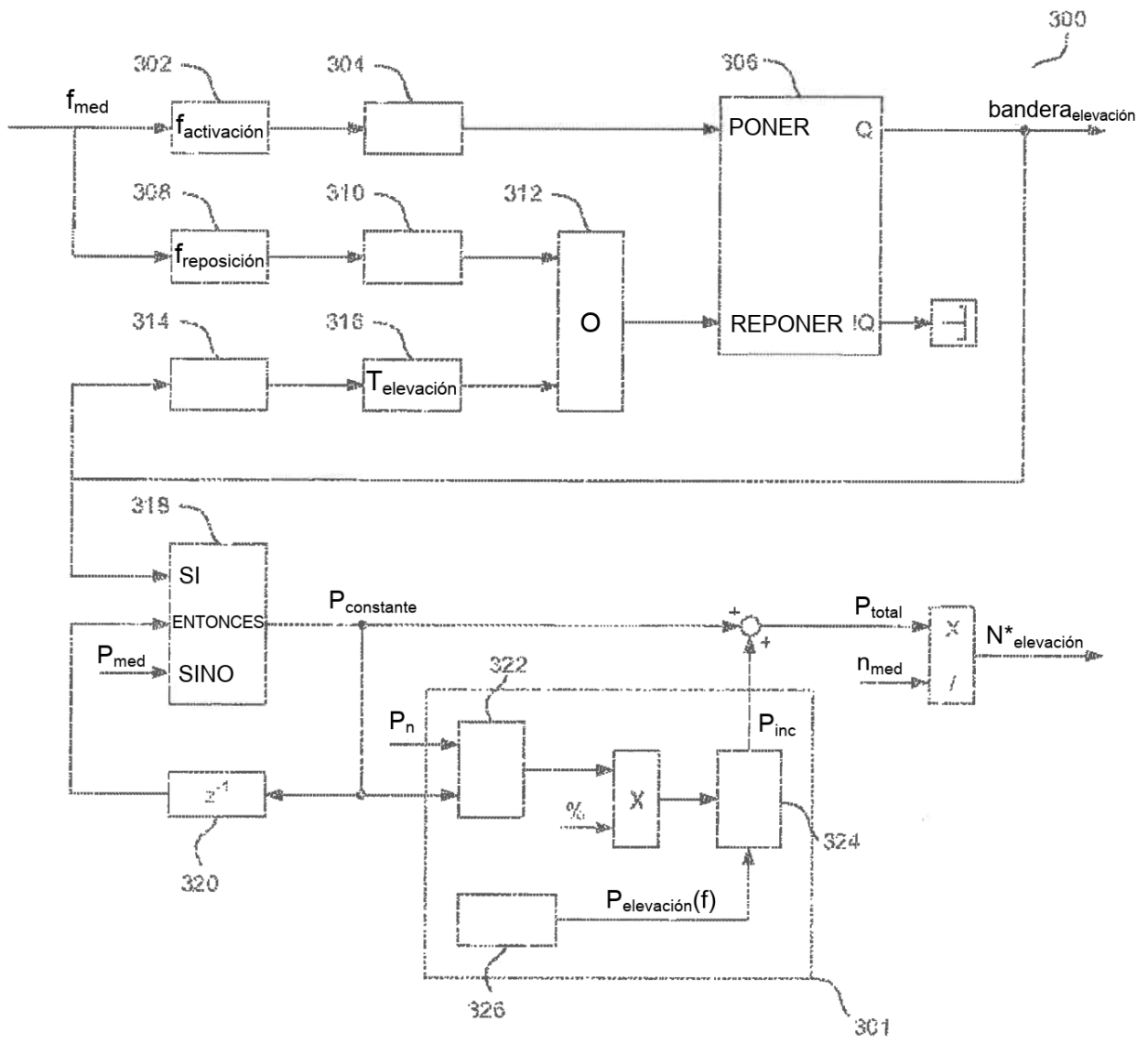


Fig. 4

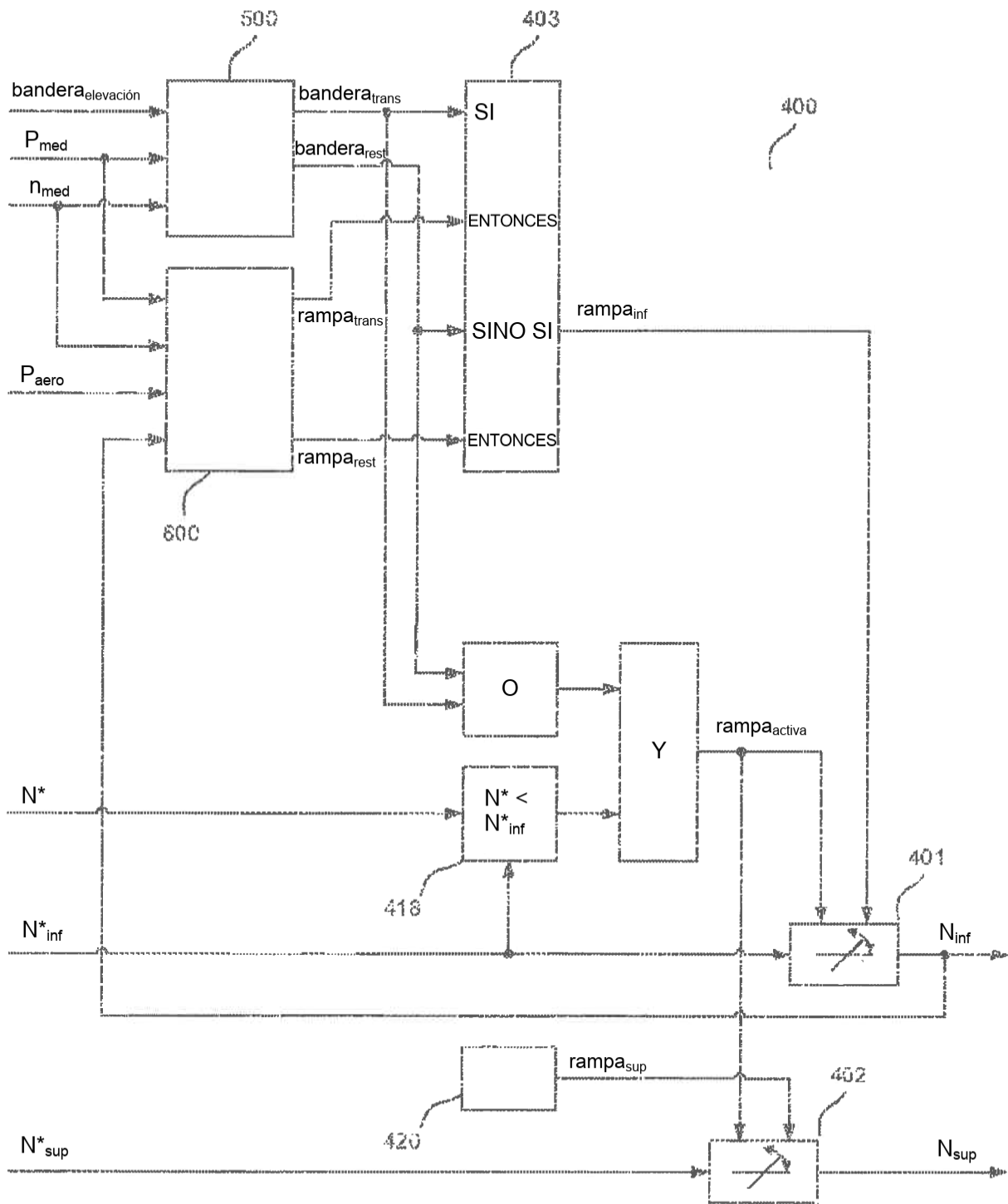


Fig. 5

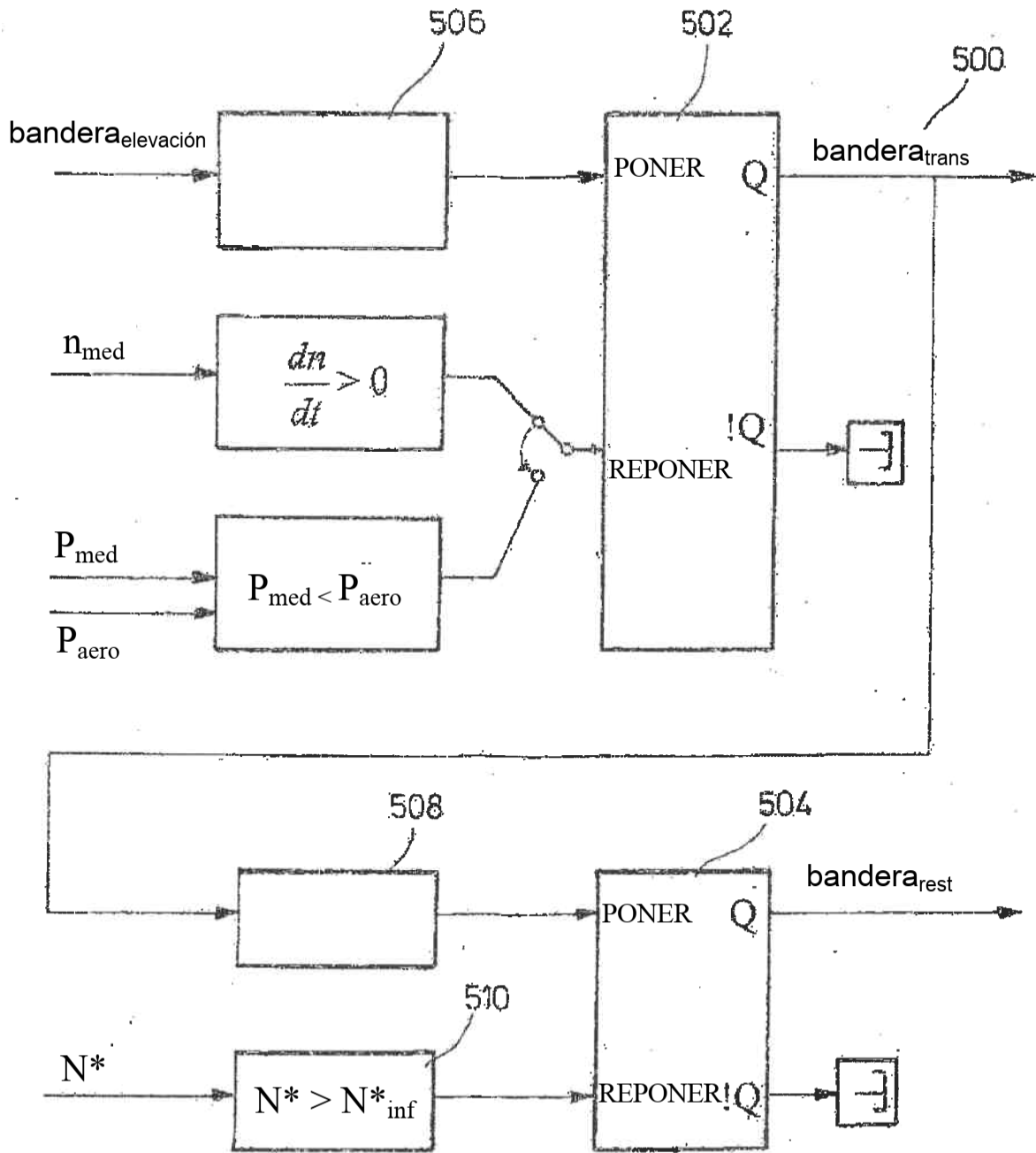


FIG. 6

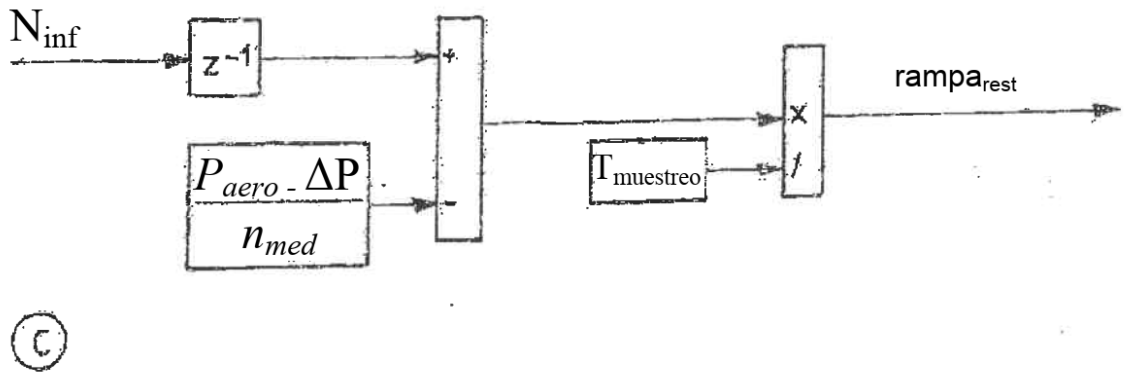
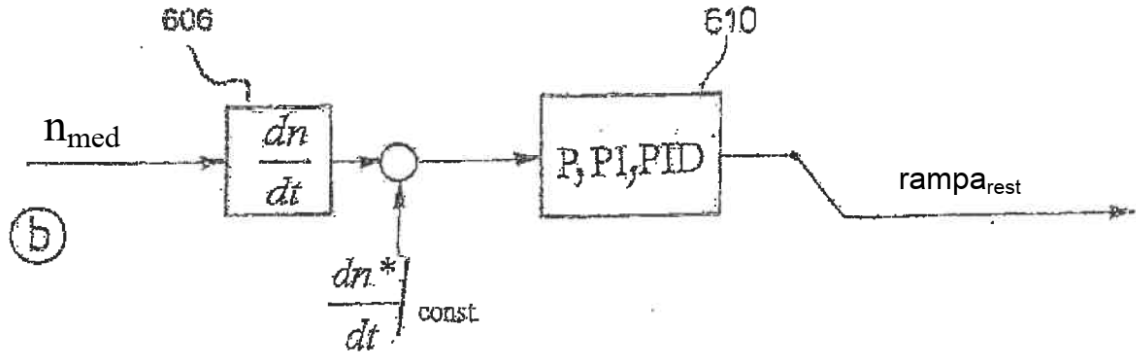
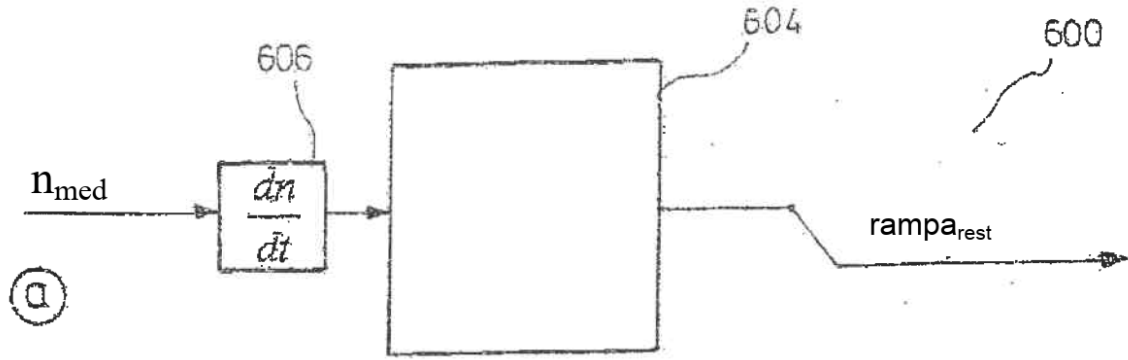


FIG.7a-c

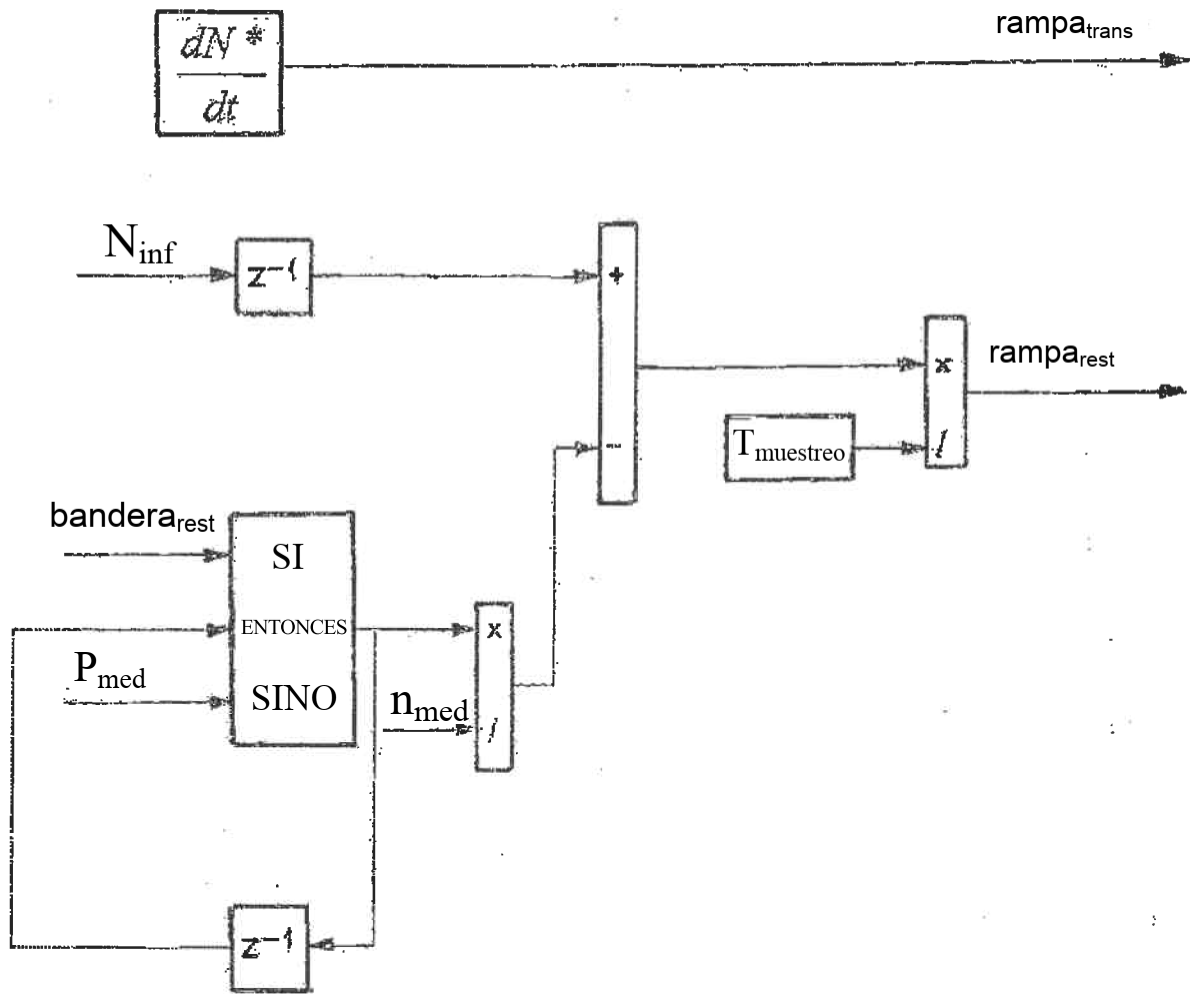


FIG. 7d

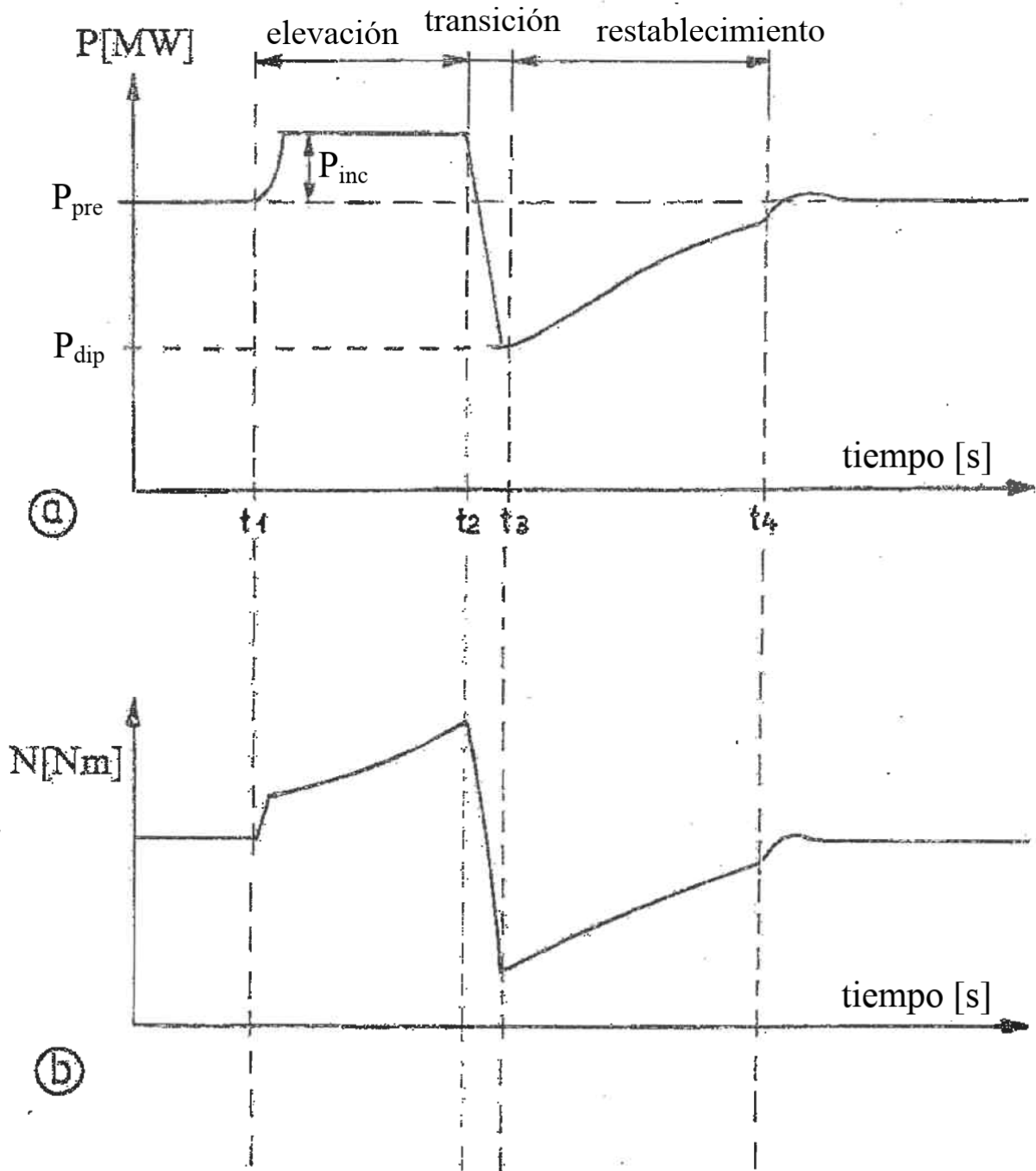
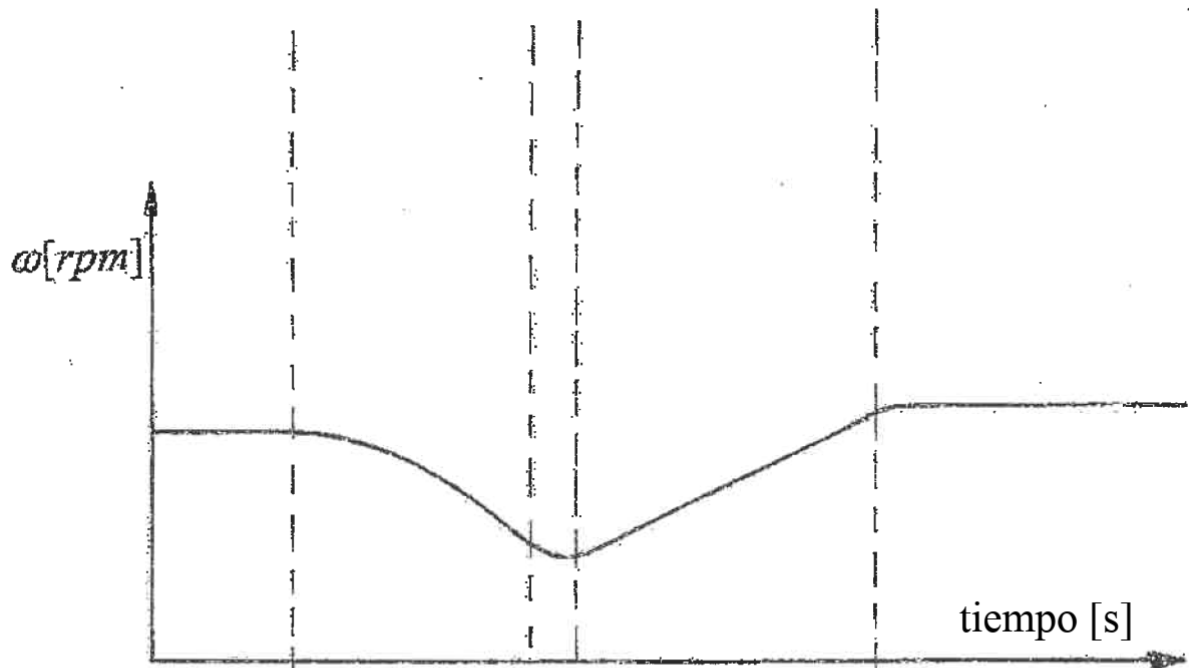
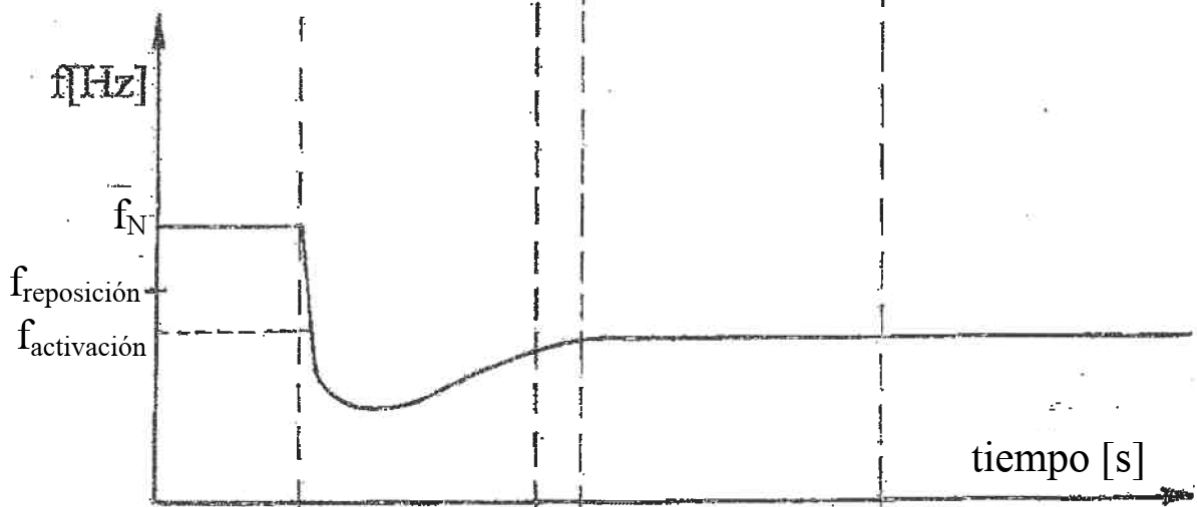


FIG.8 (a,b)



(c)



(d)

FIG. 8 (c,d)