

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 018 616**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.11.2019 PCT/EP2019/082244**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2020 WO20104664**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2019 E 19809428 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 3884153**

54 Título: **Estructura de controlador y procedimiento de control para una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

23.11.2018 DE 102018129622

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

16.05.2025

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.00%)
Borsigstraße 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

VON ASWEGE, ENNO

74 Agente/Representante:

ERVITI ARBAIZA, Blanca María

ES 3 018 616 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

Estructura de controlador y procedimiento de control para una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a una estructura de controlador para una instalación de energía eólica con un rotor aerodinámico con al menos una pala de rotor, a un procedimiento de control asociado, así como a una instalación de energía eólica y a un parque eólico.

10 Se conocen estructuras de controlador para el funcionamiento de instalaciones de energía eólica. Las más habituales son las denominadas instalaciones de energía eólica de paso controlado, en las que las palas del rotor de la instalación de energía eólica se pueden ajustar alrededor de su eje longitudinal, el llamado eje de paso. Al cambiar el ángulo de paso, se modifica el rendimiento aerodinámico de las palas del rotor, lo que permite limitar la potencia a la potencia nominal cuando se alcanza el viento nominal. Para este fin, se conoce la posibilidad de proporcionar los denominados controladores de velocidad de rotación, como se muestra esquemáticamente en la figura 2, para mantener aproximadamente una velocidad de rotación objetivo N_{Soll} . El controlador de velocidad de rotación 200 está configurado para establecer la velocidad de rotación objetivo N_{Soll} como variable de referencia si es posible, donde una velocidad de rotación real N_{ist} medida por la instalación de energía eólica 100 se realimenta y la desviación se convierte en una tasa de paso ajustable por medio de un controlador P 210 y un controlador D 220. La tasa de paso está limitada por un limitador de tasa de paso 230 a una velocidad de paso objetiva 240, que luego se utiliza para operar la instalación de energía eólica 100.

La calidad del control de velocidad de rotación influye directamente en las cargas de corte de componentes importantes de la instalación de energía eólica, como la torre y las palas de rotor.

25 La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha buscado el siguiente estado de la técnica en la solicitud de prioridad de la presente solicitud: DE 10062025 C1, DE 2903819 A1, DE 10213792 A1, DE 102017105165 A1, US 2014/0246855 A1, US 2015/0130187 A1, EP 2933477 B1.

30 Además, el documento US 2015 / 292 483 A1 describe un sistema y procedimiento para el control dinámico de una instalación de energía eólica. El procedimiento incluye el funcionamiento de la turbina eólica en función de un valor objetivo de empuje y un valor objetivo de velocidad. Un paso siguiente implica determinar un cambio deseado en la velocidad de rotación real de la turbina eólica en respuesta a las entradas de control desde un punto operativo actual. El procedimiento también incluye la determinación de un cambio deseado en el empuje de la turbina eólica en respuesta a las entradas de control desde el punto operativo actual. A continuación, el procedimiento determina al menos un valor objetivo de parámetro que logra el cambio deseado en la velocidad de rotación y el cambio deseado en el empuje y controla la instalación de energía eólica en función del valor objetivo de parámetro de modo que el empuje y la velocidad de rotación reales de la turbina eólica se mantengan dentro de una cierta tolerancia del valor objetivo de empuje y el valor objetivo de velocidad de rotación para regular las cargas que actúan sobre la turbina eólica y al mismo tiempo lograr una salida de potencia casi óptima.

45 Teniendo en cuenta este estado de la técnica, fue un objeto de la presente invención proporcionar una estructura de controlador para control de velocidad que permita una reducción de las cargas de la instalación de energía eólica.

Según un primer aspecto, el objeto se consigue mediante una estructura de controlador para una instalación de energía eólica según la reivindicación 1.

50 El diseño del control de velocidad de rotación como un control en cascada permite que el control de velocidad de rotación externo lento resulte en un control más rápido al proporcionar el bucle de control interno, que tiene una variable de referencia rápidamente ajustable. Esto crea la base para reducir eficazmente las cargas que actúan sobre la instalación de energía eólica. En otras palabras, la variable de referencia lenta del bucle de control externo se mantiene, pero la velocidad del controlador se compensa mediante una variable de referencia del bucle de control interno que cambia rápidamente.

55 En una realización, se proporciona una variable controlada del bucle de control externo como una variable de referencia del bucle de control interno. La variable manipulada del bucle de control externo es por tanto un cambio de velocidad de rotación, una aceleración de velocidad de rotación, una función del cambio de velocidad de rotación y/o una función de la aceleración de velocidad de rotación.

60 En una realización, el bucle de control externo está configurado para limitar un valor objetivo, o punto de ajuste, del bucle de control interno, en particular del cambio de velocidad de rotación, de la aceleración de velocidad de rotación, de la función de cambio de velocidad de rotación y/o de la función de aceleración de velocidad de rotación.

rotación. Esto permite limitar ventajosamente la aceleración máxima que actúa sobre el rotor y las cargas asociadas.

5 La señal de entrada del bucle de control interno comprende una potencia de aceleración de rotor o un par de aceleración de rotor, donde la potencia de aceleración de rotor o el par de aceleración de rotor describe la parte de una potencia o par absorbida por el rotor de la instalación de energía eólica que se convierte en una aceleración de rotor.

10 Aquí y en lo sucesivo, los términos "potencia" y "par" se utilizan indistintamente, ya que pueden convertirse entre sí mediante conversiones simples utilizando la velocidad de rotación. Por consiguiente, las descripciones y ventajas que se explican a modo de ejemplo en relación con una potencia son válidas también para el momento correspondiente y viceversa.

15 En una realización, la señal de entrada del bucle de control interno comprende una potencia aerodinámica absorbida por el rotor, donde la potencia aerodinámica absorbida por el rotor comprende una suma de una potencia de aceleración de rotor y al menos una potencia absorbida por otro componente de la instalación de energía eólica, en particular una potencia de generador de un generador de la instalación de energía eólica, donde la potencia de aceleración de rotor describe la parte de una potencia absorbida por el rotor de la instalación de energía eólica que se convierte en una aceleración del rotor.

20 En una realización, el bucle de control externo determina una desviación de una velocidad de rotación real del rotor con respecto a una velocidad de rotación objetivo del rotor como una desviación de control.

25 El bucle de control externo actúa así de acuerdo con un control de velocidad de rotación convencional de la instalación de energía eólica, donde el diseño inventivo como control en cascada posibilita un ajuste significativamente más rápido de las variables deseadas.

30 En una realización, el bucle de control externo genera un valor objetivo de una potencia o de un par como variable manipulada. Preferiblemente, esta potencia es la potencia de aceleración de rotor o la potencia aerodinámica absorbida. De manera análoga, como se mencionó, la consideración es posible con pares asociados en lugar de con potencias.

35 El bucle de control externo genera preferentemente siempre la magnitud física como valor objetivo, o punto de ajuste, que sirve como señal de entrada para el bucle de control interno. Esta señal de entrada física generalmente incluye en general un cambio de velocidad de rotación, una aceleración de velocidad de rotación, una función de cambio de velocidad de rotación, una función de aceleración de velocidad de rotación, una potencia de aceleración de rotor, un par de aceleración de rotor y/o una potencia aerodinámica.

40 En una realización, el valor objetivo de la potencia está limitada tanto hacia arriba como hacia abajo. De esta forma se evita un control excesivo por parte del bucle de control interno, que puede provocar, por ejemplo, cargas elevadas.

45 En una realización, el valor objetivo de la potencia está limitada asimétricamente hacia arriba y hacia abajo. Esto significa, por ejemplo, que la potencia de aceleración se puede limitar a un valor diferente al de la potencia de frenado, lo que a su vez da como resultado una reducción de las cargas máximas que pueden producirse.

50 En una realización, la potencia comprende una potencia de aceleración de rotor, donde la potencia de aceleración de rotor está limitada a una potencia nominal de la instalación de energía eólica, en particular a un máximo del 20 % de la potencia nominal de la instalación de energía eólica. Al limitar la potencia de aceleración de rotor, se evita una carga de aceleración excesiva.

55 En una realización, la potencia comprende una potencia de rotor aerodinámica, donde la potencia de rotor aerodinámica está limitada al doble de la potencia nominal de la instalación de energía eólica, en particular a un máximo del 120 % de la potencia nominal de la instalación de energía eólica. La potencia de rotor aerodinámica incluye en particular la suma de la potencia del generador y la potencia de aceleración de rotor.

60 En una realización, el bucle de control interno genera como variable manipulada un ángulo de paso o una tasa de cambio de un ángulo de paso de al menos una de las palas de rotor. Los ángulos de paso o las tasas de cambio se pueden proporcionar individualmente para cada pala de rotor o colectivamente para todas las palas de rotor juntas como una variable de control.

En una forma de realización, el valor objetivo de la velocidad de rotación de variación del ángulo de paso está limitado, en particular, a un valor comprendido entre $-18^{\circ}/s$ y $18^{\circ}/s$ y, de forma especialmente preferente, a un valor comprendido entre $-5^{\circ}/s$ y $+5^{\circ}/s$.

5 En una realización, el bucle de control externo y/o el bucle de control interno comprenden un controlador P.

En particular, si se emite un ángulo de paso como valor nominal, el bucle de control interno dispone, alternativa o adicionalmente, de un controlador I. En particular, el controlador también se puede configurar como un controlador PI, lo que resulta especialmente ventajoso cuando la salida es un ángulo de pala en lugar de una
10 tasa de paso.

En una realización, la estructura de controlador comprende además un componente de cálculo configurado para determinar, utilizando la inercia del rotor, una potencia de aceleración de rotor a partir de un cambio de una velocidad de rotación real medida de la instalación de energía eólica.
15

En una realización, la estructura de controlador comprende además un control de avance para un control de avance de un ángulo de paso de al menos una pala de rotor, que está configurado para especificar un ángulo de paso y/o una tasa de cambio del ángulo de paso en paralelo al bucle de control interno.

20 La potencia aerodinámica objetivo o la aceleración de rotor objetivo permiten determinar un ángulo de pala objetivo o un ángulo de paso objetivo, por ejemplo, para poder realizar un control de avance antes de fuertes ráfagas inminentes, que junto con el ángulo de pala real o el ángulo de paso real se calculan para formar una tasa de paso de control de avance.

25 Preferiblemente, ambas tasas de paso, es decir, la tasa de cambio del ángulo de paso debido al bucle de control interno y la tasa de cambio del ángulo de paso debido al control de avance, se ejecutan en paralelo de modo que se superponen. Uno de los aspectos del diseño de la instalación de energía eólica es determinar cuál de las dos tasas especificadas es implementa por la instalación y de qué manera. El control de avance previsto en este aspecto permite absorber al menos parcialmente las cargas extremas que se producen sobre
30 todo durante ráfagas de viento.

Según un aspecto adicional, el objeto de la invención se consigue mediante un procedimiento para operar una instalación de energía eólica según la reivindicación 12.

35 El procedimiento según la invención permite conseguir las mismas ventajas que las descritas para la estructura de controlador según la invención. Asimismo, el procedimiento puede combinarse de forma análoga y con ventajas asociadas con las realizaciones descritas como preferidas según la invención.

Según un aspecto adicional, el objeto según la invención se consigue mediante una instalación de energía eólica con una estructura de controlador según la invención.
40

Según un aspecto adicional, el objeto según la invención se consigue mediante un parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica según la invención.

45 A continuación, se describen otras ventajas y ejemplos de realización con referencia a las figuras adjuntas. Aquí se muestra en:

Fig. 1 esquemática y a modo de ejemplo una instalación de energía eólica,

50 Fig. 2 esquemáticamente y a modo de ejemplo una estructura de controlador para controladores de velocidad de rotación de instalaciones de energía eólica y

Fig. 3 esquemáticamente y a modo de ejemplo una estructura de controlador según la invención.

55 La figura 1 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica según la invención. La instalación de energía eólica 100 tiene una torre 102 y una góndola 104 en la torre 102. En la góndola 104 se dispone un rotor aerodinámico 106 con tres palas de rotor 108 y un spinner 110. Durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica, el rotor aerodinámico 106 se pone en movimiento giratorio por acción del viento y, de este modo, también hace girar un rotor electrodinámico o rodete de un generador, que está acoplado directa o indirectamente al rotor aerodinámico 106. El generador eléctrico está situado en la góndola
60 104 y genera energía eléctrica. Los ángulos de paso de las palas del rotor 108 se pueden modificar mediante motores de paso en las raíces de las palas del rotor 108 respectivas.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente y a modo de ejemplo una estructura de controlador 300 según la invención para una instalación de energía eólica 100, como se muestra por ejemplo en la Fig. 1. La estructura de controlador 300 está configurada como un control en cascada y comprende un bucle de control externo 310 y un bucle de control interno 350. La estructura de controlador 300 regula una velocidad de rotación en la instalación de energía eólica a un valor objetivo o punto de ajuste N_{SOLL} . Para este propósito, el bucle de control externo 310 compara la velocidad de rotación real N_{IST} con la velocidad de rotación objetivo a controlar N_{SOLL} y genera un valor objetivo 340 de la potencia de aceleración de rotor $P_{Beschleu_Soll}$ por medio de una señal de un controlador P 320 limitada por un limitador 330.

El circuito de control interno 350 ahora regula la potencia de aceleración de rotor $P_{Beschleu}$ y por lo tanto intenta posicionar las palas del rotor de la instalación de energía eólica 100 de tal manera que el rotor 106 acelere lo menos posible. Para ello, una potencia de aceleración real $P_{Beschleu}$ se determina mediante una unidad de cálculo 380, por ejemplo, basándose en el cambio en la velocidad de rotación de rotor con respecto al tiempo dN_{IST}/dt por una unidad de cálculo 380. La diferencia entre el valor objetivo 340 de la potencia de aceleración $P_{Beschleu_Soll}$ y el valor real determinado $P_{Beschleu}$ se convierte en una tasa de paso a establecer o en un ángulo de pala a establecer de las palas del rotor 108 utilizando un controlador P 360. Un limitador 370 limita la velocidad de paso o el ángulo de paso que se debe establecer, que luego se transmite al control de la instalación de energía eólica 100 como valor objetivo 390.

En este ejemplo, la unidad de cálculo 380 utiliza relaciones físicas conocidas entre el momento de inercia conocido para el rotor J , un par M y velocidad de rotación o velocidad angular derivada ω a partir de ella para calcular la potencia de aceleración real $P_{Beschleu}$ a partir del cambio de velocidad de rotación.

En lugar de la potencia de aceleración de rotor, como se describe en la realización, también es posible utilizar toda la potencia aerodinámica absorbida por el rotor, es decir, tenido en cuenta, además, la potencia absorbida por el generador. Una ventaja de la potencia de aceleración de rotor es, en muchos casos, que la variable suele estar ya disponible para los estimadores de viento utilizados en el control de las instalaciones de energía eólica 100, lo que significa que no es necesaria una adaptación adicional del control de la instalación de energía eólica 100. Por lo tanto, es suficiente simplemente sustituir el controlador de velocidad de rotación conocido por una estructura de controlador 300 según la invención. Los estimadores de viento se conocen, por ejemplo, a partir de la publicación de patente alemana DE 10 2017 105 165 A1.

Como alternativa a las potencias, la estructura de controlador 300 mostrada como ejemplo también se puede implementar con pares o velocidades de rotación derivadas con respecto al tiempo. Estas soluciones son idénticas con la salvedad de que la velocidad de rotación actual está incluida en la potencia de aceleración. Sin embargo, es bien sabido cómo convertir la potencia en pares y viceversa.

El bucle de control interno 350 por sí solo provocaría con el tiempo graves errores de velocidad de rotación, de modo que el bucle de control externo 310, que reacciona de forma significativamente más lenta, genera un valor objetivo, o punto de ajuste, para la potencia de aceleración que puede desviarse de 0 kW. Por ejemplo, si existe una situación de exceso de velocidad de rotación, es decir, la velocidad de rotación real N_{IST} mayor que la velocidad objetivo N_{SOLL} , el punto de ajuste 340 sería, por ejemplo, -200kW. El bucle de control interno 350 controlaría en este caso una potencia de aceleración de rotor $P_{Beschleu}$ aproximada de -200 kW, por lo que el rotor 106 finalmente reduce la velocidad.

La limitación de la salida del controlador de velocidad de rotación mediante los limitadores 330 y 370 posibilita que la potencia de aceleración máxima se limite, lo que también tiene un efecto de reducción de carga.

De manera especialmente ventajosa, la estructura de controlador 300 mostrada esquemáticamente en la figura 3 se puede complementar con un control de avance dispuesto en paralelo al bucle de control interno 350. El control de avance puede, por ejemplo, anticipar ráfagas de viento inminentes y, de este modo, intervenir activamente, además de en el control, en el control del ángulo de paso. Esto lo hace especialmente eficaz para evitar cargas extremas, como las causadas por fuertes ráfagas de viento.

En resumen, la estructura de controlador según la invención significa por tanto una estructura de controlador 300 para controlar la velocidad de rotación a una velocidad de rotación objetivo N_{SOLL} . El bucle de control interno 350 recibe la potencia aerodinámica o la potencia de aceleración absorbida por el rotor 106 o simplemente la aceleración de rotor como una variable controlada, donde la velocidad de paso o, alternativamente, un ángulo de pala de rotor objetivo sirve como una variable manipulada. El bucle de control externo 310 controla la velocidad de rotación N del rotor como una variable controlada, con lo que se genera un valor objetivo de la potencia aerodinámica, de la potencia de aceleración o de la aceleración de rotor objetivo como variable manipulada para el bucle de control interno 350.

REIVINDICACIONES

1. Estructura de controlador (300) para una instalación de energía eólica (100) con un rotor aerodinámico (106) con al menos una pala de rotor (108), donde la estructura de controlador (300) está diseñada para controlar una velocidad de rotación (n) del rotor (106) de la instalación de energía eólica (100), donde la estructura de controlador (300) está configurada como un control en cascada y comprende un bucle de control externo (310) y un bucle de control interno (350), donde el bucle de control interno (350) recibe una señal de entrada (340) que comprende un cambio de velocidad de rotación, una aceleración de velocidad de rotación, una función del cambio de velocidad de rotación y/o una función de la aceleración de velocidad de rotación, caracterizado por que la señal de entrada del bucle de control interno (350) comprende una potencia de aceleración de rotor o un par de aceleración de rotor, donde la potencia de aceleración de rotor o el par de aceleración de rotor describe la parte de una potencia o par absorbida por el rotor (106) de la instalación de energía eólica (100) que se convierte en una aceleración de rotor (106).
2. Estructura de controlador (300) según la reivindicación 1, donde se proporciona una variable controlada del bucle de control externo (310) como variable de referencia del bucle de control interno (350), donde el bucle de control externo (310) está configurado en particular para limitar un valor objetivo del bucle de control interno, en particular del cambio de velocidad de rotación, de la aceleración de velocidad de rotación, de la función del cambio de velocidad de rotación y/o de la función de la aceleración de velocidad de rotación.
3. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde la señal de entrada del bucle de control interno (350) comprende una potencia aerodinámica absorbida por el rotor (106), donde la potencia aerodinámica absorbida por el rotor (106) comprende una suma de la potencia de aceleración de rotor y al menos una potencia absorbida por un componente adicional de la instalación de energía eólica (100), en particular una potencia de generador de un generador de la instalación de energía eólica (100).
4. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el bucle de control externo (310) determina una desviación de una velocidad de rotación real del rotor (106) con respecto a una velocidad de rotación objetivo del rotor (106) como una desviación de control.
5. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el bucle de control externo (310) genera un valor objetivo (340) de una potencia o de un par como variable manipulada, donde el valor objetivo (340) de la potencia está limitado preferentemente hacia arriba y hacia abajo, y en particular limitado asimétricamente hacia arriba y hacia abajo.
6. Estructura de controlador (300) según la reivindicación 5, donde la potencia comprende una potencia de aceleración de rotor, donde la potencia de aceleración de rotor está limitada a una potencia nominal de la instalación de energía eólica (100), en particular a como máximo el 20% de la potencia nominal de la instalación de energía eólica (100).
7. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones 5 o 6, donde la potencia comprende una potencia de rotor aerodinámica, donde la potencia de rotor aerodinámica está limitada al doble de una potencia nominal de la instalación de energía eólica (100), en particular a como máximo el 120% de la potencia nominal de la instalación de energía eólica (100).
8. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el bucle de control interno (350) genera, como variable manipulada, un ángulo de paso o una tasa de cambio de un ángulo de paso de al menos una de las palas de rotor (108) del rotor (106), donde el valor objetivo (340) de la tasa de cambio del ángulo de paso preferentemente está limitada, en particular a un valor entre -18°/s y 18°/s y de manera particularmente preferente a un valor entre -5°/s y +5°/s.
9. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde el bucle de control externo (310) y/o el bucle de control interno (350) tienen un controlador P (320) y/o un controlador PI.
10. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde

ES 3 018 616 T3

la estructura de controlador (300) tiene, además, un componente de cálculo que está configurado para determinar, utilizando la inercia de rotor, una potencia de aceleración de rotor a partir de un cambio de una velocidad de rotación real medida de la instalación de energía eólica (100).

- 5 11. Estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones anteriores, donde la estructura de controlador (300) tiene además un control de avance para el control de avance de un ángulo de paso de al menos una pala de rotor (108), que está configurado para especificar, en paralelo al bucle de control interno (350), un ángulo de paso y/o una tasa de cambio del ángulo de paso.
- 10 12. Procedimiento para operar una instalación de energía eólica (100) con un rotor aerodinámico (106) con al menos una pala de rotor (108), donde el procedimiento está configurado para controlar una velocidad de rotación del rotor (106) de la instalación de energía eólica (100), donde el procedimiento está configurado como un control en cascada y comprende un bucle de control externo (310) y un bucle de control interno (350), donde el procedimiento comprende el siguiente paso:
- 15 obtener, mediante el bucle de control interno (350), una señal de entrada que comprende un cambio de velocidad de rotación, una aceleración de velocidad de rotación, una función del cambio de velocidad de rotación y/o una función de la aceleración de velocidad de rotación, caracterizado por que la señal de entrada del bucle de control interno (350) comprende una potencia de aceleración de rotor o un par de aceleración de rotor, donde
- 20 la potencia de aceleración de rotor o el par de aceleración de rotor describe la parte de una potencia o par absorbida por el rotor (106) de la instalación de energía eólica (100) que se convierte en una aceleración de rotor (106).
- 25 13. Instalación de energía eólica (100) con una estructura de controlador (300) según una de las reivindicaciones 1 a 11.
14. Parque eólico con una pluralidad de instalaciones de energía eólica (100) como se reivindica en la reivindicación 13.

30

DIBUJOS

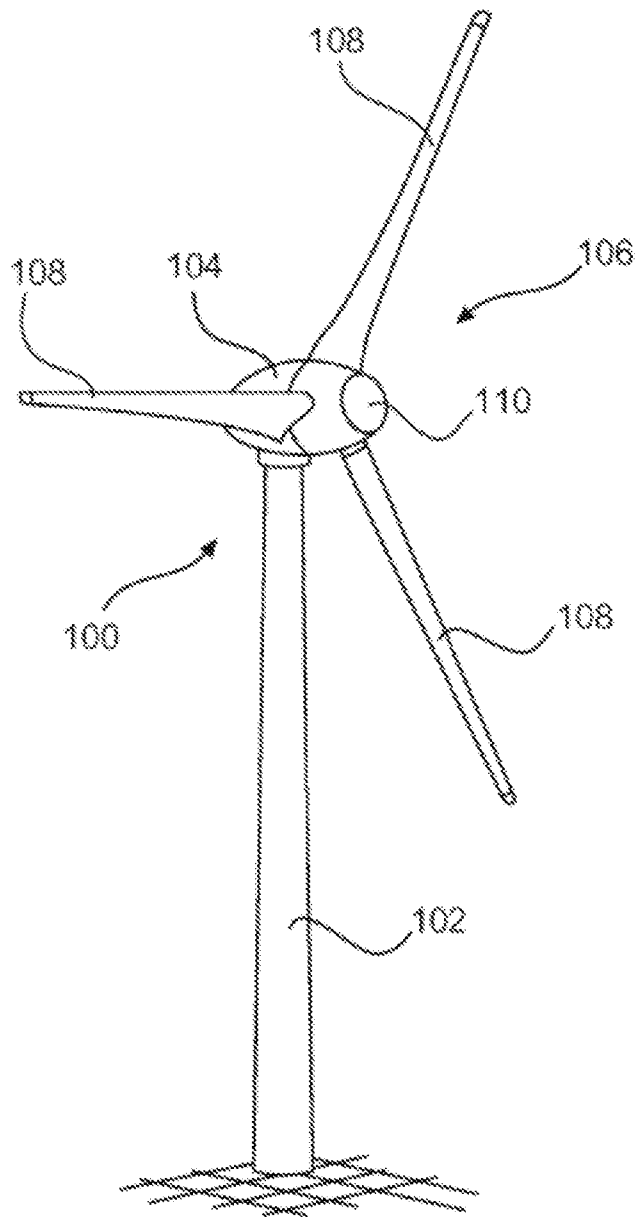


Fig. 1

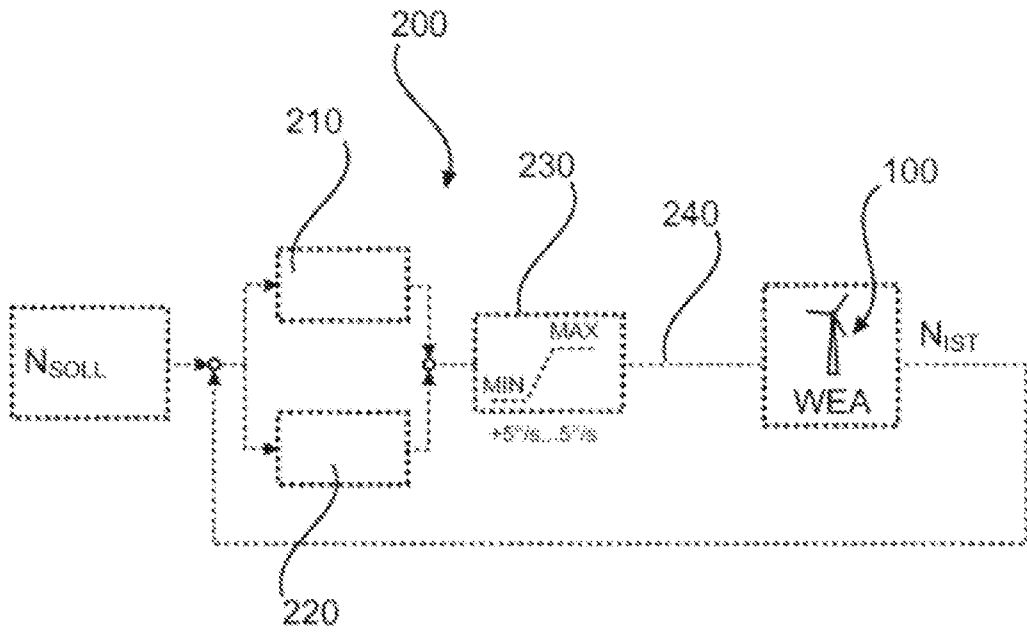


Fig. 2

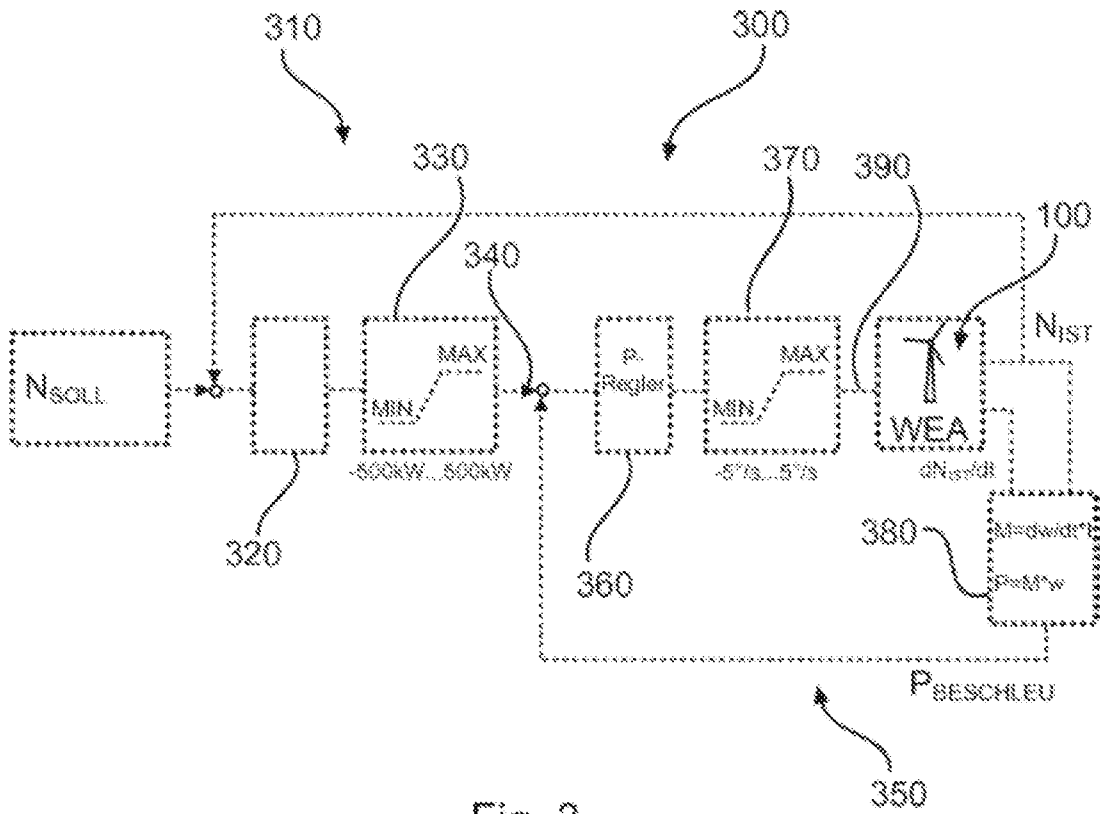


Fig. 3