

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 345**

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: **01.12.2006** **E 12004396 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2015** **EP 2505828**

54 Título: **Procedimiento para accionar una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

21.02.2006 DE 102006007919

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.09.2015

73 Titular/es:

**NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**KABATZKE, WOLFGANG y
RICHTER, KAY**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 545 345 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 accionar una instalación de energía eólica

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para regular la velocidad de giro de una instalación de energía eólica con velocidad de giro variable mediante la variación del ángulo de paso de pala y del momento para el proceso de conexión posterior a la red. La instalación de energía eólica dispone para ello de un regulador de momentos y un regulador de ángulo de paso de pala.
- 10 Se conocen instalaciones de energía eólica con velocidad de giro variable con reguladores de momentos y reguladores de ángulo de paso de pala. En la regulación de ángulo de paso de pala, cada pala del rotor se ajusta alrededor de su eje longitudinal a su ángulo de paso de pala. En el caso de diferentes ángulos de paso de pala, la pala de rotor recoge del viento un momento diferente en cada caso.
- 15 Para el control/regulación de las instalaciones de energía eólica se conoce la diferenciación de dos modos de funcionamiento. El primer modo de funcionamiento se denomina funcionamiento de carga parcial en el que mediante la especificación de un momento de giro se realiza una regulación de la velocidad de giro. El segundo modo de funcionamiento es el funcionamiento de carga total en el que se realiza una regulación de la velocidad de giro mediante un ajuste del ángulo de paso.
- 20 Para alcanzar un rendimiento óptimo con la instalación de energía eólica la velocidad de giro de la instalación en el intervalo de carga parcial se ajusta a la relación óptima entre la velocidad periférica del rotor y la velocidad del viento (λ_{opt}). Las palas de rotor se ajustan en este caso a un ángulo de pala que genera el momento de accionamiento máximo para el árbol de rotor. La velocidad de giro del rotor se ajusta en el intervalo de carga parcial mediante el momento de giro antagónico generado en el generador y/o convertidor de frecuencia.
- 25 Si en el caso de una velocidad nominal el momento de giro antagónico máximo se consigue en el generador entonces al aumentar adicionalmente el momento de generador la velocidad de giro no se mantienen durante más tiempo en el punto de trabajo. Una sobrecarga del sistema se evita empeorándose la eficiencia aerodinámica de las palas y éstas se salen del ángulo de paso óptimo. La velocidad de giro del rotor se ve influenciada por tanto tras alcanzar el momento de generador máximo mediante el ángulo de paso de las palas.
- 30 Para poder accionar una instalación de energía eólica en el funcionamiento de carga parcial o en el funcionamiento de carga total descritos la instalación debe primeramente conectarse posteriormente a la red. Con anterioridad no puede generarse en el generador ningún momento de giro antagónico porque sin conexión a la red no puede aplicarse ninguna corriente al generador. Antes de la conexión posterior el rotor de la instalación eólica se gira por lo general libremente, con la conexión posterior se establece una conexión eléctrica a la red y una excitación de la instalación de energía eólica se inicia para alimentar energía eléctrica a la red.
- 35 Para el proceso de conexión posterior se requiere una velocidad de giro mínima del generador acoplado con el rotor la denominada velocidad de giro sincronizada Ω_{sinc} .
- 40 Por el documento GB 2 023 237 A se ha dado a conocer un procedimiento para accionar una instalación de energía eólica de funcionamiento con velocidad de giro fija con un generador de sincronización acoplado a la red directamente. Lo mismo es válido para el documento EP 0 008 584 A1.
- 45 Por el documento EP 1 007 844 B1 se conoce una instalación de energía eólica con velocidad de giro variable que posee un generador de inducción con rotor arrollado. Para la gerencia de funcionamiento, en la instalación de energía eléctrica conocida se conoce un control de momento de giro y un control para el ángulo de paso de pala que funciona independientemente del control de momento de giro.
- 50 En la instalación de energía eólica conocida la regulación de ángulo de paso de pala ajusta, por debajo de una velocidad de giro del generador determinada, muy baja que se sitúa muy por debajo de la velocidad de giro sincronizada, un ángulo de paso de pala grande, de por ejemplo 25°. Con ello se consigue que también con velocidades de giro del rotor muy bajas se recoja desde el viento un momento suficiente para impulsar el rotor. Tan pronto como se consiga la velocidad de giro predeterminada muy baja del generador se ajusta un ángulo de paso de pala que corresponda al ángulo de paso óptimo para el funcionamiento en el intervalo de carga parcial.
- 55 En aquel intervalo de velocidad de giro en el que se encuentra el proceso de conexión posterior, en la instalación de energía eólica conocida no está prevista por consiguiente ninguna regulación de la velocidad de giro mediante el ángulo de paso de pala, porque el ángulo de paso de pala ya ha aceptado un valor fijo, óptimo para el intervalo de carga parcial. Dado que antes de la conexión posterior tampoco es posible una influencia de la velocidad de giro al especificar un momento en el generador, la velocidad de giro antes de la conexión posterior no se regula en absoluto.
- 60 Por el manual "Windenergieanlagen- Systemauslegung, Netzintegration und Regelung" (Instalaciones de energía
- 65

eólica, diseño de sistema, integración de redes y regulación) de Siegfried Heier, 4ª edición 2005 se ha dado a conocer un procedimiento para accionar una instalación de energía eólica con velocidad de giro variable con las características del preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 Partiendo de esto el objetivo de la invención es indicar un procedimiento para accionar una instalación de energía eólica que mejore el proceso de conexión posterior.

El objetivo se soluciona mediante un procedimiento para accionar una instalación de energía eólica que puede conectarse posteriormente a la red con un rotor con velocidad de giro variable, un regulador de momentos y un
10 regulador de ángulo de paso de pala en el que antes de la conexión posterior de la instalación de energía eólica se regula la velocidad de giro del rotor mediante la variación del ángulo de paso de pala.

Con ello, la velocidad de giro del rotor y del generador acoplado con el rotor puede estabilizarse con respecto a un giro libre. El proceso de conexión posterior se facilita porque puede evitarse tanto un aumento de la velocidad de
15 giro excesivo mientras o antes del proceso de conexión posterior, como también un descenso de la velocidad de giro.

De acuerdo con una configuración, la regulación de la velocidad de giro se realiza a una velocidad de giro sincronizada del generador n_{sinc} adecuada para la conexión posterior a la red. Por ello se realiza la estabilización de la velocidad de giro del generador en un intervalo adecuado para el proceso de conexión posterior o bien
20 especialmente preferido.

En una configuración preferida se inicia la regulación de velocidad de giro hasta que no se sobrepase una velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . Por ello el ángulo de paso de pala puede seleccionarse libremente por la regulación por debajo de la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . Al mismo tiempo, la regulación del ángulo de paso de pala afectada
25 con un cierto consumo de energía se exige solamente entonces si la velocidad de giro necesaria para la conexión posterior se ha conseguido realmente.

De manera conveniente está previsto, al poner en marcha la instalación de energía eólica antes del inicio de la regulación de la velocidad de giro, disminuir continuamente el ángulo de paso de pala partiendo de un ángulo de paso de pala máximo ϕ_{max} . Por ello el ángulo de paso de pala durante la puesta en marcha de la instalación eólica, es decir, por encima de un intervalo de velocidad de giro grande puede mantenerse en un intervalo favorable para la recogida de momento máxima del viento. La instalación de energía eólica puede llevarse así a la velocidad de giro
30 necesaria para la conexión posterior más rápidamente que en el caso de un ajuste del ángulo de paso de pala que se realiza de manera fija o escalonadamente

En una configuración la disminución del ángulo de paso de pala se realiza en función de la velocidad de giro. Con ello puede conseguirse también que en cada velocidad de giro se ajuste el ángulo de paso de pala óptimo. De esta manera puede alcanzarse una puesta en funcionamiento del rotor lo más rápida posible también con velocidades de
40 viento oscilantes.

Con la invención, la disminución del ángulo de paso de pala se realiza hasta un ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} . El ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} puede ser en este caso mayor que el ángulo de paso de pala óptimo para el funcionamiento de carga parcial. En este caso se garantiza que tras la conexión posterior, cuando el rotor se carga adicionalmente con el momento de giro antagónico del generador, este momento puede recogerse
45 adicionalmente del viento mediante una disminución adicional del ángulo de paso de pala. Antes de la conexión posterior no se supera el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} .

Con la invención está previsto seleccionar el valor para el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} en función de la velocidad del viento. Con ello, con velocidades de viento menores pueden seleccionarse ángulos de paso de pala mínimos ϕ_{inicio} menores para conseguir de manera segura la velocidad de giro sincronizada con una oferta del viento pequeña garantizada en un lapso de tiempo predeterminado. Además, en el caso de altas velocidades de viento mediante la selección de un ángulo mayor ϕ_{inicio} puede evitarse una sobreoscilación innecesariamente fuerte de la velocidad de giro tras alcanzar la velocidad de giro sincronizada. El proceso de conexión posterior requiere entonces
50 movimientos de ajuste del ángulo de pala más pequeños y transcurre de manera esencialmente más cuidadosa para el sistema mecánico.

De acuerdo con una configuración está previsto que tras la conexión posterior del ángulo de paso de pala no se alcance el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} . Con ello la regulación del ángulo de paso de pala tras la conexión posterior puede regular el ángulo de paso de pala por encima de todo el intervalo a un ángulo de paso de pala
60 óptimo.

Para reguladores de ángulo de paso de pala y reguladores de momentos está previsto de manera preferida que estos se accionen al mismo tiempo tras la conexión posterior.

65 La invención se explica con más detalle a continuación mediante un ejemplo de realización y dos figuras.

La figura 1 muestra a modo de ejemplo el transcurso de la velocidad de giro de generador n , el ángulo de paso de pala ϕ y el momento de giro M en un diagrama común trazado a través del tiempo t .

5 La figura 2 representa los procesos de regulación requeridos para la relación mostrada en la figura 1 en un diagrama de flujo.

La sección de tiempo representada en la figura 1 comienza con la puesta en marcha de la instalación eólica partiendo de un rotor y generador parados con una velocidad de giro de $n = 0$, representado por el comienzo de la
10 sección de curva 1 en el instante $t = 0$. Al mismo tiempo el ángulo de paso de pala presenta un valor máximo $\phi_{\max}$ representado por el comienzo de la línea 5.

El ángulo de paso de pala se disminuye continuamente a lo largo de la línea 5 hasta que se consigue con t_1 el valor
15 mínimo ϕ_{inicio} para el ángulo de paso de pala. Al mismo tiempo, la velocidad de giro n del generador aumenta de manera correspondiente a la curva 1 en un proceso no lineal.

En el instante t_1 el ángulo de paso de pala se mantiene constante en ϕ_{inicio} según la línea 6 hasta el instante t_2 . En esta sección de tiempo aumenta adicionalmente la velocidad de giro de generador según la curva 2 hasta que con t_2 se supera la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} .

En este momento la regulación de la velocidad de giro se activa completamente mediante la variación del ángulo de paso de pala. Se contrarresta la sobreoscilación de la velocidad de giro en la sección de curva 3 al aumentarse el ángulo de paso de pala según la curva 7 partiendo del valor ϕ_{inicio} . Mediante esta intervención de regulación se consigue en el instante t_3 la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} .

En el instante t_3 se realiza también la conexión posterior de la instalación de energía eólica a la red. Tal como se representa en el dibujo, la conexión posterior se realiza siempre con la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . La línea 9 representada con puntos muestra el momento especificado por el generador que se incrementa linealmente comenzando desde el valor cero. El gradiente del incremento está parametrizado dentro de los límites posibles.

La velocidad de giro del generador se incrementa adicionalmente tras la conexión posterior a la red de acuerdo con la sección de curva 4. Simultáneamente el ángulo de paso de pala se disminuye adicionalmente a lo largo de la curva 8 partiendo del valor ϕ_{inicio} para alcanzar un rendimiento óptimo. Se distingue que tras el momento de conexión posterior t_3 la regulación de ángulo de paso de pala y la regulación de momentos están activos simultáneamente. Especialmente la regulación de ángulo de paso de pala controla ininterrumpidamente el ángulo de paso de pala. Este control contiene también un aspecto de seguridad dado que con un viento fuerte se requiere en caso necesario una intervención de regulación rápida para evitar velocidades de giro excesivas.

Una situación diferente se presenta con velocidades de viento muy reducidas en las que no puede conseguirse ningún incremento de la velocidad de giro tras la conexión posterior. En este caso, la instalación permanece en la red aunque la velocidad de giro baje por debajo de la velocidad de giro sincronizada, tal como se representa en la sección de curva 10 trazada a rayas.

En la figura 2 los desarrollos durante la puesta en marcha de la instalación de energía eólica están representados en un diagrama de flujo, empezando con una orden de inicio para la instalación de energía eólica en 20 hasta el funcionamiento de producción en 80. En la mitad superior del diagrama de flujo están representados tres procesos en paralelo que se desencadenan siguiendo la orden de inicio. Estos son, en primer lugar una regulación del ángulo de paso de pala (también llamado ángulo de cabeceo) en la caja 30 rodeada con rayas, en segundo lugar la averiguación de un ángulo de paso de pala ϕ_{inicio} en la caja indicada con 40 y en tercer lugar la vigilancia de la velocidad de giro de generador que se realiza en la caja indicada con 50.

La regulación del ángulo de paso de pala que se realiza con la caja indicada con 30 empieza en 31 en una posición en la que el ángulo de paso de pala presenta un valor máximo. En 32 el ángulo de paso de pala se ajusta a un ángulo de inicio de 70° . Este ángulo de inicio corresponde al ángulo de paso de pala indicado en la figura 1 con $\phi_{\max}$.
55 En el bucle formado por 33 y 34 la modificación de la velocidad de giro se mide ininterrumpidamente y el ángulo de paso de pala se reduce en función de la velocidad de giro hasta que se alcanza el valor inicial ϕ_{inicio} .

El valor especificado para ϕ_{inicio} se averigua en paralelo en la caja indicada con 40. Para ello en 41 se mide un valor medio de 30 segundos de la velocidad del viento. Si se supera este valor medio en 42 una velocidad de viento predeterminada $v_{\text{viento lim}}$ se convierte en ϕ_{inicio} en 43 a un valor $\phi_{\text{inicio viento alta}}$ si no en 44 a un valor menor $\phi_{\text{inicio viento baja}}$.

Si dentro de la caja indicada con 30 el valor especificado ϕ_{inicio} se consigue para el ángulo de paso de pala, la instalación se encuentra en el instante t_1 en 60 en un estado que corresponde igualmente al momento indicado con t_1 en la figura 1.

En la caja indicada con 50 se vigila la velocidad de giro de generador. Para ello en 51 se especifica como valor

teórico en primer lugar una velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . En 52 se mide la velocidad de giro de generador actual ininterrumpidamente y en 53 se comprueba ininterrumpidamente si se sobrepasó la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . Si éste es el caso la instalación de energía eólica se encuentra en el instante t_2 en 61 en un estado que corresponde igualmente al momento indicado con t_2 .

5 Para contrarrestar una sobreoscilación de la velocidad de giro mediante la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} se aumenta en primer lugar en 62 el ángulo de paso de pala. Se realiza una regulación de la velocidad de giro mediante la variación del ángulo de paso de pala a la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} . En 63 se comprueba si la velocidad de giro sincronizada también se mantiene en un valor medio de 3 segundos, es decir si se ha estabilizado lo
10 suficiente para la velocidad de giro requerida para la conexión posterior.

En este caso, la instalación de energía eólica se encuentra en el instante t_3 en 64 en un estado que corresponde al instante indicado en la figura 1 igualmente con t_3 .

15 Para este instante se libera la regulación de ángulo de paso de pala, es decir que para la recogida de momento máxima del viento pueden ajustarse también ángulos de paso de pala por debajo del valor inicial ϕ_{inicio} y la regulación del ángulo de paso de pala ya no sirve para mantener la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} como todavía en 62.

20 Igualmente en el instante t_3 se realiza en 66 la conexión posterior real, es decir el convertidor de potencia principal se libera y la instalación se conecta a la red. Por tanto en 63 termina el proceso de conexión posterior. En 68 se representa que el momento de giro de generador se aumenta a lo largo de una rampa a un valor máximo posible.

En paralelo tiene lugar en el instante t_3 en 69 una modificación del valor teórico para la velocidad de giro de generador. Ésta se establece desde la velocidad de giro sincronizada n_{sinc} a un valor teórico para el funcionamiento de producción. Por tanto la instalación de energía eólica se encuentra en el funcionamiento de producción
25 caracterizado con 80.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para accionar una instalación de energía eólica con velocidad de giro variable, que puede conectarse posteriormente a una red con un rotor con velocidad de giro variable, un regulador de momentos, un regulador de ángulo de paso de pala y un convertidor de frecuencia principal, regulándose antes de la conexión posterior de la instalación de energía eléctrica la velocidad de giro del rotor mediante la variación del ángulo de paso de pala, **caracterizado por que** se averigua un ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} , constante en función de la velocidad del viento y no se alcanza antes de la conexión posterior, estableciéndose el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} al sobrepasar una velocidad de viento límite ($v_{\text{viento lim}}$) en un primer valor ($\phi_{\text{inicio viento alta}}$), si no en un segundo valor ($\phi_{\text{inicio viento baja}}$), siendo el segundo valor ($\phi_{\text{inicio viento baja}}$) más pequeño que el primer valor ($\phi_{\text{inicio viento alta}}$).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la regulación de velocidad de giro se realiza a una velocidad de giro sincronizada del generador n_{sinc} adecuada para la conexión posterior a la red.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la regulación de velocidad de giro comienza después de que se sobrepasara una velocidad de giro sincronizada n_{sinc} .
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** al poner en funcionamiento la instalación de energía eólica antes del comienzo de la regulación de la velocidad de giro se disminuye continuamente el ángulo de paso de pala partiendo de un ángulo de paso de pala máximo ϕ_{max} .
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** la disminución del ángulo de paso de pala se realiza en función de la velocidad de giro.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, **caracterizado por que** la disminución del ángulo de paso de pala se efectúa hasta el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} .
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** tras la conexión posterior el ángulo de paso de pala no alcanza el ángulo de paso de pala mínimo ϕ_{inicio} .
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** tras la conexión posterior se accionan reguladores de ángulo de paso de pala y reguladores de momentos simultáneamente.

Fig. 1

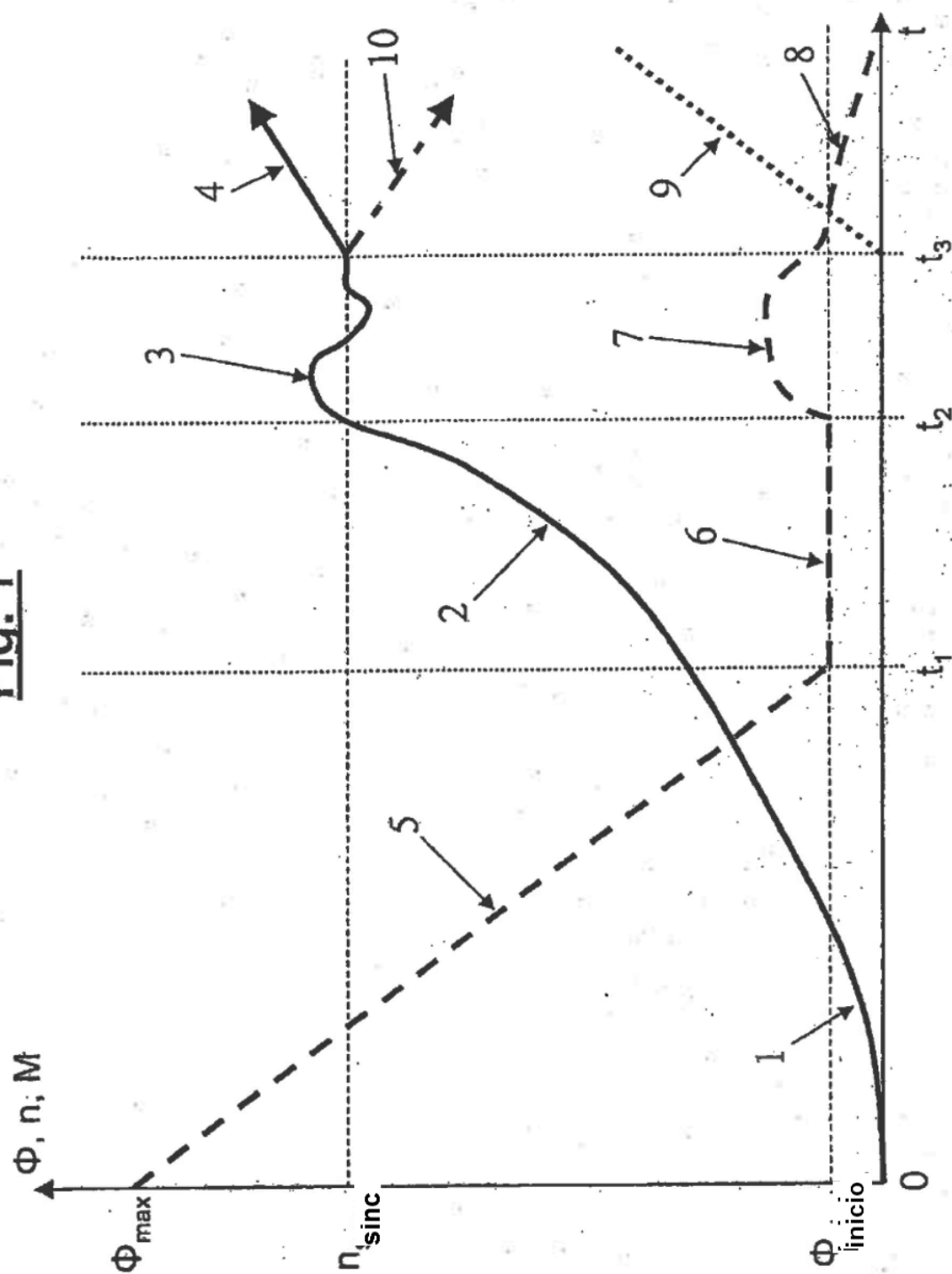


Fig. 2

