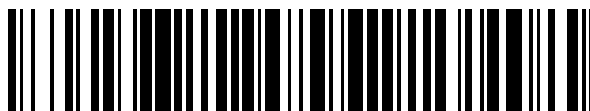


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 848**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08861822 .8**

96 Fecha de presentación: **04.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2217805**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.08.2010**

54 Título: **Sistema de control para instalaciones de energía eólica con detección de cortes en la red**

30 Prioridad:  
**14.12.2007 DE 102007060958**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**26.06.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**26.06.2012**

73 Titular/es:  
**REpower Systems SE  
Überseering 10  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:  
**KRÜGER, Thomas**

74 Agente/Representante:  
**López Bravo, Joaquín Ramón**

ES 2 383 848 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

Sistema de control para instalaciones de energía eólica con detección de cortes en la red

La invención se refiere a un sistema de control para instalaciones de energía eólica con un rotor eólico y un generador accionado por éste, estando el generador accionado por el rotor eólico y presentando el sistema de control una unidad de control de par del par del generador.

Las instalaciones de energía eólica modernas se hacen funcionar casi exclusivamente a una velocidad de giro variable. Esto significa que el rotor de eólico que habitualmente acciona el generador a través de un mecanismo de transmisión se puede hacer funcionar a una velocidad de giro variable en función de las condiciones de viento. Con este fin están previstos unos medios en el rotor eólico para modificar el ángulo de ataque de las palas del rotor. Al modificar el ángulo de ataque (pitch) se modifica la potencia eólica que extrae del viento el rotor eólico. Análogamente mediante la unidad de control de par se modifica el par del generador y con él la potencia eléctrica de salida. Una regulación habitual prevé mayormente que la unidad de control del ángulo de ataque y la unidad de control de par estén conectadas a un módulo jerárquicamente superior para control del punto de funcionamiento que determina el valor objetivo a fijar para la unidad de control del ángulo de ataque y la velocidad de giro y se lo impone.

El sistema de control puede estar diseñado con la unidad de control del ángulo de ataque y la unidad de control de par independientes (documento US 6137187). También puede estar previsto que ambas unidades de control estén interconectadas (documento DE 102005029000) de modo que con la interconexión se pueda conseguir una mejoría significativa de la transición entre el funcionamiento a carga parcial y a plena carga de la instalación de energía eólica.

Si durante el funcionamiento se producen averías en la red, en particular, caídas de tensión de corta duración debidas a cortocircuitos también se ven afectadas las instalaciones de energía eólica de velocidad variable. Tradicionalmente las instalaciones de energía eólica se aíslan de la red con lo que hay menos potencia disponible en la red. En caso de cortocircuito esto resulta contraproducente. Se pretende por ello mantener las instalaciones de energía eólica conectadas a la red al menos durante caídas de tensión de corta duración de modo que cuando ya haya pasado la caída de tensión la instalación de energía eólica pueda volver a suministrar potencia a la red lo más rápido posible. Este aspecto de que la instalación de energía permanezca conectada a la red mientras la tensión no se restablece se denomina "low voltage ride through" (aguantar a baja tensión).

Debido a los rápidos cambios de los parámetros de la red eléctrica cuando la red colapsa aparecen en la instalación de energía eólica y en su conjunto de transmisión los correspondientes efectos muy dinámicos. En éste aparecen oscilaciones. Estas oscilaciones que aparecen cuando empieza a caer la tensión de red, en la práctica se ven estimuladas cuando desaparece la caída de la tensión de red, es decir, cuando la tensión se restablece. Entonces pueden aparecer picos de par que son más de dos veces mayores que el par nominal. Existe, por tanto, el riesgo de que se parta el conjunto de transmisión de la instalación de energía eólica y el riesgo de que se produzcan desperfectos en el entorno. Un remedio conocido consiste en sobredimensionar el conjunto de transmisión mecánica en consonancia. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de que los costes de fabricación de la instalación energía eólica se ven aumentados notablemente.

Partiendo del estado de la técnica que se ha acaba de mencionar el objetivo de la invención es mejorar la respuesta de la instalación de energía eólica de la red ante caídas de tensión transitorias (low voltage ride through).

La solución según la invención se recoge en las características de las reivindicaciones independientes. Los perfeccionamientos ventajosos son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

En un sistema de control de instalaciones de energía eólica con un rotor eólico y un generador que está impulsado por el rotor eólico a velocidad variable y que presenta una unidad de control del ángulo de ataque para controlar la velocidad de giro del rotor eólico y una unidad de control de par para controlar el par del generador está previsto según la invención un detector para detectar una caída de la tensión de red y el momento en el que desaparece, un indicador del par que proporciona un valor prefijado del par del generador tras detectarse la caída de la tensión de red y un inicializador que impone el valor prefijado a un componente del sistema de control de par tras detectarse la caída de la tensión de red.

La esencia de la invención está en la idea de imponer obligatoriamente un valor determinado a la unidad de control de par cuando desaparece la caída de tensión. Esto puede hacerse poniendo a cero el estado del integrador. Así se consigue que la unidad de control de par, gracias a la inicialización, presente un valor que esté muy lejos de los límites de saturación eventuales de la unidad de control, en particular, de los reguladores implementados en ella. La invención parte de la observación de que en los sistemas de regulación que se usan tradicionalmente existe el peligro de que cuando desaparece la caída de la tensión de red entren en saturación puesto que el par real que verdaderamente aparece mientras dura la caída de la tensión de red se aleja mucho de los valores objetivo previstos en principio. Los reguladores no pueden reaccionar con suficiente sensibilidad a la desaparición de la caída de la tensión de red. La invención parte también de la observación de que las consecuencias negativas se pueden evitar si se borra la "memoria" del sistema de control. Esto se produce al inicializarla. Entonces existe la garantía de que

cuando desaparezca la caída de la tensión de red se impedirá la saturación y así el sistema de control tendrá un margen de posicionamiento suficiente. Con la inicialización se puede poner a un valor inicial que produzca un amortiguamiento óptimo de las vibraciones en el conjunto de transmisión. La invención consigue un amortiguamiento de las oscilaciones espectacularmente bueno con un coste escaso.

- 5 A continuación se aclararán primeramente algunos conceptos que se usan.  
Por inicializar se entenderá imponer a una unidad de control un determinado valor como valor objetivo. Las desviaciones precedentes no tendrán efecto. El historial del sistema de control se borra por así decirlo.

10 Por una unidad de control se entenderá el sistema que regula o controla una magnitud de control en función de al menos un parámetro de entrada. Por tanto hay que darle una interpretación más amplia en la que queda comprendida también un sistema de regulación.

15 Por un elemento I de la unidad de control se entenderá un componente que se encargará de mantener la exactitud estacionaria. Un ejemplo de esto es el clásico regulador PI o PID y su elemento I. El concepto "elemento I" no queda limitado, sin embargo, a éstos, sino que comprende también los componentes de otros conceptos de regulación que se encargan de mantener la exactitud estacionaria, como los reguladores de estado o sistemas de regulación basados lógica borrosa. Por restablecimiento de la tensión de red se entiende en el sentido de la invención el aumento de la tensión de red hasta una tensión umbral que se puede ajustar y permitida para el funcionamiento estacionario (por lo general aproximadamente el 90% de la tensión nominal).

20 Se prefiere en particular que sea un elemento I el que se inicializa. El elemento I es el componente de la unidad de control que se encarga de mantener la exactitud estacionaria. En el contexto de la invención no se trata de esto sino que, por el contrario, actuar sobre el elemento I ayuda a mejorar la dinámica del regulador. Parece aun sorprendente que alterando específicamente el componente que mantiene la exactitud estacionaria, a saber el elemento I, la invención consiga mejorar la dinámica, concretamente al cargar mucho menos el conjunto de transmisión cuando la red vuelve a la normalidad. Paradójicamente, precisamente actuar sobre el elemento I es lo que mejora la respuesta dinámica.

25 Este efecto positivo al actuar sobre el elemento I se puede aumentar si el inicializador modifica además un factor de ponderación del componente de la unidad de control del par. El inicializador, por tanto, no sólo actúa sobre el componente sino que aumenta su ponderación en la unidad de control de par. Si el componente es el elemento I, esto significa que su factor de ponderación se modifica, preferentemente aumentando. En un perfeccionamiento, el inicializador puede modificar al menos un factor de ponderación adicional de otro componente. Se puede tratar, por ejemplo, de un elemento P de un regulador PI o de una unidad funcional equivalente de otro concepto de regulación.  
30 Preferentemente la modificación de este factor de ponderación es de sentido contrario a la modificación del factor de ponderación del elemento I. La modificación de los factores de ponderación convenientemente no resulta permanente sino temporal, para un intervalo de tiempo ajustable. Así se puede limitar la modificación de los factores de ponderación al intervalo de tiempo que sea necesario para que desaparezcan las oscilaciones en el conjunto de transmisión.  
35

Además el inicializador está diseñado preferentemente para proporcionarle un punto de ajuste modificado de la velocidad de giro a la unidad de control del ángulo de ataque y/o a la unidad de control del par. Así resulta posible que cuando desaparezca la caída de tensión se modifique el valor de referencia de la velocidad de giro, en particular, que se aumente. Se ha visto que al modificar, en particular, aumentar, el punto de ajuste de la velocidad de giro se puede evitar aun mejor que la unidad de control del par o del ángulo de ataque se saturen. Frente a esto en los conceptos de regulación tradicionales ocurre que cuando no se cambia el valor de referencia de la velocidad de giro los reguladores respectivos llegan a saturarse, es decir, llegan a los valores límites del regulador desapareciendo la dinámica de regulación por lo menos instantáneamente. Ha resultado particularmente eficaz imponer un valor de la velocidad de giro más alto que el que correspondería al punto de funcionamiento respectivo,  
40 por ejemplo, un 5% más alto, o, para una carga parcial, el valor de giro nominal. A este respecto puede estar previsto además que los puntos de ajuste elegidos para la unidad de control del ángulo de ataque y la unidad de control de par puedan ser diferentes. En el contexto de la invención resulta particularmente ventajoso modificar sólo el punto de ajuste de la unidad de control de par.  
45

De acuerdo con otra forma de realización ventajosa está previsto un filtro de entrada conectado a la entrada del valor objetivo de la unidad de control de par con una entrada por la que se fija el punto de ajuste para la velocidad de giro. Así resulta posible, en caso de que se modifique el punto de ajuste de la velocidad de giro, imponer este valor modificado como señal de entrada del filtro de entrada. El filtro de entrada compara el valor de ajuste y la velocidad de giro real determinando el valor de una magnitud de referencia que es la impuesta a la unidad de control del par. Con dicho filtro de entrada se puede conseguir de una forma particularmente sencilla y conveniente la modificación deseada del punto de ajuste de la velocidad de giro de la unidad de control de par.  
50  
55

De acuerdo con un perfeccionamiento particularmente ventajoso está previsto un módulo de cálculo del valor prefijado diseñado para determinar el par de seguridad en función de la gravedad de la caída de la tensión de red. Por par de seguridad se entenderá el par que se corresponda con el par residual aun disponible en el estado de la red respectivo. Convenientemente, el módulo de cálculo presenta un elemento que sigue una curva característica

que se corresponde preferentemente con la ecuación:  $M_S = M_N \cdot U_i / U_N$ .  $M_N$  es el par nominal,  $U_N$  la tensión nominal y  $U_i$  la tensión real efectiva residual que queda. Ventajosamente el módulo de cálculo comprende un registro del mínimo valor, que almacena el par de seguridad correspondiente a la tensión mínima medida respectiva y lo proporciona como valor de salida del módulo cálculo. Convenientemente está previsto además un módulo piloto que está diseñado para detectar la aparición de un exceso de par, por encima del valor del par de seguridad, mientras dura la caída de la tensión de red. El módulo piloto comprende un detector para detectar la caída de tensión de la red y un comparador. Si el detector detecta que se produce una caída de la tensión de red el comparador compara el par del generador con el par de seguridad y en caso de que lo supere emite una señal. Preferentemente el módulo piloto interacciona con la unidad de control del par de tal forma que durante la caída de la tensión de red le pasará el valor prefijado del par residual al generador conectándose a él puenteando la unidad de control del par. Este valor prefijado del par residual se calcula convenientemente a partir del par de seguridad. Al fijar el par se evita que el generador y el convertidor que interacciona con él se sobrecarguen. La unidad de control del par propiamente dicha no actúa y se puede inicializar gracias al inicializador. Así se han conseguido las condiciones para que la unidad de control del par actúe suavemente tras desaparecer la caída de tensión. Preferentemente está previsto además un módulo de ajuste rápido del ángulo de ataque que interacciona con la unidad de control del ángulo de ataque. Éste lo controla el módulo piloto de tal manera que el ángulo de ajuste (ángulo de ataque) de las palas del rotor se modifique en una cantidad determinada  $\Delta v$  pasando a su valor final con la mayor rapidez posible. Este ángulo de ajuste se calcula en función del ángulo inicial de las palas del rotor y del valor del salto del par que resulta de la diferencia entre el par que había antes y el par residual que impuesto ahora. Preferentemente en particular el ángulo de ajuste  $\Delta v$  se calculará mediante la relación  $\Delta v = f(v_0) \times v_A \times (M_0 - M_R)$ , siendo  $v_0$  el ángulo inicial,  $v_A$  la amplitud de ajuste de la pala generalizada,  $M_0$  el par antes de la caída de la tensión de red y  $M_R$  el par residual. El ajuste de la amplitud de ajuste de la pala será preferentemente de un ángulo que esté en el intervalo entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ . En cuanto a la función  $F$ , es una función que tiene en cuenta las propiedades no lineales de la aerodinámica de la pala del rotor.

La invención se refiere además a una instalación de energía eólica con una torre, una góndola dispuesta sobre ella, un rotor eólico, en el frente que acciona un generador a través de un eje de transmisión del rotor, que mediante un convertidor genera corriente para suministrársela a una red eléctrica, y un sistema de control de funcionamiento estando previsto además un sistema de control como el que se ha descrito antes.

La invención se refiere además al procedimiento correspondiente para hacer funcionar una instalación de energía eólica.

La invención se expondrá a continuación haciendo referencia al dibujo adjunto en el que está representado un ejemplo de realización ventajoso. Muestran:

- la figura 1 una representación genérica esquemática de una instalación de energía eólica conectada a la red eléctrica de suministro con un ejemplo de realización de la invención
- la figura 2: un diagrama de bloques de la instalación de energía eólica de la figura 1
- la figura 3: una vista esquemática de una unidad de control del par de la instalación de energía eólica
- la figura 4 diagramas de evolución temporal de algunos parámetros mientras dura la caída de tensión
- la figura 5 otro diagrama de evolución temporal a una escala de tiempos ampliada y
- la figura 6 un plan de secuenciación del procedimiento de acuerdo con el ejemplo de realización

Una instalación de energía eólica diseñada para ejecutar la invención, que se designa en su conjunto con el número de referencia 1, está representada en la figura 1. Presenta, como es sobradamente conocido, una torre 10, una góndola 11 montada para que pueda girar según la dirección azimutal. En el frente está montado un rotor 12 eólico que puede girar y que a través de un eje 14 de transmisión del rotor acciona un generador 13, que preferentemente es una máquina asíncrona doblemente alimentada, con un arrollamiento del rotor y del estator de varias líneas. El arrollamiento del estator del generador 13 está conectado directamente a la línea 19 de conexión de la instalación 1 de energía eólica. El arrollamiento del rotor (no representado) también está conectado a la línea 19 de conexión, a través de un convertidor 16. Además está previsto un sistema 2 de control de funcionamiento que está dispuesto preferentemente en la góndola 11.

Durante el funcionamiento normal la potencia mecánica extraída del viento por el rotor 12 eólico (potencia eólica) se transmite a través del eje 14 de transmisión del rotor y un mecanismo 15 opcional (véase la figura 2) al generador 13. Éste genera potencia eléctrica que se suministra a la red por la línea 19 de conexión. La instalación 1 de energía eólica comprende entonces dos sistemas principales: en primer lugar el sistema mecánico que comprende el rotor 12 eólico y en segundo lugar el sistema eléctrico que comprende el generador 13 como componentes centrales. Para ambos sistemas principales está prevista, dentro del sistema 2 de control de funcionamiento, una unidad de control propia. Se controlan con el sistema de control de funcionamiento mediante su propio módulo, es decir, el generador 3 del punto de funcionamiento.

Para controlar el sistema mecánico que comprende el rotor 12 eólico está prevista una unidad 4 de control del

ángulo de ataque. Comprende un sensor 41 de la velocidad de giro que está dispuesto en el eje 14 de transmisión del rotor y que registra su número de revoluciones. En tanto que se utilice un mecanismo 15 de transmisión el sensor de la velocidad de giro estará dispuesto preferentemente en el eje transmisión "rápido", es decir, del lado del generador del mecanismo 15 de transmisión. Este está conectado a una entrada de señal de la unidad 4 de control del ángulo de ataque. Por otra entrada de la unidad 4 de control del ángulo de ataque el generador 3 del punto de funcionamiento impone el valor objetivo de la velocidad de giro. La unidad 4 de control del ángulo de ataque calcula mediante un comparador la diferencia entre la velocidad de giro objetivo impuesta y la real obtenida por el sensor 41 de velocidad de giro y a partir de esto determina el valor del ángulo de ataque (pitch) de las palas 18 del rotor. Las palas 18 se giran gracias al motor del ángulo de ataque (no representado) dispuesto en el rotor, más concretamente, en el morro del rotor hasta que se consiga el ángulo de ajuste deseado. La potencia eólica extraída del viento se modifica así y con ella también la velocidad de giro del rotor 12. La unidad 4 de control del ángulo de ataque funciona entonces como un sistema de regulación de la velocidad de giro.

Para el sistema eléctrico está prevista una unidad 5 de control del par. También obtiene como valor de entrada la velocidad de giro real medida por el sensor 41 de velocidad de giro así como un valor objetivo de la velocidad de giro determinado por el generador 3 del punto de funcionamiento. Ambas señales se imponen en las entradas y se calcula su diferencia. La unidad 5 de control del par proporciona a partir de esta un valor exigido del par eléctrico (par objetivo) que se impone al generador 13 y su convertidor 16. El convertidor 16 hace funcionar al generador 13 con unos parámetros eléctricos tales que se llega al correspondiente par eléctrico que concuerda con el valor fijado para el par objetivo.

El funcionamiento de la unidad 5 de control del par se expondrá a continuación haciendo referencia a la figura 3. La unidad 5 de control de energía eólica comprende el núcleo 51 del regulador y un filtro 52 de entrada. Ambas entradas de la velocidad de giro real y del valor objetivo proporcionado por el generador 3 del punto de funcionamiento se pasan al filtro 52 de entrada. Este presenta un elemento 54 restador y proporciona la diferencia de ambas señales de velocidad de giro en su salida. La señal de salida del filtro 52 de entrada se le pasa al núcleo 51 del regulador por una de sus entradas. En el ejemplo de realización representado el núcleo 51 del regulador está diseñado como un regulador PI. Comprende un componente P y un componente I. El componente P consta de un elemento 53 proporcional que multiplica la señal de entrada impuesta por un factor configurable  $k_p$  y se lo pasa a un sumador 59 por una de las entradas de éste. El elemento I comprende un segundo elemento 55 proporcional que multiplica por un coeficiente  $k_i$ . Además comprende un integrador 57 a cuya entrada está conectada la salida del elemento 55 proporcional. La señal de salida del integrador 57 se le pasa al sumador 59 por su otra entrada. El integrador presenta además una entrada 56 de reinicio. Si se le pasa una señal por ella el integrador se reinicia adoptando este valor. Mediante ambos coeficientes  $k_p$ ,  $k_i$  se puede ajustar la respuesta del regulador PI. El elemento 59 sumador produce una señal de salida que se le pasa a una unidad 61 de conmutación por una de sus entradas (véase la figura 2). A la otra entrada de la unidad 61 de conmutación está conectada una línea 62 de señal para un par fijo. La salida del conmutador 61 produce la salida del sistema 5 de control de par que se le pasa al generador/convertidor 13.

La instalación de energía eólica presenta además un módulo 7 adicional que interacciona con la unidad 2 de control. El módulo 7 adicional comprende un detector 71 para detectar una caída de la tensión de red, un indicador 72 del par que determina un valor de referencia del par a fijar con el sistema 5 de control del par y un inicializador 73 que actúa sobre el integrador 57 del núcleo 51 del regulador. El funcionamiento de la invención es el siguiente: mediante el detector 71 se determina si se ha producido una caída de la tensión de red y cuando ha desaparecido. El indicador 72 del par proporciona un valor de referencia para el par que cuando desaparece la caída de la tensión de red le impone al generador 13 a través de la línea 62 de señal. Además el detector 71 dispara el inicializador 73 de modo que al terminar la caída de la tensión de red éste inicializa el integrador 57 concretamente al valor del par proporcionado por el indicador 72 de par. Además el inicializador 73 actúa sobre los elementos 53, 55 proporcionales concretamente de tal manera que cuando se restablece la tensión de red los coeficientes  $k_p$ ,  $k_i$  se ponen a unos valores predeterminados desviados. Estos valores se mantienen durante un tiempo ajustable de, por ejemplo, 10 segundos. Este intervalo de tiempo es notablemente más largo que el intervalo de tiempo de aproximadamente un segundo durante el que el integrador 57 se inicializa al fijar el valor del par por la entrada 56 de inicialización.

Haciendo ahora referencia a las figuras 4 a 6 se expondrá la respuesta de una instalación de energía eólica con un sistema de control convencional cuando se produce una caída de la tensión de red al detectar el detector 71 que hay una caída de la tensión de red (paso 101). Para esto, en la forma de realización representada, el detector 71 es un conmutador de valor umbral que emite una señal cuando el valor de la tensión de red queda por debajo de un valor umbral ajustable. La caída de la tensión de red que comenzaría en el instante de tiempo  $t = 1s$  y la señal de salida que aparece en el detector 71 está representada en la figura 5a. Si se detecta una caída de la tensión de red un módulo 74 de cálculo determina en función de la tensión de red medida durante la caída de la tensión de red (paso 103) el par residual de acuerdo con la relación ( $M_R = M_N \times U/U_N$ ) (paso 105). El módulo 74 de cálculo comprende un detector de mínimo que guarda el valor mínimo del par residual determinado durante el transcurso de la caída de la tensión de red y lo proporciona como señal de salida (paso 107). El indicador 72 del par comprueba, mediante el comparador 75, si el par objetivo exigido por la unidad 5 de control del par supera el par residual obtenido (paso 109). Si éste es el caso el par objetivo se deja limitado al valor residual y el inicializador se activa (pasos 111, 113). Éste está diseñado para accionar la unidad 61 de conmutación de modo que el par residual, que se considera

seguro, se le impone como par objetivo al generador/convertidor 13, 16. Así se evita que tanto el generador 13 como el convertidor 16 se sobrecarguen durante la caída de la tensión de red. Además el inicializador 73 hace que el integrador 57 del núcleo 51 del regulador se inicialice concretamente también al valor del par residual. Así se consigue que el núcleo 51 del regulador PI actúe suavemente cuando se restablezca la tensión. Finalmente en inicializador 73 actúa sobre la unidad 4 de ajuste del ángulo de ataque, concretamente de modo que las palas 18 del rotor se desplacen un ángulo  $\Delta v$  (paso 115) con la mayor rapidez posible. Este ángulo  $\Delta v$  de ajuste se calcula en función del ángulo de partida  $v_0$  y de la diferencia de par entre el par impuesto  $M_0$  cuando se produjo el caída de la tensión de red y el par residual calculado de acuerdo con la ecuación siguiente  $\Delta v = f(v_0) \times v_A \times (M_0 - M_R)$ , siendo  $v_A$  la amplitud del ajuste de la pala generalizada y que preferentemente está en el intervalo entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$  siendo la función  $f(v_0)$  una función no lineal que tiene en cuenta la aerodinámica de la pala 18 del rotor y que se puede determinar empíricamente para la pala 18 del rotor respectiva.

Si cuando desaparece la caída de la tensión de red para  $t = 1,5s$  se restablece la tensión de red (paso 117) se reinicia la señal de salida del detector 71 antes de que supere la tensión umbral. El inicializador 73 vuelve a quedar activado y determina un punto de ajuste modificado de la velocidad de giro (paso 119). Esto lo puede hacer calculándolo él mismo o tras llegarle una señal del sistema 2 de control jerárquicamente superior. El valor de ajuste se elige convenientemente de tal modo que se determine una velocidad de giro más alta que la que corresponde al estado de funcionamiento antes de la caída de la tensión de red; alternativamente puede estar prevista también la velocidad de giro nominal como valor de ajuste. Este valor de ajuste lo pasa el módulo 76 de aguante por la entrada del valor de ajuste del filtro 52 de entrada. Así se impide que la unidad 5 de control de par concretamente y en particular su núcleo 51 de regulación pase a saturación inmediatamente después de que se restablezca la tensión. Convenientemente esta modificación del valor de ajuste de la velocidad de giro se mantiene durante un tiempo que se puede elegir previamente y que es de aproximadamente un segundo. Además, cuando desaparece la caída de la tensión de red, el inicializador 73 produce una modificación de los factores  $k_p$  y  $k_i$  de amplificación de los elementos 53, 55 proporcionales del núcleo 51 de regulación (paso 121). Sus valores se modifican, aumentando el valor de  $k_i$  y reduciéndose  $k_p$  proporcionalmente a aquel. Así se amplifica la ponderación del elemento I del núcleo 51 del regulador pudiéndose lograr así, como se ha observado con la invención, una oscilación transitoria del regulador más favorable. El par calculado por la unidad 5 de control de par está representado en la figura 5b resaltándose con una línea discontinua el valor de salida del elemento I. Se pueden ver como vuelve a crecer el par armónico y prácticamente sin sobreoscilaciones no superando el valor de salida del par. También esta modificación de los factores  $k_p$ ,  $k_i$  de amplificación sólo es transitoria durando, por ejemplo, 10 segundos. Además cuando se restablece la tensión de red el integrador 53 se inicializa, poniéndose concretamente al valor del par residual. Tras pasar un primer intervalo de tiempo predeterminado (paso 125), por ejemplo, de un segundo, se deja de aplicar el inicializador (paso 127). Análogamente tras pasar un segundo intervalo de tiempo (paso 129), por ejemplo, de 10 segundos, se reinician los coeficientes y el valor objetivo del par poniéndolos al valor original (paso 131). Así se vuelve a adoptar el funcionamiento normal.

Con la combinación de estas acciones se evita que la unidad 4, 5 de control del par respectivamente del ángulo de ataque llegue a saturación cuando se restablece la tensión de red. La regulación puede así tener pleno efecto y logra por tanto una nueva subida más suave y mejor controlada de la potencia cuando desaparece la caída de la tensión de red de modo que no se produzcan unas oscilaciones perjudiciales para el conjunto de transmisión. Esto queda expuesto en la figura 4. En la figura 4a está representada la velocidad de giro del generador, en la figura 4b el ángulo de la pala, en la figura 4c, la carga del conjunto de transmisión y en la figura 4d la potencia eléctrica. Por comparar, con una línea discontinua se ha representado la evolución respectiva sin usar la presente invención. Se ve claramente que la notable carga del conjunto de transmisión (figura 4c) que puede llegar, si no se usa la invención, a valores que representen el 230% del par nominal, queda fuertemente amortiguada y sólo aparecen valores que lo superan en aproximadamente un 30%. Éstas se pueden absorber sin problema. Las oscilaciones de la velocidad de giro que aparecen son mínimas. En la figura 4a se ve claramente el alisamiento de la velocidad de giro del generador producido gracias a la invención. Sus oscilaciones quedan muy reducidas y presentan una amplitud que sólo corresponde a 1/4 aproximadamente de la que aparece si no se usa la invención. La potencia eléctrica (figura 4d) aumenta, en consonancia, más lentamente aunque aproximadamente a los 0,5 segundos después de que se restablezca la tensión de red alcanza de nuevo su valor original.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para el control de una instalación de energía eólica con un rotor (12) eólico y un generador (13) impulsado por el rotor (12) eólico que presenta una unidad (5) de control de par del generador (13)  
**caracterizado porque**  
 5 está previsto un sistema de control (7) adicional que comprende un detector (71) para detectar una caída de la tensión de red y su desaparición, un indicador (72) de par residual que proporciona un valor de par a fijar del generador (13) tras detectarse la caída de la tensión de red y un inicializador (73) que inicializa un componente de la unidad (5) de control del par imponiéndole un valor de referencia tras detectarse la caída de la tensión de red.
- 10 2. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1  
**caracterizado porque**  
 el componente de la unidad (5) de control de par es un elemento I (57).
3. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2  
**caracterizado porque**  
 15 el inicializador (73) modifica un factor de ponderación del componente de la unidad (4) de control del par.
4. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 3  
**caracterizado porque**  
 el inicializador (73) modifica al menos un factor de ponderación adicional de otro componente, concretamente en sentido contrario preferentemente.
- 20 5. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4  
**caracterizado porque**  
 la modificación de los factores de ponderación se hace transitoriamente durante un intervalo de tiempo que se puede ajustar.
- 25 6. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores  
**caracterizado porque**  
 está previsto un módulo (74) de cálculo de un valor prefijado que está diseñado para determinar un par de seguridad ( $M_R$ ) en función de la gravedad de la caída de la tensión de red.
- 30 7. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 6  
**caracterizado porque**  
 el módulo (74) de cálculo comprende un elemento que sigue una curva característica.
8. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores  
**caracterizado porque**  
 el sistema control (7) adicional presenta un módulo (76) de aguante que impone un punto de ajuste modificado de la velocidad de giro a la unidad (4) de control del ángulo de ataque y/o la unidad (5) de control de par.
- 35 9. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 8  
**caracterizado porque**  
 el punto de ajuste de la unidad (4) de control del ángulo de ataque y la unidad (5) de control del par son diferentes.
10. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9  
**caracterizado porque**  
 40 el punto de ajuste de la velocidad de giro modificado se impone a un filtro (52) de entrada de un núcleo (51) del regulador de la unidad (5) de control de par.
11. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores  
**caracterizado porque**  
 45 el sistema (7) de control adicional presenta además un módulo piloto que está diseñado para detectar la caída de la tensión de red y la aparición de un exceso de par.
12. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 11  
**caracterizado porque**  
 50 el módulo piloto actúa sobre un sistema (61) de conmutación para imponer un par objetivo al generador (13) durante la caída de la tensión de red.
13. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12  
**caracterizado porque**  
 el módulo piloto interacciona con el inicializador (73) para inicializar el elemento I (57) de la unidad (5) de control del par.

14. Sistema para el control de una instalación de energía eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 a 13 **caracterizado porque** el sistema control adicional presenta además un módulo de ajuste rápido del ángulo de ataque que se controla con el módulo piloto.
- 5 15. Instalación de energía eólica con una torre (10), una góndola (11) dispuesta sobre él, con un rotor (12) eólico en el frente y un generador (13) accionado por éste para generar energía eléctrica y suministrársela a una red (9) **caracterizada porque** se utiliza un sistema de control de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14.
- 10 16. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica con un generador (13) accionado por un rotor (12) eólico para generar energía eléctrica y suministrársela a una red (9) y un sistema de control con una unidad (5) de control de par **caracterizado porque:**  
se detecta la caída de la tensión de red y el restablecimiento de la tensión de red  
se determina un valor del par a fijar del generador (13) tras detectarse la caída de la tensión de la red y  
se inicializa un componente de la unidad (5) de control del par tras detectarse la caída de la tensión de red  
15 imponiéndole el valor prefijado.
17. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16 **caracterizado porque** se utiliza el sistema de control de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 14.



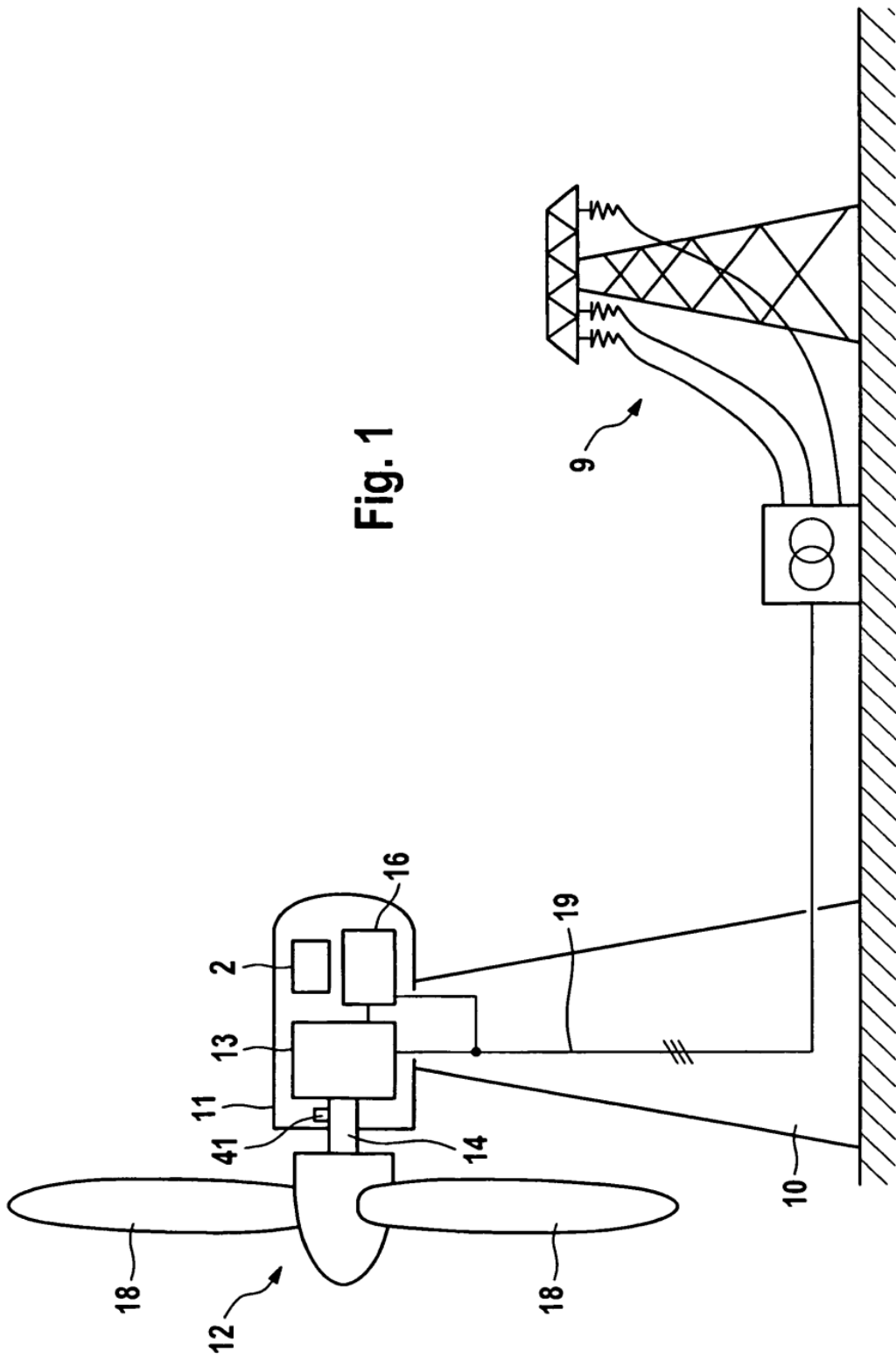


Fig. 1



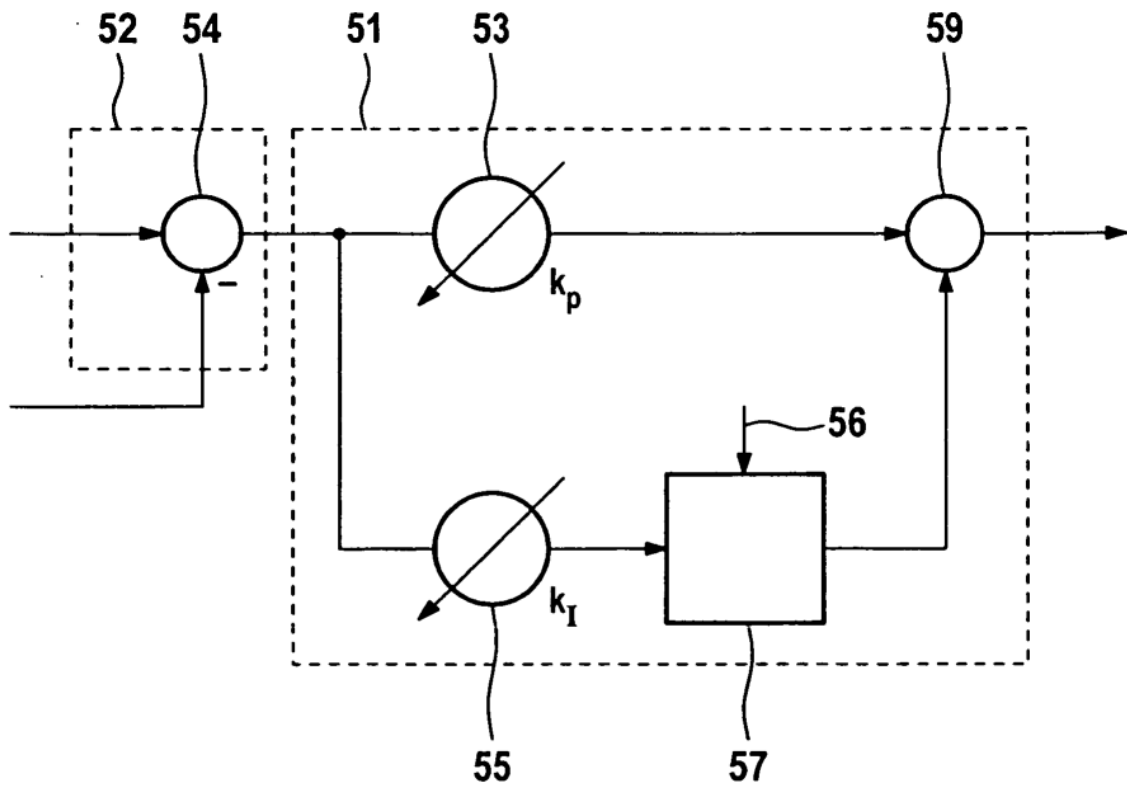


Fig. 3

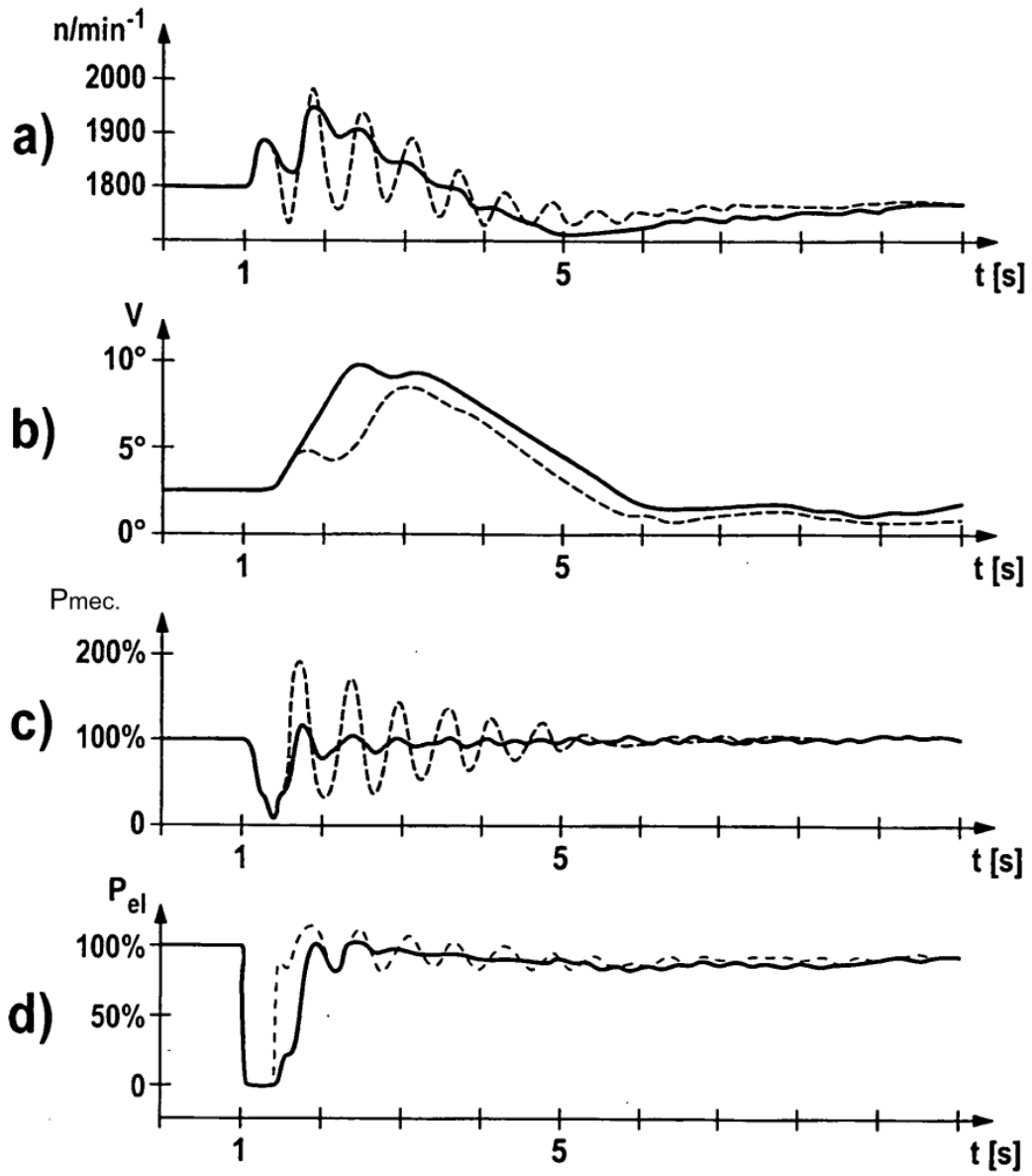


Fig. 4

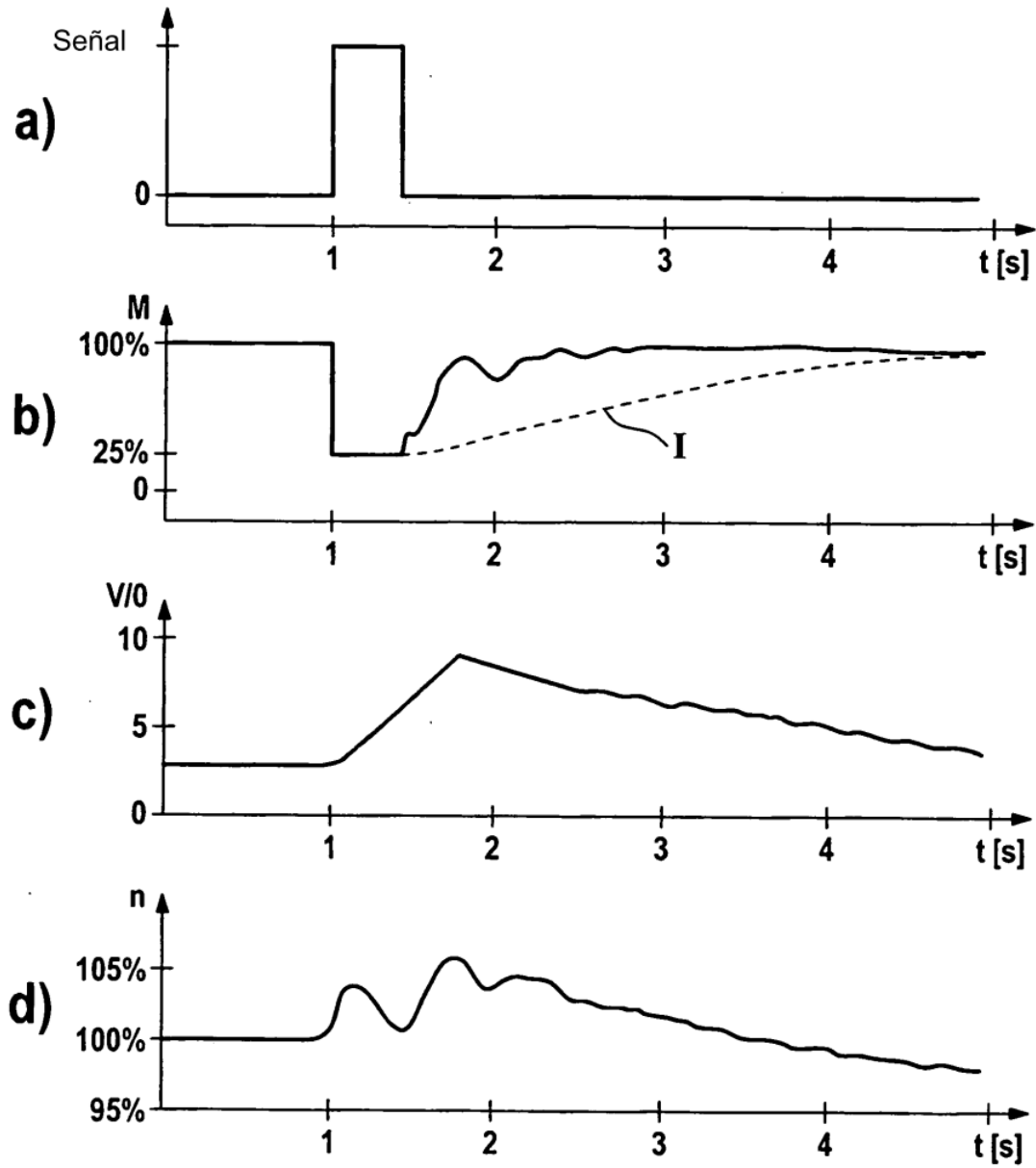


Fig. 5

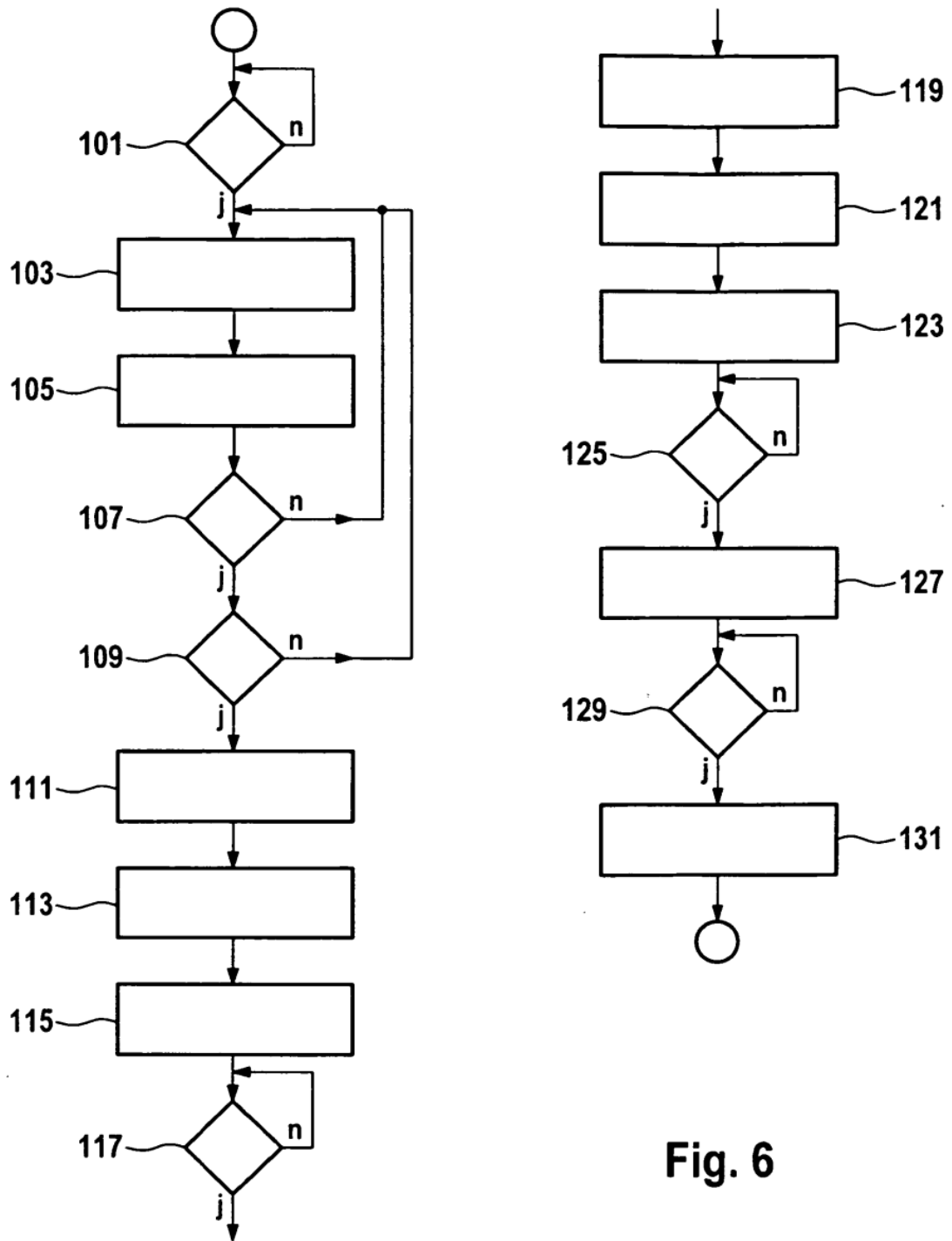


Fig. 6