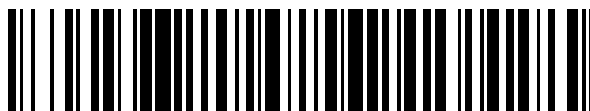


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 203**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2015** **E 15190145 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018** **EP 3156646**

54 Título: **Turbina eólica con un controlador de velocidad y controlador de generador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
25.09.2018

73 Titular/es:
NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE

72 Inventor/es:
DROSSEL, DETLEF y
BODE, FLORIAN

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 683 203 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

Turbina eólica con un controlador de velocidad y controlador de generador

- 5 La presente invención se refiere a una turbina eólica con un controlador de velocidad, que genera una variable de control para un control de paso desde una diferencia de control en la velocidad y un controlador de generador, que controla el generador, dependiendo de una velocidad y un punto de ajuste de potencia. Dependiendo de la configuración del generador y del convertidor, el control del generador también considera el direccionamiento del generador por parte del convertidor como control del generador.
- 10 A partir del documento EP 1 946 436 B1 se conoce un transformador de corriente en el que se proporciona un circuito intermedio de corriente continua entre un rectificador y un convertidor, cuyo nivel de voltaje se regula conforme a una demanda energética y una señal de demanda de tensión.
- 15 A partir del documento EP 2 317 134 A2 se conoce un procedimiento y un dispositivo para la generación de energía en una turbina eólica, en el que se proporciona una prealimentación de una perturbación para amortiguar las oscilaciones de corriente durante las operaciones de conmutación.
- 20 Del documento US 2013/0148393 A1 se conoce un procedimiento para direccionar un convertidor de potencia en el cual está previsto direccionar una señal de voltaje de prealimentación para determinar un punto de ajuste de voltaje en caso de una caída de la tensión de red (low voltage ride through LVRT) o de un colapso de la tensión de red (low voltage ride through LVRT).
- 25 El documento WO 2015/078478 A1 da a conocer una turbina eólica que presenta una prealimentación del ángulo de ajuste de la pala en función de una tasa de cambio de una referencia externa. La prealimentación sirve para evitar caídas de energía (power dips) en el caso de un aumento rápido en la potencia alimentada.
- 30 En turbinas eólicas y parques eólicos conocidos siempre existe una situación en la que la potencia no aumenta con la suficiente rapidez frente a un cambio dado en la limitación de potencia, por ejemplo, mediante el control del parque eólico o al arrancar una turbina eólica. Además, se produce un sobreimpulso y un impulso insuficiente de la velocidad y la potencia.
- 35 A partir del documento US2003/0151259 se conoce una turbina eólica según el preámbulo de la reivindicación 1. La invención tiene por objetivo proporcionar una turbina eólica, que pueda realizar con rapidez un aumento de rendimiento requerido sin mucho esfuerzo mecánico.
- 40 Según la invención, el objetivo se logra mediante una turbina eólica con las características de la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas forman el objeto de las reivindicaciones secundarias.
- 45 La turbina eólica según la invención tiene un rotor que presenta al menos una pala de rotor que puede ajustarse alrededor de su eje longitudinal mediante un control de paso y que posee un generador accionado por el rotor. Para el funcionamiento de la turbina eólica, está previsto un controlador de velocidad que genera una variable de control para el control de paso a partir de una diferencia de control en la velocidad. Además, está previsto un controlador de generador, que controla el generador, dependiendo de la velocidad y de un punto de ajuste de potencia. El direccionamiento del generador se puede hacer, por ejemplo, a través de un convertidor. El controlador de velocidad y el controlador del generador no están necesariamente creados como componentes o conjuntos separados, sino que también pueden ser parte o componente de un controlador. Según la invención, está
- 50 previsto una prealimentación, en la que está presente un valor de control de potencia como variable de entrada y que emite una variable de control para el control de paso como la variable de salida, en el que la variable de control emitida realiza una prealimentación de la variable de salida de un regulador de velocidad para el control de paso. La prealimentación tiene lugar a través de un sistema controlado inverso, que determina un par de torsión de potencia del punto de ajuste de velocidad y del punto de ajuste de potencia, así como un par de torsión de aceleración a partir
- 55 del cambio temporal del punto de ajuste de velocidad. La prealimentación de la variable de salida del regulador de velocidad logra que se controle una variable de control para el control de paso en función de un valor de control de potencia y que el controlador de velocidad no interfiera con la aplicación del punto de ajuste de potencia.
- 60 En una realización preferida, la prealimentación determina un punto de ajuste de potencia y/o un punto de ajuste de velocidad a partir del valor de control de potencia. Por ejemplo, las rampas específicas del sistema pueden usarse

para determinar los puntos de ajuste del valor de control de potencia, convirtiendo un valor guía que cambia rápidamente en un punto de ajuste que cambia de manera lenta o continua.

En una realización preferida, la prealimentación está concebida de manera que la potencia consumida por el rotor sea al menos suficiente para el punto de ajuste de potencia y para una aceleración del tren de accionamiento. La ventaja de la prealimentación de una variable de control para el control de paso es que el controlador de velocidad tiene poca o ninguna intervención, de manera que se puede evitar un sobreimpulso en velocidad y potencia, así como cargas mecánicas pesadas en la turbina eólica.

En una realización preferida, la variable de control del control de paso es una velocidad de ajuste para el ángulo de ajuste de la pala. La velocidad de ajuste integrada a lo largo del tiempo proporciona el valor angular del ángulo de ajuste de la pala. La variable de control del control de paso también puede ser un ángulo de ajuste, que está presente en forma de un incremento de ángulo o también como un valor angular absoluto.

A continuación, se explicará una realización del procedimiento según la invención con más detalle. Se muestra:

Figura 1 una visión general del regulador, sistema de control y sistema controlado,

Figura 2 la determinación del punto de ajuste de potencia, del punto de ajuste de velocidad y de la variable de control para el control de paso, donde la prealimentación tiene lugar a través de una ruta inversa,

Figura 3 un ejemplo de una prealimentación con un modelo de ruta y

Figura 4 un curso temporal del par de torsión y de la evolución temporal de la derivada del par después del tiempo.

La Fig.1 muestra una visión general con un regulador y un sistema de control. Un valor de control de potencia PL8, que puede ser un valor predeterminado por un operador de red, es una variable de entrada en un punto de ajuste de bloque y una prealimentación 10.

Por medio de rampas correspondientes que predeterminan, por ejemplo, un cambio de potencia máximo de la turbina eólica, se puede determinar un punto de ajuste de potencia PS 28 a partir del valor de control de potencia PL 8, en el que ambas variables representan la potencia nominal máxima de la turbina eólica. Además, se genera una velocidad nominal nS 11 mediante el valor nominal del bloque y la prealimentación 10. Además, una variable de control para el control de paso dpit_FF/dt 15 es generada por el valor nominal del bloque y la prealimentación 10. Este es el cambio temporal del ángulo de ajuste de la pala, por lo que en este caso no se especifica ningún valor nominal, sino el valor para la prealimentación. La velocidad nominal nS 11 se filtra a través de un filtro nS_Filt 12, por el que se compensan los cambios de fase del filtrado de velocidad, de un accionamiento de paso y de otros retrasos en el sistema controlado. La velocidad nominal filtrada nSF 13 se combina en un elemento de sustracción 9 con una velocidad de generador filtrada ngenF 26 y se aplica como una diferencia de control 17 a un controlador de velocidad n_Reg 14. El controlador de velocidad n_Reg 14 convierte la diferencia de control en una velocidad de paso dpitn/dt 19. El controlador de velocidad compensa las perturbaciones, como una velocidad del viento fluctuante con la especificación de una velocidad de paso. La velocidad de paso dpit_n/dt 19 determinada de esta manera y la variable de control para el control de paso dpit_FF/dt 15 se suman en un sumador 16 y la suma 21 se aplica a un integrador Pitint 18. La señal de salida del integrador Pitint 18 es el ángulo de paso Pit 20 que se debe ajustar en la turbina eólica. Un valor real de la velocidad del generador ngeni 22 se determina en la turbina eólica y se filtra en un filtro ni_Filt 24 para conseguir una velocidad real filtrada del generador ngenF 26. La velocidad filtrada del generador ngenF 26 junto con el punto de ajuste de potencia PS 28 se aplica a un controlador del generador 30, que direcciona el convertidor principal 32 de la turbina eólica a través de la señal de salida 41.

Para poder determinar en términos de técnica de regulación una variable de control para el control de paso dpit_FF/dt 15 como señal de control para la prealimentación, es conveniente visualizar las relaciones en el sistema controlado. En el bloque M(Pit) 34 se convierte el punto de ajuste aplicado para el ángulo de paso Pit 20 para el ángulo de ajuste de la pala, a partir del cual se obtiene el correspondiente par de torsión del rotor Mpit 36 a través del ángulo de paso real. El par de torsión del rotor Mpit 36 acciona el tren de accionamiento de la turbina eólica y un par de torsión del generador Mgen 38 resultante del direccionamiento del inversor principal 32 lo frena. Por lo tanto, para un par de torsión resultante de 39, se forma la diferencia en un elemento de sustracción 40. El par de torsión 39 resultante actúa a través del momento de inercia del tren de accionamiento J_ts 42 para generar el valor real de la velocidad del generador ngeni 22. En este caso, se aplica la relación conocida $n = 60 \cdot M / (2 \cdot \pi \cdot J_{ts})$.

En la visión general con regulador y control que se muestra en la Fig. 1, se describe un cambio en la velocidad de paso en función del valor de control de potencia PL 8. Es una prealimentación que pretende equilibrar la potencia consumida por el rotor y la potencia del generador más la potencia para acelerar el tren de accionamiento. Dado que la curva de potencia determina la relación deseada entre potencia y velocidad, puede controlarse la velocidad de

paso mediante la prealimentación, de manera que el rotor consume tanta potencia como sea necesaria para la aceleración y la potencia del generador. Con un control previo correctamente ajustado en el valor nominal del bloque y la prealimentación 10 y condiciones de funcionamiento constantes, el regulador de velocidad n_Reg 14 apenas interviene y se evitan cargas mecánicas fuertes, sobrecargas y otras circunstancias de tensión mecánica para la turbina eólica. La Fig. 2 muestra una realización según la invención en la que la prealimentación tiene lugar a través de un sistema controlado inverso. La Fig. 2 muestra, por lo tanto, una realización de la formación del punto de ajuste y la prealimentación según el bloque 10 de la Fig. 1. Como se muestra en la Fig. 2, el valor de control de potencia aplicada PL 45 se convierte primero a través de una función de rampa P-Ramp 46 en un punto de ajuste de potencia PS 47. A través de una rampa de velocidad adicional $nJRamp$ 48 en posición posterior, se convierte el valor de control de potencia PL 45 en una velocidad nominal nS 49. La velocidad nominal nS 49 se aplica a un bloque de control previo 59 junto con el punto de ajuste de potencia PS 47. En la prealimentación 59, se calcula una velocidad de paso que adapta la potencia real a la potencia nominal y la velocidad real a la velocidad nominal. La prealimentación 59 determina en un bloque M (P, n) 50 a partir del punto de ajuste de potencia PS 47 y la velocidad nominal nS 49 el par de torsión MP 57 basado en la potencia. El cambio de velocidad en la turbina eólica se tiene en cuenta a través de la derivada d/dt 51 de la velocidad nominal S 49 y se calcula el par de torsión basado en la aceleración MB 55. La suma del par de torsión de la potencia MP 57 y del par de torsión de la aceleración MB 55 se procesa como par de torsión total MFF 53 prealimentado por la prealimentación 59. El par de torsión total MFF 53 prealimentado se obtiene a través de un bloque de ganancia Kp 52 y un bloque limitador Limit 54, en el que el valor derivado $dMFF/dt$ 64 se lleva a un elemento de sustracción 62 a través de un bloque integrador 56 como señal 65. La prealimentación también tiene en cuenta el comportamiento de la turbina eólica a través de la derivación realizada. La función de derivación, que consta de los bloques 52, 54, 56 y 62, tiene la ventaja de que se pueden tener en cuenta las limitaciones de la velocidad de paso del bloque Limit 54 y la integral de $dMFF/dt$ 64 corresponde al valor MFF 53. El cambio temporal del par de torsión total prealimentado se convierte en la derivada temporal del ángulo de paso $dpitFF/dt$ 66 prealimentado mediante una función de sintonización de ganancia no lineal GT 58. En este caso, $dpitFF/dt$ 66 se calcula como la derivada temporal del ángulo de ajuste de la pala prealimentado a partir de la modificación del par de torsión nominal $dMFF/dt$ 64.

En los bloques 52, 54, 56 y 62, el par de torsión se deriva a " $dMFF/dt$ ". La respuesta dinámica transitoria del circuito de retroalimentación viene determinada por la ganancia Kp 52. En el bloque Limit 54, el valor inicial está limitado en altura. Esto es necesario porque el accionamiento de paso también está sujeto a un límite de velocidad. El integrador retroalimentado Int 56 vuelve a integrar un par de torsión que se resta del par de torsión MFF 53. Esta estructura limita el tamaño de la derivada del par de torsión y, por tanto, del ángulo de paso. Al mismo tiempo, se asegura que la integral de $dMFF/dt$ corresponde a "MFF" a pesar de la limitación al final, o que se desplaza todo el ángulo de paso del control previo. Una derivación simple y la subsiguiente limitación detendrían el ángulo de paso del control previo demasiado pronto.

En la Fig. 4 se puede ver esto: $Kp = 4$, Límite = 4000, aumento MFF de 1000 Nm a 11000 Nm. El valor $dMFF/dt$ está limitado a 4000 Nm. Debajo de su curva se encuentra el área de 100 000 Nm. Sin embargo, dM/dt no está limitado. El accionamiento de paso no podría seguir con la suficiente rapidez. Si dM/dt estuviera limitado a 4000 Nm, el área bajo la curva sería demasiado pequeña y el ángulo de paso no se movería lo suficientemente lejos.

La Fig. 3 muestra un ejemplo de un modelo de ruta para realizar la tasa de cambio prealimentada. Una vez más, un punto de ajuste de potencia PS 74 se determina a partir del valor de control de potencia PL 70 mediante una función de rampa P_Ramp 72. A través de la rampa de velocidad n_Ramp 76 se determina un valor modelo de velocidad nominal nSM 78. El par de torsión del controlador MrM 90 se determina a través de un controlador de la prealimentación 86 para el modelo. El par de torsión modelado del generador $MgvM$ 88 se determina mediante el valor de control de potencia PS 74 y el valor modelo de velocidad nominal nSM 78 en el bloque M(P, n) 84. La suma del par de torsión del generador modelado $MgvM$ 88 y del par de torsión del controlador MrM 90 $widitd$ se forma en un sumador 92 y se aplica como señal 94 a un limitador Limit 96. El limitador Limit 96 tiene en cuenta la estructura real de la turbina eólica y genera el par de torsión total MFF 98 prealimentado. El par de torsión total MFF 98 se obtiene en d/dt 102 y se convierte a la velocidad de cambio prealimentada del ángulo de paso $dpitFF/dt$ 108 mediante una función de sintonización de ganancia GT 106. La velocidad nS 114 correspondiente se determina mediante el momento de inercia J_ts 112 del tren de accionamiento, y en este caso se determina un par de torsión de generador modelado $MgenM$ 118 mediante un controlador del generador modelado 116 para obtener solo un par de torsión de aceleración modelado. Esto da como resultado el punto de ajuste de velocidad nS 114 que coincide con la velocidad de cambio del ángulo de paso $dpitFF/dt$ 108.

En este diseño se usa un modelo de la planta (sistema controlado). Contiene el momento de inercia J_ts 112 del tren de accionamiento, el control del par de torsión del generador en el controlador del generador 116 y todas las limitaciones relevantes. Estos incluyen, por ejemplo, la limitación de la velocidad de paso " $dpitFF/dt$ " o una limitación

del cambio de par de torsión " dM_{FF}/dt " generado por el rotor, una limitación de la tasa de cambio de la velocidad del tren de accionamiento " dn_s/dt " y una limitación del aumento de potencia o del aumento del par del generador " dM_{gen_M}/dt ". Si uno de estos valores está limitado, se limita la señal de salida MFF 98 del limitador Limit 96. Si la señal 94 en la entrada del Limit 96 es demasiado alta, la señal de salida MFF 98 está limitada de tal manera que la potencia y la velocidad aumentan de manera óptima dentro de sus límites. El par de torsión del rotor MFF 98 se obtiene en d/dt 102 y se convierte en la velocidad de paso de la prealimentación $dpit_{FF}/dt$ 108 mediante una función de sintonización de ganancia en el bloque GT 106. Dado que la velocidad n_S 114 en el modelo se basa en el mismo par de torsión MFF 98 que la velocidad de paso de la prealimentación $dpit_{FF}/dt$ 108, se usa esta como velocidad nominal para el controlador de velocidad del sistema real.

10

Varias soluciones son posibles para generar la señal 94 en la entrada del limitador Limit 96. En el presente documento se propone un controlador que calcule un error de velocidad 82 a partir de la velocidad nominal de la prealimentación n_{SM} 78 y la velocidad del modelo n_S 114. A partir de este momento se calcula el par Mr_M 90 en el controlador de la prealimentación 86. Muchos algoritmos de control son posibles. Además, el par de torsión del generador de la prealimentación M_{gvM} 88 está formado por la potencia nominal PS 74 y la velocidad nominal de la prealimentación n_{SM} 78. La suma de ambos pares, que se forma en el sumador 92, se lleva como señal 94 a la entrada del limitador Limit 96.

15

REIVINDICACIONES

1. Turbina eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor que se puede ajustar mediante un control de paso alrededor de su eje longitudinal, y un generador impulsado por el rotor con
- 5 - un controlador de velocidad (n_Reg 14),
- que genera una variable de control para el control de paso a partir de una diferencia de control en la velocidad y
- 10 - un controlador de generador (30),
- que determina a partir de un valor de control de potencia un punto de ajuste de velocidad y un punto de ajuste de potencia y un valor de control de potencia, caracterizado porque
- 15 está previsto una prealimentación (10, 59)
- que determina una variable de control para el control de paso mediante un sistema controlado inverso, en la que el sistema controlado inverso determina un par de torsión de potencia (Mp) del punto de ajuste de velocidad y del punto de ajuste de potencia y un par de torsión de aceleración (MB) del cambio temporal del punto de ajuste de
- 20 velocidad y da la variable de control para el control de paso como valor de salida que precontrola el valor de salida del controlador de velocidad.
2. Turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada porque la prealimentación determina un punto de ajuste de potencia y/o un punto de ajuste de velocidad a partir del valor de control de potencia.
- 25 3. Turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque la prealimentación está concebida de manera que la potencia consumida por el rotor sea suficiente al menos para proporcionar el punto de ajuste de potencia y para una aceleración del tren de accionamiento.
- 30 4. Turbina eólica según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada porque la variable de control del control de paso corresponde a la velocidad de ajuste del ángulo de ajuste de la pala.
5. Turbina eólica según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque la variable de control del control de paso corresponde al ángulo de ajuste del ángulo de ajuste de la pala.
- 35 6. Turbina eólica según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada porque se determina una tasa de cambio temporal para la suma del par de torsión de potencia y del par de torsión de aceleración, que se aplica a una ganancia para determinar la variable de control de salida para el control de paso.

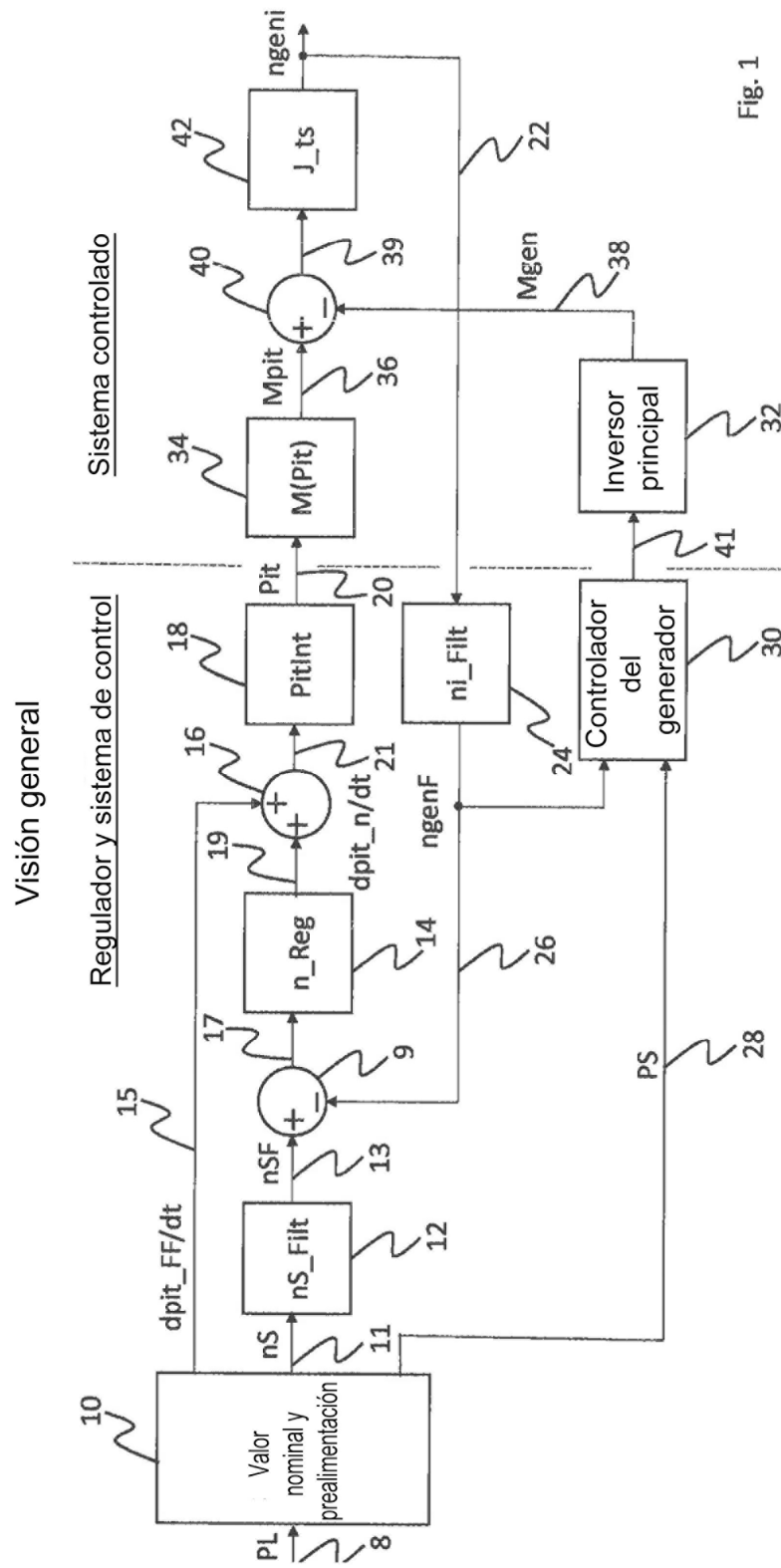


Fig. 1

Valor nominal y prealimentación con ruta inversa

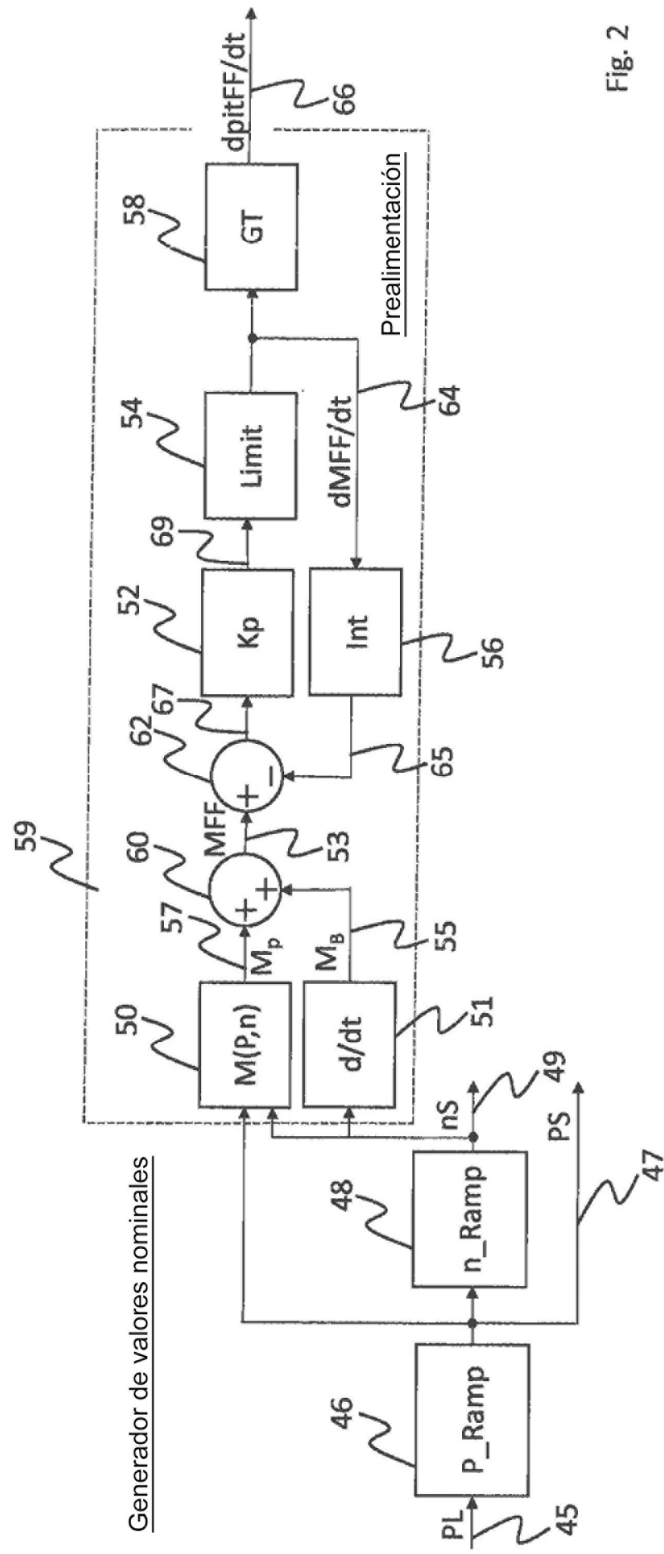


Fig. 2

Valor nominal y prealimentación con modelo de ruta

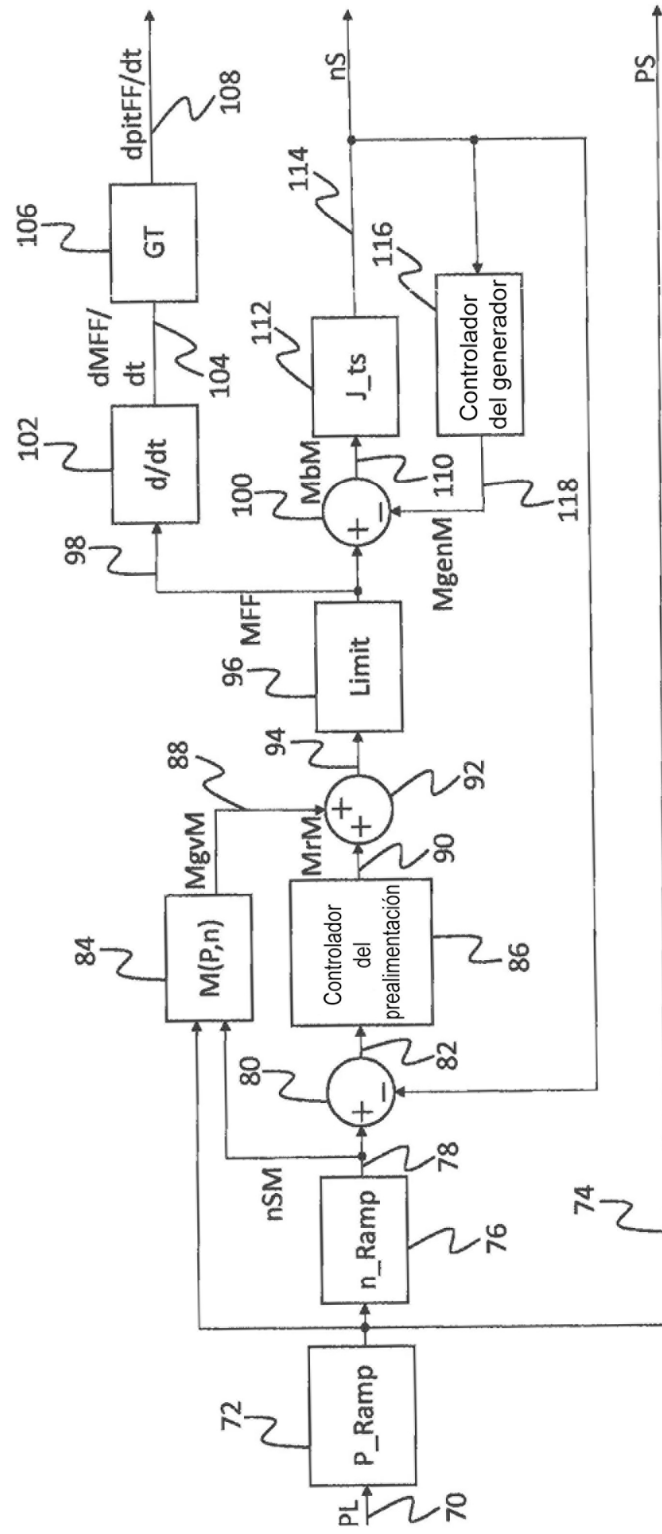


Fig. 3

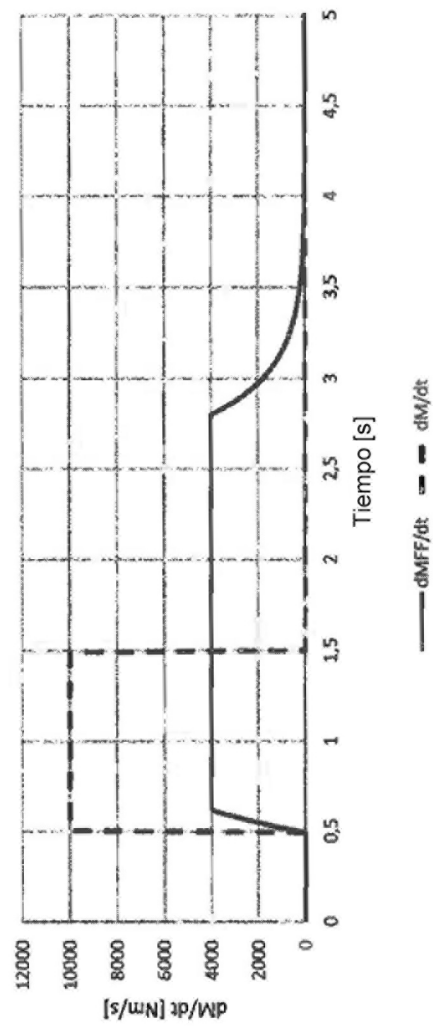
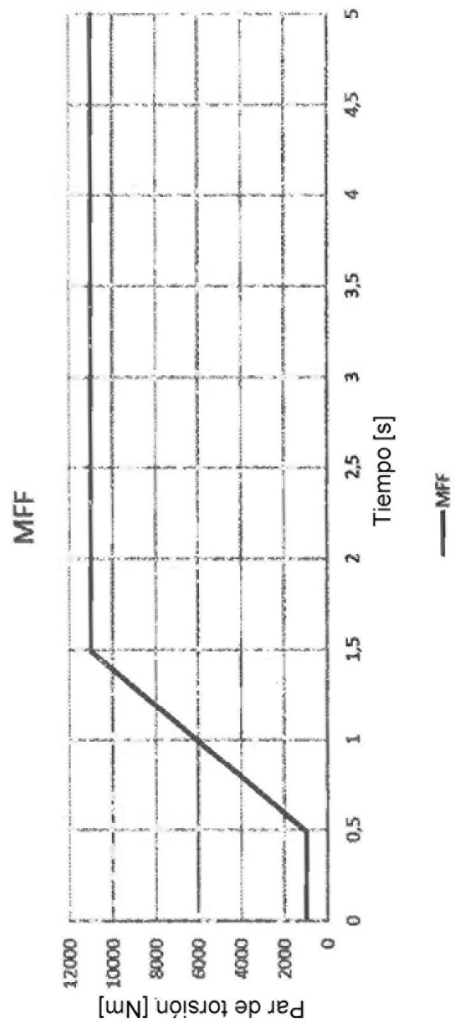


Fig. 4