

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 538**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.04.2011 PCT/EP2011/055536**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2011 WO11124696**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2011 E 11714522 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2556247**

54 Título: **Regulación de inercia dinámica**

30 Prioridad:

08.04.2010 DE 102010014165

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

05.03.2018

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**KRÜGER, THOMAS;
GEISLER, JENS y
SCHRADER, STEFAN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 657 538 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

Regulación de inercia dinámica.

5 La invención concierne a una instalación de energía eólica con un rotor eólico, un generador accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia para generar potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones y un control de convertidor de frecuencia cooperante con ésta, entregando la regulación de número de revoluciones una señal de número de revoluciones teórico al control del convertidor de frecuencia.

10 Debido a la difusión cada vez mayor de las instalaciones de energía eólica se exige que éstas aporten también contribuciones esenciales a la estabilidad de la red. Un aspecto importante en esta materia es el suministro de la llamada potencia de regulación. Ésta es proporcionada convencionalmente casi siempre por centrales eléctricas convencionales, especialmente centrales eléctricas de carbón o de turbina de gas, concretamente sobre todo en forma de una potencia adicionalmente recuperable en pocos segundos (regulación primaria). Para poder garantizar una reacción tan rápida es necesario que se mantenga las centrales eléctricas correspondientes permanentemente "bajo vapor". Esto es complicado y requiere una alta utilización de combustible que en muchos casos no se aprovecha en absoluto cuando no se reclame una potencia de regulación. Para reducir este coste se deben incorporar también instalaciones de energía eólica en la regulación primaria.

15 Un problema en esta materia consiste en que en instalaciones de energía eólica la potencia entregada viene determinada por el viento y, a diferencia de lo que ocurre en centrales eléctricas convencionales, no puede aumentarse a voluntad. Para, a pesar de esta limitación, poder utilizar instalaciones de energía eólica para suministrar potencia de regulación primaria es conocido el recurso de que la potencia de regulación primaria necesaria sea adquirida de la energía de impulsión del rotor. Se han desarrollado diferentes procedimientos para esto:

20 En un primer procedimiento se varía preventivamente el punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica. La instalación de energía eólica se regula variando determinados parámetros de funcionamiento, en particular el ángulo de ataque de las palas del rotor, de modo que esta instalación se haga funcionar de manera subóptima (Janssens, N. et al: "Active Power Control Strategies of DFIG Wind Turbines", IEEE Power Tech 2007, Lausanne, Suiza, 1-5 de julio de 2007). Es así posible desplazar a voluntad parámetros de funcionamiento hacia el punto de funcionamiento óptimo y de este modo también, con viento constante, entregar más potencia y recuperarla como potencia de regulación primaria. Un inconveniente de este enfoque reside en que durante el funcionamiento normal (cuando no se solicita una potencia de regulación) se genera menos potencia por la instalación de energía eólica que la que es verdaderamente posible debido al punto de funcionamiento subóptimo.

25 En un enfoque alternativo se efectúa una variación del punto de funcionamiento solamente en caso necesario, concretamente para tomar potencia eléctrica adicional como potencia de regulación primaria. Se modifica entonces por breve tiempo el regulador de número de revoluciones de la instalación de energía eólica y se aumenta el valor teórico para la potencia a entregar de conformidad con la potencia de regulación primaria que se debe entregar adicionalmente (por ejemplo elevando el par de giro teórico (Morren, J. et al: "Wind Turbines Emulating Inertia and Supporting Primary Frequency Control", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 1, febrero de 2006)). Estos métodos, al igual que otros métodos también conocidos, son ciertamente sencillos, pero no tienen en cuenta la influencia de condiciones modificadas del viento durante el suministro de potencia de regulación primaria. Por el contrario, estos métodos conocidos están diseñados exclusivamente para condiciones de funcionamiento estacionarias, es decir, con viento constante. Esto trae consigo un inconveniente consistente en que en condiciones no estacionarias del viento – como las que se pueden encontrar frecuentemente en la práctica – solamente se consigue un suministro empeorado de potencia de regulación primaria.

30 Se conocen instalaciones de energía eólica según el estado de la técnica por los documentos WO2005/025026, WO2010/000663 y Morren J ET AL: "Inertial response of variable speed wind turbines", ELECTRIC POWER SYSTEMS RESEARCH, ELSEVIER, Tomo 76, No. 11, 1 de julio de 2006 (01-07-2006), páginas 980-987.

La invención se basa en el problema de indicar una regulación mejorada para instalaciones de energía eólica que, incluso a velocidades inestacionarias del viento, suministre una potencia de regulación primaria suficiente.

La solución según la invención reside en las características de las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos ventajosos son objetos de las reivindicaciones subordinadas.

35 En una instalación de energía eólica con un rotor eólico, un generador accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia para generar potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones y un control de convertidor de frecuencia cooperante con ésta, emitiendo la regulación de número de revoluciones una señal de número de revoluciones teórico, está prevista según la invención una regulación adicional que presenta una entrada para una potencia adicional deseada y que está concebida para generar a partir de ésta, teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor, una señal de variación de número de revoluciones y emitir ésta como señal de salida que se añade a la señal de número de revoluciones teórico por medio de un miembro de combinación.

La invención se basa en la idea de no regular la potencia entregada a la red por la instalación de la energía eólica, sino controlar (por así decirlo a la entrada del sistema de la instalación de energía eólica) la energía tomada de la masa de impulsión del rotor eólico. Como quiera que se determina por la regulación adicional una señal para una variación de número de revoluciones, se toma así controladamente una energía determinada de la masa de impulsión del rotor eólico. Esta energía corresponde a la diferencia entre la energía cinética almacenada en la masa de impulsión antes y después de tener en cuenta la variación del número de revoluciones. Ésta hace posible en el sentido de un "energy tracking" un control de la energía de impulsión recuperada del rotor eólico por unidad de tiempo, la cual incrementa como potencia de apoyo cinética la potencia mecánica que actúa sobre el generador y que puede ser transformada por el generador en una potencia eléctrica correspondientemente elevada. De esta manera, se proporciona la potencia de regulación primaria deseada.

Se consigue con la invención que la potencia adicionalmente proporcionada sea extraída exclusivamente de la masa de impulsión del rotor y así la potencia generada por el viento no esté sometida a ninguna influencia. Por tanto, la "dosificación" de la potencia adicionalmente aportada, es decir, la potencia de regulación primaria, se realiza solamente por medio de la señal de variación del número de revoluciones. Esta potencia es independiente de la oferta de viento real, de modo que incluso en condiciones de viento fluctuantes, especialmente incluso con una velocidad del viento fuertemente decreciente, se asegura un suministro preciso de la potencia de regulación primaria. La invención combina estas considerables ventajas con respecto al suministro de potencia de regulación primaria con solamente pequeños requisitos relativos al coste. En particular, no es necesario un hardware adicional, sino que la regulación adicional según la invención puede estar implementada generalmente en el control de funcionamiento existente de todos modos.

Bajo el término de señal de número de revoluciones teórico debe entenderse la magnitud de partida de la regulación de número de revoluciones que se aplica como un parámetro al control de número de revoluciones de la instalación de energía eólica y/o al generador o al convertidor de frecuencia conectada al generador, para ajustar el número de revoluciones del generador. En la mayoría de los casos, ésta es una señal de número de revoluciones teórico propiamente dicha, pero puede ser también una señal de par de giro teórico. Tales señales están abarcadas también por el término "señal de número de revoluciones teórico", que debe entenderse funcionalmente.

Por control de convertidor de frecuencia debe entenderse un equipo que controla la entrega de potencia eléctrica por el transformador de energía mecánico-eléctrico formado por el generador y el convertidor de frecuencia. Usualmente, este equipo actúa directamente sobre el convertidor de frecuencia, pero no debe quedar excluido que dicho control actúe también o alternativamente de manera directa sobre el generador.

Por regulación adicional debe entenderse un equipo que es independiente de la regulación de número de revoluciones convencionalmente existente en el marco de un control de funcionamiento de la instalación de energía eólica. Preferiblemente, esta regulación presenta una realimentación de número de revoluciones.

Preferiblemente, está previsto un miembro de corrección que está concebido para variar parámetros de la regulación adicional en función de la potencia adicional reclamada. Entre estos parámetros se encuentra también el valor absoluto de la propia potencia adicional. Con este miembro de corrección se puede tener en cuenta que, al reclamar la potencia adicional con la reducción del número de revoluciones condicionada por esto, la instalación de energía eólica funciona fuera de sus condiciones de funcionamiento óptimas y, por este motivo, induce una pérdida de potencia. Si no se tuviera en cuenta esta pérdida de potencia inducida, esto podría conducir entonces a que no se alcanzara el valor absoluto deseado de la potencia adicional. Con el miembro de corrección se puede hacer una predicción correspondiente. A este fin, el miembro de corrección presenta preferiblemente un miembro de curva característica. Éste establece en función de la potencia adicional requerida un valor de corrección para el número de revoluciones teórico.

Preferiblemente, está previsto también un estimador de aerodinámica que estima el rendimiento aerodinámico del rotor eólico. A partir de la determinación de este rendimiento se puede determinar, juntamente con la velocidad del viento, la potencia obtenible del viento y – en caso de reclamación de potencia adicional – la pérdida de potencia resultante de la desoptimización. Para que esta pérdida de potencia no repercuta sobre la potencia de entrega de la instalación de energía eólica se puede hacer una predicción correspondiente en la consigna de potencia. A este fin, se añade el valor de partida del estimador de aerodinámica a la demanda de potencia adicional por medio de un miembro de combinación. Se consigue así que, en el caso de altas demandas de potencia adicional a las que pueden producirse variaciones considerables en la aerodinámica del rotor eólico, se garantice un suministro estable de la potencia adicional. Preferiblemente, se ha previsto la velocidad del viento como una magnitud de entrada del estimador de aerodinámica. Se puede tratar aquí de una magnitud realmente medida. Sin embargo, se prevé ventajosamente un observador de viento que determine la velocidad del viento a partir de parámetros existentes de todos modos en el control de funcionamiento, especialmente la potencia eléctrica entregada, el ángulo de ajuste del rotor eólico y el número de revoluciones del rotor. Se puede conseguir así un comportamiento de funcionamiento especialmente bueno del estimador de aerodinámica.

Preferiblemente, está previsto también un miembro de supresión que bloquea la regulación adicional a plena carga. Esto se basa en el conocimiento de que durante el funcionamiento bajo carga nominal, es decir, a una velocidad del viento por encima de la velocidad nominal del viento, se puede proporcionar suficiente potencia del propio viento y,

por tanto, no es necesario adquirir la potencia adicional solicitada de la energía de impulsión del rotor eólico. Se evita así una disminución innecesaria del número de revoluciones a alta velocidad del viento. El miembro de supresión presenta ventajosamente un módulo de arranque que está concebido para admitir una variación de número de revoluciones de corta duración al variar la demanda de potencia adicional y sobreexcitar con ello el módulo de supresión. Por corta duración se entiende aquí un espacio de tiempo de aproximadamente de 2 a 60 segundos. Esto se basa en el conocimiento de que en el caso de plena carga la regulación de la inclinación de las palas del rotor eólico necesita algunos segundos a fin de ajustar un nuevo ángulo de inclinación con el que se pueda tomar del viento la potencia adicional solicitada. Para puentear este espacio de tiempo hasta el ajuste del nuevo ángulo de inclinación se puede proporcionar durante breve tiempo la potencia adicional requerida a partir de una disminución del número de revoluciones del regulador adicional. Se mejora así el comportamiento de reacción de la instalación de energía eólica a la demanda de potencia adicional bajo carga nominal.

En una forma de realización preferida, que eventualmente merece protección independiente, se ha previsto un módulo de vigilancia de valor límite que limita o desactiva la regulación adicional en función de una vulneración de valor límite. Se consigue así que, mediante el suministro de la potencia adicional, la instalación de energía eólica no se haga funcionar en un rango de funcionamiento que dañe o sobrecargue la instalación de energía eólica. En particular, tales valores límite son límites de diseño electrotécnicos como corrientes aparentes, activas o reactivas, tensiones o límites térmicos en los semiconductores del convertidor de frecuencia, especialmente una potencia máxima admisible. Sin embargo, la vulneración de valor límite puede consistir también en la superación de un par de giro límite preferiblemente dependiente del número de revoluciones (por ejemplo implementado en un miembro de curva característica dependiente del número de revoluciones) de modo que, mediante la limitación del regulador adicional, se evite un funcionamiento en un rango de funcionamiento que produzca sobrecarga. En un perfeccionamiento especialmente preferido el módulo de vigilancia de valor límite vigila una superación de valor límite de la magnitud de partida del estimador de aerodinámica. Se indica así que se sobrepasa una pérdida aerodinámica crítica, con lo que la instalación de energía eólica necesita un nivel desproporcionado de potencia después del suministro de la potencia adicional para alcanzar nuevamente el número de revoluciones normal. Se hace así posible que se reconozcan de antemano, por así decirlo preventivamente, las repercusiones negativas originadas por el suministro de la potencia adicional sobre el funcionamiento continuado de la instalación de energía eólica y eventualmente se limite el suministro de la potencia adicional. Se puede evitar así especialmente que la fase de recuperación después del suministro de la potencia adicional dure un tiempo desproporcionadamente grande y conduzca a una alimentación de potencia correspondientemente reducida a la red.

Preferiblemente, la regulación adicional comprende también un miembro de limitación de par de giro. En presencia de una demanda de potencia adicional, se limita así también a un valor ajustable el par de giro total actuante. Este valor ajustable puede ser estacionario o provenir preferiblemente de un miembro de curva característica. Esto no solo sirve para evitar una sobrecarga de la línea de accionamiento, sino que además, en caso de que se emplee un miembro de curva característica, tiene también la ventaja de que se pueden evitar o recorrer más rápidamente determinados rangos de funcionamiento. Así, es especialmente conveniente configurar el miembro de limitación de par de giro de modo que el par esté fuertemente limitado en la zona del número de revoluciones síncrono. Por tanto, se protege el convertidor de frecuencia contra una sobrecarga.

En una forma de realización preferida la curva característica puede ser conmutada de la curva característica originalmente empleada a una curva característica con un par de giro más alto. A este fin, se ha previsto un módulo de conmutación de curva característica que coopera con la regulación de número de revoluciones de la instalación de energía eólica. En este caso, cuando se demande potencia adicional, se conmuta a otra curva característica que, en comparación con la curva característica original, prevea más par de giro. Se puede aumentar así inmediatamente la entrega de potencia. El término "curva característica" comprende aquí curvas características de trabajo y/o curvas características límite. Por conmutación a otra curva característica puede entenderse la conmutación a otra característica de regulación y/o una prosecución de la regulación en un rango de trabajo modificado, especialmente ampliado con respecto al par de giro admisible.

Para evitar una sobrecarga, especialmente de los componentes eléctricos, tales como el generador y el convertidor de frecuencia, este aumento de potencia, que es ciertamente un aumento de potencia activa, va acompañado de una limitación de la entrega de potencia reactiva. Se reduce así la corriente reactiva, con lo que los componentes eléctricos no sobrepasan las corrientes máximas admisibles. En muchos casos, esto puede requerir que no solo se limite fuertemente la entrega de potencia reactiva, sino que incluso se la bloquee o se la ponga a "cero".

Preferiblemente, está previsto un equipo de determinación de potencia adicional que está concebido para determinar la potencia adicional con ayuda de la frecuencia medida en la red. Se consigue así que no solo tenga que esperarse a la consigna de un valor teórico central de potencia adicional, sino que pueda reaccionarse inmediatamente después de la entrada de la perturbación en la red eléctrica. En este caso, pueden estar previstos diferentes reguladores de determinación alternativos en el equipo de determinación de potencia adicional. En primer lugar, puede estar previsto determinar la potencia nominal proporcionalmente a la desviación de frecuencia, siendo la potencia adicional tanto más alta cuanto más grande sea la desviación de frecuencia. Sin embargo, puede estar previsto también en segundo lugar que se aumente escalonadamente la potencia adicional en función de valores determinados de la desviación de frecuencia. En tercer lugar, puede estar previsto también solamente que se reclame la potencia adicional máxima posible después de sobrepasarse una desviación de frecuencia determinada.

La desviación de frecuencia de los reguladores de determinación citados a modo de ejemplo puede determinarse aquí como una desviación del valor real de la frecuencia respecto de un valor teórico o intervalo de valor teórico de la frecuencia en la red eléctrica.

5 El equipo de determinación de potencia adicional coopera preferiblemente con un módulo de dinámica que determina preferiblemente la potencia adicional a partir de la profundidad y/o el gradiente temporal de una irrupción de la frecuencia en la red. Se pueden implementar así de manera eficiente especialmente consignas concretas de los operadores de red referentes a cómo tiene que reaccionar una instalación de energía eólica ante una irrupción de frecuencia por alimentación de potencia adicional. Esto rige en mayor grado cuando se implementan por separado funciones diferentes para el principio y el final por medio de un miembro de aumento y un miembro de disminución. Así, por ejemplo, puede estar previsto que la instalación de energía eólica, al reconocer una desviación de frecuencia durante un espacio de tiempo determinado, por ejemplo 10 segundos, alimente además una potencia adicional de un 10%, no debiendo caer a continuación de esto la entrega de potencia de la instalación de energía eólica por debajo de un porcentaje determinado del valor de partida, es decir que, por ejemplo, durante al menos 20 segundos dicha entrega de potencia tiene que ascender a al menos un 80% de la potencia alimentada antes de la perturbación de frecuencia. Por supuesto, son posibles otras funciones de aumento y disminución.

Preferiblemente, el regulador adicional comprende un módulo de gradiente de número de revoluciones que está concebido para que, después de la finalización de la potencia adicional, se limite la potencia restante a una potencia mínima. Después de finalizar la alimentación de la potencia adicional la instalación de energía eólica necesita energía adicional del viento para alcanzar nuevamente el rango de número de revoluciones normal en las respectivas condiciones del viento. El módulo de gradiente del número de revoluciones hace que, después de finalizar la generación de potencia adicional, aumente de nuevo prioritariamente el número de revoluciones (con un gradiente mínimo) de modo que se alcance nuevamente con rapidez un rango de funcionamiento aerodinámicamente favorable (relación entre el número de revoluciones y la velocidad del viento). Se impide así que disminuya el número de revoluciones hasta el punto de que la instalación de energía eólica genere tan poca potencia que se desconecte, no cubra ya la demanda propia de potencia o caiga por debajo de un par de giro mínimo necesario para un funcionamiento seguro de la instalación de energía eólica. Únicamente después de un aumento determinado del número de revoluciones se efectúa la aceleración adicional del número de revoluciones con un gradiente mínimo de modo que se genere ahora prioritariamente potencia para su alimentación a la red (debiendo respetarse preferiblemente un gradiente mínimo ahora reducido). La invención resuelve así el conflicto de objetivos consistente en que, después de la finalización de la alimentación de potencia adicional, se tiene, por un lado, que seguir alimentando la mayor cantidad posible de potencia y, por otro lado, hay que hacer retornar nuevamente con rapidez la instalación de energía eólica a un rango de funcionamiento eficiente y estable.

La invención se refiere también a un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica que están provistas cada una de ellas de un rotor eólico, un generador accionado con éste y dotado de un convertidor de frecuencia para la generación de potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones y un control de convertidor de frecuencia cooperante con ésta, emitiendo la regulación de número de revoluciones una señal de número de revoluciones teórico, y asimismo está previsto un gestor de parque para la regulación de rango superior de las instalaciones de energía eólica, estando prevista según la invención en al menos una parte de las instalaciones de energía eólica una regulación adicional que presenta una entrada para una potencia adicional y está concebida para generar a partir de ella, teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor, una señal de variación de número de revoluciones y emitir ésta como señal de salida que se añade a la señal de número de revoluciones teórico por medio de un miembro de combinación, y el gestor de parque presenta un módulo de control de inercia que reparte una potencia nominal solicitada sobre las instalaciones de energía eólica en rotación. Preferiblemente, este reparto se realiza de tal manera que todas las instalaciones de energía eólica en rotación sean activas sin tener en cuenta la potencia entregada por ellas. Se consigue así que un número lo más grande posible de las instalaciones de energía eólica participe en un suministro de la potencia adicional, concretamente también aquéllas que en el presente solo entregan poca potencia. Se consigue así no solo un alivio de la carga de tales instalaciones de energía eólica que entregan una alta potencia útil, sino que, además, se realiza también una mejor distribución estocástica sobre el parque eólico, con lo que se compensan estocásticamente mejor las fluctuaciones originadas por el viento.

50 La invención comprende también procedimientos correspondientes para hacer funcionar la instalación de energía eólica o el parque eólico. Para una descripción más detallada, se hace referencia a la explicación anterior.

Se explica seguidamente la invención con más detalle haciendo referencia al dibujo adjunto en el que están representados ejemplos de realización ventajosos. Muestran:

55 La figura 1, una representación general de una instalación de energía eólica en un ejemplo de realización de la invención;

La figura 2, una vista de bloques de una regulación adicional y un miembro de corrección adicional según el ejemplo de realización de la invención;

La figura 3, un diagrama con parámetros de funcionamiento en un caso de carga parcial;

La figura 4, un diagrama con parámetros de funcionamiento en un caso de carga completa;

La figura 5, un diagrama del funcionamiento del miembro de corrección adicional;

La figura 6, un diagrama correspondiente a la figura 3 con viento inestacionario;

La figura 7, diagramas de potencia para diferentes parques eólicos; y

5 La figura 8, diagramas para funciones de aumento y disminución.

Una instalación de energía eólica 1 según un ejemplo de realización de la invención está construida de manera convencional en sus rasgos fundamentales. Comprende una torre 10 en cuyo extremo superior está dispuesta una caja de máquinas 11 basculable en la dirección de azimut. En su lado frontal está dispuesto de manera giratoria un rotor eólico 12 que está provisto de varias palas de rotor 13 regulables respecto de su ángulo de ajuste. Para la regulación del ángulo de ajuste está previsto un equipo de regulación de inclinación 23. El rotor eólico 12 acciona un generador 14 a través de un árbol de rotor. Este generador genera energía eléctrica juntamente con un convertidor de frecuencia 15 conectado al mismo. El generador 14 está realizado preferiblemente como un generador asíncrono doblemente alimentado a cuyo estator está conectada directamente una línea para la evacuación de la energía eléctrica, estando conectada también la línea al convertidor de frecuencia 15, el cual a su vez está unido con un rotor del generador 14. La línea 17 está conectada a una red colectora 9 interna al parque eólico a través de un transformador no representado. Dicha línea puede estar conectada también directamente a una red 99 de media o alta tensión a través de un transformador. Asimismo, en la caja de máquinas 11 está dispuesto un control de funcionamiento 2 que está unido con un gestor 8 de un parque eólico a través de unos medios de comunicación (no representados). El control de funcionamiento 2 dirige el funcionamiento de la instalación de energía eólica 1 y está provisto para ello de diferentes equipos especializados, entre ellos una regulación de número de revoluciones 21 para el rotor eólico 12. La potencia eléctrica generada por la instalación de energía eólica 1 y entregada por la línea 17 es capturada por un equipo de medida de potencia 18 y aplicada al control de funcionamiento 2.

La instalación de energía eólica 1 puede estar instalada en forma individualizada. Sin embargo, estará casi siempre dentro de un parque eólico que consta de varias instalaciones de energía eólica 1, 1'. Las restantes instalaciones de energía eólica 1' están construidas como la instalación de energía eólica 1, pero no deberá quedar excluido que estén dispuestas también instalaciones de energía eólica de otros tipos en el parque eólico. La instancia de dirección de rango superior para las instalaciones de energía eólica 1, 1' forma el gestor de parque 8 que está unido con las distintas instalaciones de energía eólica 1, 1' a través de unos medios de comunicación (no representados). La potencia eléctrica generada por las diferentes instalaciones de energía eólica 1, 1' es conducida por una red colectora 9 interna al parque eólico hasta un punto de combinación en el que el parque eólico está conectado, a través de un transformador no representado, a una red 99 de media o alta tensión que sirve para la transmisión de energía.

El control de funcionamiento 2 constituye con su regulador de número de revoluciones 21 una unidad que determina el valor teórico para un número de revoluciones del rotor eólico 12 y que coopera con un regulador 25 de convertidor de frecuencia de tal manera que se ajuste un par eléctrico tal como para alcanzar el número de revoluciones correspondiente del rotor eólico 12. El regulador de número de revoluciones 21 coopera también con un regulador 23 de ángulo de pala de tal manera que se ajuste un ángulo de ataque determinado de las palas 13 del rotor (ángulo de inclinación) con respecto al aire afluente para alcanzar un número de revoluciones del rotor eólico 12. La cooperación del regulador de número de revoluciones 21 con el regulador 25 de convertidor de frecuencia y el regulador 23 de ángulo de pala se regula con ayuda del punto de trabajo de la instalación de energía eólica 1. Si las condiciones del viento son tales que la instalación de energía eólica 1 puede hacerse funcionar solamente por debajo de su potencia nominal (alternativamente también su número de revoluciones nominal o el viento nominal), se habla del funcionamiento bajo carga parcial y el regulador del número de revoluciones coopera con el regulador 25 del convertidor de frecuencia. Si las condiciones del viento son tales que la instalación de energía eólica 1 puede hacerse funcionar con su potencia nominal, se habla de funcionamiento bajo carga nominal y el regulador de número de revoluciones 21 coopera con el regulador 23 del ángulo de pala. En la zona de la transición del funcionamiento bajo carga parcial al funcionamiento bajo carga nominal puede estar previsto que el regulador de número de revoluciones 21 coopere al mismo tiempo tanto con el regulador 23 del ángulo de pala como con el regulador 25 del convertidor de frecuencia.

La salida correspondiente del número de revoluciones de valor teórico desde la regulación 21 de número de revoluciones está representada en la figura 2. Esta línea de salida lleva conectado según la invención un regulador adicional 3. A este fin, en la línea está previsto un miembro de combinación 29 que está configurado como un miembro sumador y que suma un valor determinado por el regulador adicional 3 al valor teórico n_{ref} de número de revoluciones calculado por la regulación 21 de número de revoluciones para generar así el valor nominal final n_{ajuste} para el control 25 del convertidor de frecuencia.

El regulador adicional 3 presenta dos entradas. A su primera entrada 31 se conecta una señal para una energía cinética P_{cin} que debe suministrarse. A su segunda entrada 32 se conecta una señal para el número de revoluciones teórico n_{ajuste} . El regulador adicional 3 presenta un miembro de división 33 que divide el valor de la entrada 31 por el

de la entrada 32. Mediante transformación con un factor constante por medio de un miembro P 34 se obtiene de esto una medida de un momento de inercia θ . Éste se divide mediante otro miembro P 35 por un factor constante que corresponde a la inercia de rotación J del rotor eólico 12. Resulta de esto un valor para la caída del número de revoluciones que se alimenta a un integrador 36. Éste determina por integración sobre un tiempo de paso un valor
 5 diferencia discreto para el número de revoluciones Δn que se conecta al miembro de combinación 29. Se forma así el valor teórico de número de revoluciones corregido n_{ajuste} . Éste se hace retornar a la segunda entrada 32 del regulador de número de revoluciones a través de una línea de realimentación 37.

El funcionamiento consiste en que, en presencia de una solicitud de una potencia crítica, se forma por división con el respectivo valor teórico de número de revoluciones actual un valor para el momento de inercia θ que debe ser
 10 suministrado por la masa de impulsión del rotor eólico 12 y se establece a partir del mismo, teniendo en cuenta la inercia de rotación, la variación de número de revoluciones necesaria. Ésta se añade, a través del miembro de combinación 29, al valor de número de revoluciones teórico emitido por el control de funcionamiento 2.

Sin embargo, en el caso de altas velocidades del viento, a las cuales la instalación de energía eólica 1 opera en funcionamiento bajo carga nominal, no es necesario alimentar una potencia adicionalmente solicitada derivada de la energía cinética del rotor eólico 12. Para prevenir una caída no deseada del número de revoluciones se ha previsto un módulo de supresión 4. Éste es activado por una señal de carga nominal que es proporcionada por el control de funcionamiento 2. Si se aplica ésta, no se produce entonces ninguna disminución de los valores para el número de revoluciones teórico emitidos por el control de funcionamiento 2. No obstante, se puede realizar ventajosamente una
 15 disminución del número de revoluciones por vía dinámica, es decir, al comienzo de la solicitud de supresión de la potencia o a su final. Esto tiene la finalidad de puentear el espacio de tiempo hasta que se haya podido regular adicionalmente el regulador 23 del ángulo de pala de tal manera que se proporcione la potencia adicional incluso sin una disminución del número de revoluciones. A este fin, se ha previsto preferiblemente un miembro temporizador 41 que hace posible para el espacio de tiempo de la actividad del regulador 23 del ángulo de pala una corrección del valor teórico del número de revoluciones como se ha descrito anteriormente.

Asimismo, se ha previsto opcionalmente un miembro de corrección adicional 5. Éste comprende un estimador de aerodinámica 51 y un observador de viento 52. En el observador de viento 52 están previstas unas entradas. La entrada 53 es para la potencia eléctrica generada (medida por el sensor 18). La segunda entrada es para el ángulo de inclinación ajustado que se transmite por el regulador 23 del ángulo de pala. A una tercera entrada 55 se conecta un valor para el número de revoluciones del generador 14; preferiblemente se trata aquí de un valor de medida que se establece por un sensor. El estimador de viento 52 determina a partir de esto un valor para una velocidad v del viento que se emite en una salida 56. Asimismo, se envía a una salida 57 un valor para un rendimiento aerodinámico c_p . El estimador de aerodinámica 51 está concebido para calcular la potencia de pérdida aerodinámicamente inducida ΔP_{aero} a partir de los valores para la velocidad v del viento y el rendimiento aerodinámico c_p . Esto puede efectuarse, por ejemplo, por medio de su campo característico bidimensional. El valor correspondiente es entregado
 20 a una salida 50 por el estimador de aerodinámica 51. Este valor se añade a través de un puesto de combinación 30 a un valor teórico externamente aplicado para una potencia adicional solicitada $P_{refuerzo}$ y se establece así el valor para la potencia P_{cin} que se debe proporcionar por el sistema cinético y que se aplica al regulador adicional 3. El valor para la potencia adicional solicitada $P_{refuerzo}$ puede generarse también de manera opcional localmente en la instalación de energía eólica 1. A este fin, está previsto un equipo 44 de determinación de potencia adicional a cuya entrada se aplica una señal para la frecuencia en la red colectora 98. Si se producen desviaciones respecto de una frecuencia nominal ajustable f_{nom} , se solicita entonces potencia adicional. Su magnitud puede preajustarse o determinarse preferiblemente a partir del grado de desviación de la frecuencia. Convenientemente, el equipo 44 de determinación de potencia adicional está provisto para ello de un miembro de curva característica.

Opcionalmente, está previsto un módulo de vigilancia de valor límite designado en su totalidad con el número de referencia 6. Éste comprende como elemento esencial un limitador 69 que limita a un valor máximo la señal para la potencia P_{cin} que debe proporcionar el sistema cinético. Este aspecto de la invención merece eventualmente una protección independiente. La limitación puede efectuarse a un valor máximo rígido, pero se efectúa de preferencia adaptativamente y para varios parámetros. Esto se explica con más detalle en lo que sigue. El módulo 6 de vigilancia de valor límite comprende varios módulos de señal límite, en el ejemplo representado tres módulos de señal límite 61, 63, 65. Éstos están concebidos para vigilar determinados parámetros con respecto a valores límite prefijables y para transmitir una señal correspondiente a una lógica de valoración 60. Se aplican a un primer módulo de señal límite 61 unas señales para la pérdida de potencia aerodinámica ΔP_{aero} obtenida por el estimador de aerodinámica 51 y un valor de potencia de pérdida máxima prefijable $\Delta P_{aeroMAX}$, por ejemplo $\Delta P_{aeroMAX} = 20\%$ de la potencia nominal. El módulo de señal límite 61 compara estos valores y, al sobrepasarse el valor de potencia de pérdida máxima, entrega solamente su valor a la lógica de valoración 60. Un segundo módulo de señal límite 63 lleva antepuesto un miembro sumador 62 al que se aplican señales para la potencia de la instalación de energía eólica precedentes de la entrada 53 y para la potencia cinética solicitada P_{cin} , y a partir de esto se forma una potencia total requerida P_{tot} y se aplica ésta como señal de entrada al segundo módulo de señal límite 63. Se aplica también al segundo módulo de señal límite 63 una señal para la potencia máxima admisible P_{max} . Cuando se
 45 sobrepasa este valor, el segundo módulo de señal límite 63 entrega solamente este valor a la lógica de valoración 60. Un tercer módulo de señal límite 65 vigila si el par de giro M_b resultante de la solicitud de potencia se mantiene por debajo de un límite admisible. Para determinar este par de giro puede estar previsto un miembro de división 64 que divide la potencia total solicitada P_{tot} por el número de revoluciones, por ejemplo aplicado por la entrada 55, y

determina así el par de giro solicitado M_b . Si éste sobrepasa un par de giro límite admisible M_{max} , se transmite entonces un valor correspondientemente limitado a la lógica de valoración 60.

5 La lógica de valoración 60 evalúa las diferentes señales aplicadas y determina a partir de ello un valor máximo que se aplica al limitador 69. La lógica de evaluación 60 está realizada en el ejemplo de realización mostrado como una lógica de selección baja en la que el valor límite más bajo proporciona la desviación.

10 Opcionalmente, está previsto un módulo 24 de conmutación de curva característica para la regulación del número de revoluciones. Aparte de la curva característica fundamental empleada durante el funcionamiento normal (véase la línea de trazos), este módulo presenta al menos otra curva característica que prevé un par de giro incrementado (véase la línea continua). Como alternativa, puede estar previsto también que el módulo 24 de conmutación de curva característica prevea una curva característica de limitación para el funcionamiento normal y al menos una característica de limitación para un rango de par de giro ampliado (véase la línea de puntos), con lo que está disponible un rango de funcionamiento ampliado para el regulador de par de giro/número de revoluciones.

15 Para activar el módulo 24 de conmutación de curva característica está previsto un emisor de conmutación 42 con un miembro de desvanecimiento 43. El emisor de conmutación 42 vigila la línea de señales para la potencia adicional solicitada $P_{refuerzo}$ y se conecta cuando ésta es solicitada, y activa entonces el módulo 24 de conmutación de curva característica. Debido al aumento del par de giro se genera inmediatamente más potencia activa. Para evitar una sobrecorriente se reduce fuertemente o se bloquea por completo al mismo tiempo la entrega de corriente reactiva. Se entrega para ello una señal de bloqueo correspondiente $Q_{bloqueo}$ al control de funcionamiento 2. Después de la finalización de la solicitud de potencia adicional se efectúa nuevamente una transición al funcionamiento normal. Pero esto no se efectúa de manera brusca, sino paulatina, para evitar inestabilidades en el sistema mecánico y eléctrico de la instalación de energía eólica. A este fin, el módulo 24 de conmutación de curva característica no se reconecta inmediatamente al funcionamiento normal, sino que coopera con el miembro de desvanecimiento 43 de modo que se efectúe un retorno paulatino a la curva característica original de funcionamiento normal. El miembro de desvanecimiento 43 está concebido a este respecto de modo que se alcance nuevamente la curva característica original únicamente cuando la instalación de energía eólica haya alcanzado nuevamente su punto de funcionamiento normal. A este fin, el miembro de desvanecimiento 43 evalúa la señal para la potencia de pérdida aerodinámica ΔP_{aero} . Si este valor es nulo o está por debajo de un umbral ajustable, se alcanza entonces nuevamente el punto de funcionamiento normal. Puede estar previsto también que este desvanecimiento se realice por conmutación controlada a una o varias curvas características de transición.

20 30 Asimismo, está previsto un módulo 39 de gradiente de número de revoluciones. Éste vigila en la entrada 31 la supresión de la solicitud de potencia adicional. Asimismo, se aplica una señal para el número de revoluciones n del rotor eólico 14. El módulo 39 de gradiente de número de revoluciones comprende un limitador de gradiente máximo y un limitador de gradiente mínimo. Éste es activado al final de la solicitud de potencia adicional. En este instante, el número de revoluciones n del rotor eólico 14 se ha reducido con respecto al valor de partida debido a la toma de energía cinética. La reducción puede ser considerable, por lo que el rotor eólico opera ampliamente fuera de su condición de funcionamiento óptimo. Por tanto, se fija primeramente un gradiente mínimo de modo que el número de revoluciones aumente de nuevo rápidamente. Existe así prioridad para el aumento del número de revoluciones. Por otro lado, mediante un gradiente máximo se impide un aumento demasiado rápido de modo que esté disponible todavía suficiente potencia para la generación de energía eléctrica. Cuando se alcanza un número de revoluciones de conmutación, se varían preferiblemente el gradiente máximo y el gradiente mínimo, concretamente hacia gradientes mínimo y máximo más pequeños. Existe así prioridad para la generación de energía a costa del aumento del número de revoluciones, el cual, por tanto, se efectúa ahora generalmente con mayor lentitud.

45 Resulta así en el funcionamiento bajo carga parcial el comportamiento representado en la figura 3. La velocidad del viento se supone como constante, según se ha representado en la figura 3A. Por consiguiente, el ángulo de inclinación de las palas 13 del rotor es también constante; véase la figura 3B. En el instante $t=25$ segundos se aplica una solicitud para una potencia de apoyo de una magnitud de 100 kW en 10 segundos (véase la línea de trazos en la figura 3). El regulador adicional 3 determina continuamente una variación del número de revoluciones que se añade al valor teórico original, de lo que resulta una caída continua del número de revoluciones en el espacio de tiempo $t=25$ a $t=35$ segundos. Debido a esta caída del número de revoluciones se reduce la energía cinética en el rotor eólico 12, y la potencia resultante de esto es alimentada como potencia adicional al generador y al convertidor de frecuencia 14, 15 y es entregada por la línea 17 como potencia de regulación primaria (línea continua en la figura 3). Al final de la solicitud después del instante $t=35$ segundos ha disminuido considerablemente el número de revoluciones del rotor eólico 12, con lo que a continuación la potencia originalmente alimentada no puede ajustarse en seguida de nuevo, sino únicamente después de un aumento del número de revoluciones paulatinamente producido (a causa de la velocidad relativamente baja del viento esto dura bastante tiempo hasta el instante $t=80$ segundos). En este caso, debido al módulo 39 de gradiente de número de revoluciones existe prioridad para la aceleración del número de revoluciones durante los primeros veinte segundos, mientras que a partir de $t=55$ existe prioridad para la generación de potencia juntamente con un aumento de número de revoluciones que discurre entonces en forma más plana (gradiente de número de revoluciones más bajo).

60 En la figura 4 se representa nuevamente una solicitud de una potencia adicional a partir de $t=25$ segundos durante 10 segundos; sin embargo, a diferencia de la representación de la figura 3, la instalación de energía eólica está en

funcionamiento bajo carga nominal. Por consiguiente, la velocidad del viento (véase la figura 4A) es mayor y está 11 m/s por encima de la velocidad nominal del viento. Esto hace posible que se genere en sí la potencia adicional a partir del viento, para lo cual se tiene que regular el ángulo de inclinación de las palas 13 del rotor; esto se representa en la figura 4B. Se aprecia que la regulación del ángulo de inclinación dura algún tiempo, concretamente alrededor de 2 segundos en el ejemplo de realización representado. Para poder suministrar ya también durante este tiempo la potencia adicional requerida se realiza una disminución del número de revoluciones, tal como se ha descrito anteriormente, por medio del módulo de supresión 4 en cooperación con su módulo de arranque 41 al comienzo de la solicitud de la potencia adicional. Esto puede concluirse cuando el ángulo de inclinación haya alcanzado su valor en el instante $t=28$ segundos. El módulo de supresión 4 combina entonces la disminución del número de revoluciones, con lo que el número de revoluciones aumenta después nuevamente y alcanza lentamente su valor de partida. Esto mismo se repite con signo contrario en el instante $t=35$ segundos cuando se suprime la solicitud de la potencia adicional. En la figura 4D se aprecia que con la acción del módulo de arranque 41 se alcanza siempre al principio y al final del requerimiento para la potencia adicional en $t=25$ y 35 segundos, así como con el módulo de supresión 4 en el tiempo intermedio, una buena concordancia entre la potencia solicitada (línea de trazos) y la potencia entregada (línea continua).

En la figura 5 se representa con más detalle el funcionamiento del estimador de aerodinámica 51. Se trata nuevamente de un funcionamiento bajo carga parcial (véase la figura 3), en el que se solicita en el instante $t=25$ segundos una potencia adicional durante 10 segundos. La potencia adicional es suministrada por una disminución continua del número de revoluciones (véase la figura 5A), con lo que la potencia eléctrica puede ser incrementada en el valor requerido (véase la figura 5B). Dado que con el número de revoluciones decreciente se hacen cada vez peores las condiciones aerodinámicas en el rotor eólico 12, la instalación de energía eólica 1 se hace funcionar de manera desoptimizada. La potencia de pérdida inducida resultante de ello es determinada por el estimador de aerodinámica 51. Este valor está representado en la figura 5C. Se aprecia que este valor alcanza un orden de magnitud que abarca más de la mitad de la potencia adicional proporcionada, es decir que no puede ignorarse. Gracias al estimador de aerodinámica previsto 51 se tiene que, a pesar de esta considerable pérdida inducida, la potencia adicional solicitada puede ser suministrada de manera estable durante el espacio de tiempo.

La figura 6 muestra el comportamiento del regulador adicional 3 según la invención en el caso de condiciones inestacionarias del viento, especialmente viento creciente. Como ocurre también en el caso representado en la figura 3, se solicita en el instante $t=25$ segundos una potencia adicional durante 10 segundos. Al mismo tiempo, comienza a aumentar la velocidad del viento (figura 6A). La potencia en sí solicitada (que no tiene en cuenta el aumento de la velocidad del viento no conocido de antemano) está representada con línea de trazos en la figura 6D. La potencia realmente entregada está representada con una línea continua. Se aprecia que la potencia realmente entregada por la instalación de energía eólica aumenta juntamente con el aumento de la velocidad del viento y, no obstante, se entrega – como se ha solicitado – una potencia en exceso, tal como se puede apreciar claramente en la caída de la potencia entregada en el instante del final de la solicitud en $t=35$ segundos. Gracias a la regulación adicional según la invención puede hacerse así uso de la velocidad aumentada del viento y de la oferta de potencia entonces incrementada y, además, puede suministrarse también adicionalmente la potencia adicional solicitada para realizar la regulación primaria. Esto pone de manifiesto que la invención trabaja óptimamente incluso en condiciones inestacionarias.

En la figura 7 se representa la aplicación de la invención en un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica. La figura 7A funciona como referencia y muestra una instalación de energía eólica individual, la figura 7B muestra un parque eólico con 10 instalaciones de energía eólica, la figura 7C muestra un parque eólico con 50 instalaciones de energía eólica y la figura 7D muestra un parque con 240 instalaciones de energía eólica. En el instante $t=60$ segundos se presenta siempre una solicitud de potencia adicional del orden de un 5% de la potencia instalada durante 10 segundos. En la instalación de energía eólica individual apenas se puede reconocer el suministro de esta potencia adicional, ya que el aumento de potencia correspondiente es cubierto por las diferencias de potencia debido a velocidades modificadas del viento. En un parque eólico con diez instalaciones de energía eólica (figura 7B) se promedian parcialmente las variaciones estocásticas de la velocidad del viento, con lo que destaca más claramente la potencia adicional. Esto se refuerza para los parques eólicos con más instalaciones de energía eólica (figura 7C y figura 7D), pudiendo observarse finalmente en la figura 7D que las fluctuaciones estocásticas están prácticamente compensadas gracias al gran número de instalaciones de energía eólica. Por tanto, los parques eólicos grandes en los que se aplica la invención son adecuados de manera excelente para suministrar potencia adicional.

En un parque eólico con un gestor de parque puede estar previsto que la potencia adicional requerida sea distribuida por el gestor de parque a las distintas instalaciones de energía eólica. La distribución del valor teórico de potencia adicional de los parques eólicos sobre las distintas instalaciones de energía eólica se efectúa proporcionalmente a su participación de potencia en la potencia total del parque eólico. Sin embargo, la suma de los momentos de inercia de rotor en todas las instalaciones de energía eólica existentes en el parque eólico puede ser determinada preferiblemente por el gestor del parque y los valores teóricos de potencia adicional de las distintas instalaciones de energía eólica puede determinarse en función de la participación del momento de inercia de rotor de cada instalación de energía eólica individual en relación con la suma de los momentos de inercia de rotor en el parque eólico.

5 En las figuras 8a y b se representan dos ejemplos para diferentes funciones de aumento y disminución para la potencia adicional a alimentar por la instalación de energía eólica en el caso de una perturbación de frecuencia. Estas funciones están implementadas en un módulo de dinámica 45 (véase la figura 2). Dado que se diferencian las funciones de aumento y disminución, éstas están implementadas por separado en un miembro de aumento 46 y un miembro de disminución 47, respectivamente. En el caso de la figura 8a, el miembro de aumento está realizado de modo que, al presentarse una perturbación de la red en el instante 10 s se alimenta adicionalmente una potencia adicional de 10%, concretamente durante 10 segundos. Inmediatamente a continuación interviene el módulo de disminución 47 que elimina la potencia adicional y asegura que al menos un 80% de la potencia alimentada antes de la aparición de la desviación de frecuencia sea alimentado también durante la fase de recuperación, concretamente durante 20 segundos. Convenientemente, el módulo de dinámica 45 puede cooperar para ello con el módulo de gradiente 36 anteriormente descrito.

10 En la figura 8b se muestra otra evolución de la dinámica. En este caso, se diferencian muy claramente el aumento y la disminución. Se ha previsto que inmediatamente después de la aparición de la desviación de frecuencia en instante 10 s el miembro de aumento 46 conmute inmediatamente a una potencia adicional máxima que disminuye después de manera hiperbólica mientras dura todavía la perturbación de frecuencia (hasta aproximadamente el instante 20 s). En este caso, la superficie situada debajo de la curva (hecha reconocible mediante rayado) es una medida de la energía cinética tomada del rotor eólico. Cuando la frecuencia retorna de nuevo lentamente a su valor original al final de la perturbación, el miembro de disminución 47 cuidará nuevamente con una ligera suboscilación de que se alcance el estado original al cabo de otros 30 segundos. Con tal implementación en el módulo de dinámica la instalación de energía eólica se puede comportar frente a la red como un generador síncrono grande de una central eléctrica convencional. Gracias a este aspecto de la invención su buena cualidad de apoyo de la red puede ser transferida a la instalación de energía eólica.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Instalación de energía eólica con un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia (15) para generar potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones (21) y un control de convertidor de frecuencia (25) cooperante con ésta, emitiendo la regulación de número de revoluciones (21) una señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}),
- caracterizada** por que
- 10 está prevista una regulación adicional (3) que presenta una entrada (31) para una potencia adicional y que está concebida para generar a partir de ésta, teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor, una señal de variación de número de revoluciones y emitir ésta como señal de salida que se añade a la señal de número de revoluciones teórico por medio de un miembro de combinación (29).
- 15 2. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada** por que está previsto un miembro de corrección (5) que está concebido para variar parámetros del regulador adicional (3) en función de la potencia adicional reclamada.
3. Instalación de energía eólica según la reivindicación 2, **caracterizada** por que está previsto un estimador de aerodinámica (51) que estima un rendimiento aerodinámico y/o una potencia de la instalación de energía eólica.
- 20 4. Instalación de energía eólica según la reivindicación 3, **caracterizada** por que está previsto también un observador de viento (52) que determina a partir de datos para la potencia y el número de revoluciones una velocidad del viento y la entrega al estimador de aerodinámica (51).
5. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un miembro de supresión (4) que bloquea la regulación adicional (3) durante el funcionamiento bajo plena carga y que coopera preferiblemente con un módulo de arranque (41) que está concebido para sobreexcitar el módulo de sobrepresión (4) en presencia de variaciones de una potencia adicional.
- 25 6. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un módulo de vigilancia de valor límite (6) que está concebido para limitar o desactivar la regulación adicional (3) en función de una vulneración de valor límite, especialmente cuando se sobrepasa un valor límite para un rendimiento aerodinámico, un límite electrotécnico y/o una curva característica límite de par de giro dependiente del número de revoluciones.
- 30 7. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el regulador adicional (3) presenta un miembro de limitación de par de giro que está concebido preferiblemente para limitar la variación del número de revoluciones.
- 35 8. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un módulo de conmutación de curva característica (24) para la regulación de par de giro (21), el cual, en presencia de potencia adicional, conmuta a otra curva característica con mayor par de giro, generándose preferiblemente una señal límite (Qbloqueo) para rebajar una entrega de potencia reactiva, y el cual más preferiblemente, a la finalización de la potencia adicional, es hecho retornar paulatinamente a la curva característica original por medio de un miembro de desvanecimiento (43).
- 40 9. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que está previsto un equipo de determinación de potencia adicional (44) que está concebido para determinar la potencia adicional por medio de una frecuencia medida en la red (9, 99), especialmente por medio de un miembro de curva característica dependiente de la frecuencia.
- 45 10. Instalación de energía eólica según la reivindicación 9, **caracterizada** por que el equipo de determinación de potencia adicional (44) coopera con un módulo de dinámica (45) que determina la potencia adicional preferiblemente a partir de la profundidad y/o el gradiente temporal de una irrupción de la frecuencia en la red (9, 99), concretamente de preferencia por separado para el principio y el final por medio de un miembro de aumento (46) y un miembro de disminución (47) que han implementado preferiblemente funciones diferentes.
- 50 11. Instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el regulador adicional (3) presenta un módulo de gradiente de número de revoluciones (39) que está concebido para fijar, tras la finalización de la potencia adicional, un gradiente mínimo para el aumento de número de revoluciones y preferiblemente un gradiente máximo.
12. Parque eólico con un gestor de parque (8) y varias instalaciones de energía eólica (1, 1'), en el que las instalaciones de energía eólica están provistas cada una de ellas de un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia (15) para generar potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones (21) y un control de convertidor de frecuencia (25) cooperante con ésta, emitiendo la regulación de número de revoluciones (21) una señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}),

caracterizado por que

5 al menos en una parte de las instalaciones de energía eólica (1) está prevista una regulación adicional (3) que presenta una entrada (31) para una potencia adicional y que está concebida para generar a partir de ella, teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor, una señal de variación de número de revoluciones y para entregar ésta como señal de salida que se añade a la señal de número de revoluciones teórico por medio de un miembro de combinación (29), y el gestor de parque (8) presenta un módulo de control de inercia (70) que reparte la potencia adicional solicitada sobre la parte citada de las instalaciones de energía eléctrica (1, 1').

10 13. Parque eólico según la reivindicación 12, **caracterizado** por que el módulo de control de inercia (70) está concebido para repartir uniformemente la potencia adicional sobre las instalaciones de energía eólica en rotación y está concebido especialmente para repartir la potencia adicional sobre las instalaciones de energía eólica en rotación de tal manera que la proporción de la potencia adicional de las distintas instalaciones de energía eólica se determine a partir de la relación de la proporción del momento de inercia del rotor de las distintas instalaciones de energía eólica con respecto a la suma de los momentos de inercia del rotor de las instalaciones de energía eólica en rotación del parque eólico.

15 14. Procedimiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica que comprende un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia (15) para generar potencia eléctrica, una regulación de par de giro (21) y un control de convertidor de frecuencia (25) cooperante con ésta, cuyo procedimiento comprende una operación de emisión de una señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}),

caracterizado por

20 aplicar una señal para una potencia adicional,

determinar y emitir una señal de variación de número de revoluciones teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor y

añadir la señal de variación de número de revoluciones a la señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}).

25 15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado** por que se emplea una instalación de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11.

30 16. Procedimiento de funcionamiento de un parque eólico con un gestor de parque (8) y varias instalaciones de energía eólica (1, 1'), en el que las instalaciones de energía eólica están provistas cada una de ellas de un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por éste, que coopera con un convertidor de frecuencia (15) para generar potencia eléctrica, una regulación de número de revoluciones (21) y un control de convertidor de frecuencia (25) cooperante con ésta, cuyo procedimiento comprende la operación de emisión de una señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}),

caracterizado

en al menos una parte de las instalaciones de energía eólica

aplicar una señal para una potencia adicional,

35 determinar y emitir una señal de variación de número de revoluciones teniendo en cuenta un momento de inercia del rotor, y

añadir la señal de variación de número de revoluciones a la señal de número de revoluciones teórico (n_{ref}), así como

repartir la potencia adicional solicitada sobre esta parte de las instalaciones de energía eólica por medio del gestor de parque (8).

40 17. Procedimiento según la reivindicación 16, **caracterizado** por que se emplea en un parque eólico según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13.

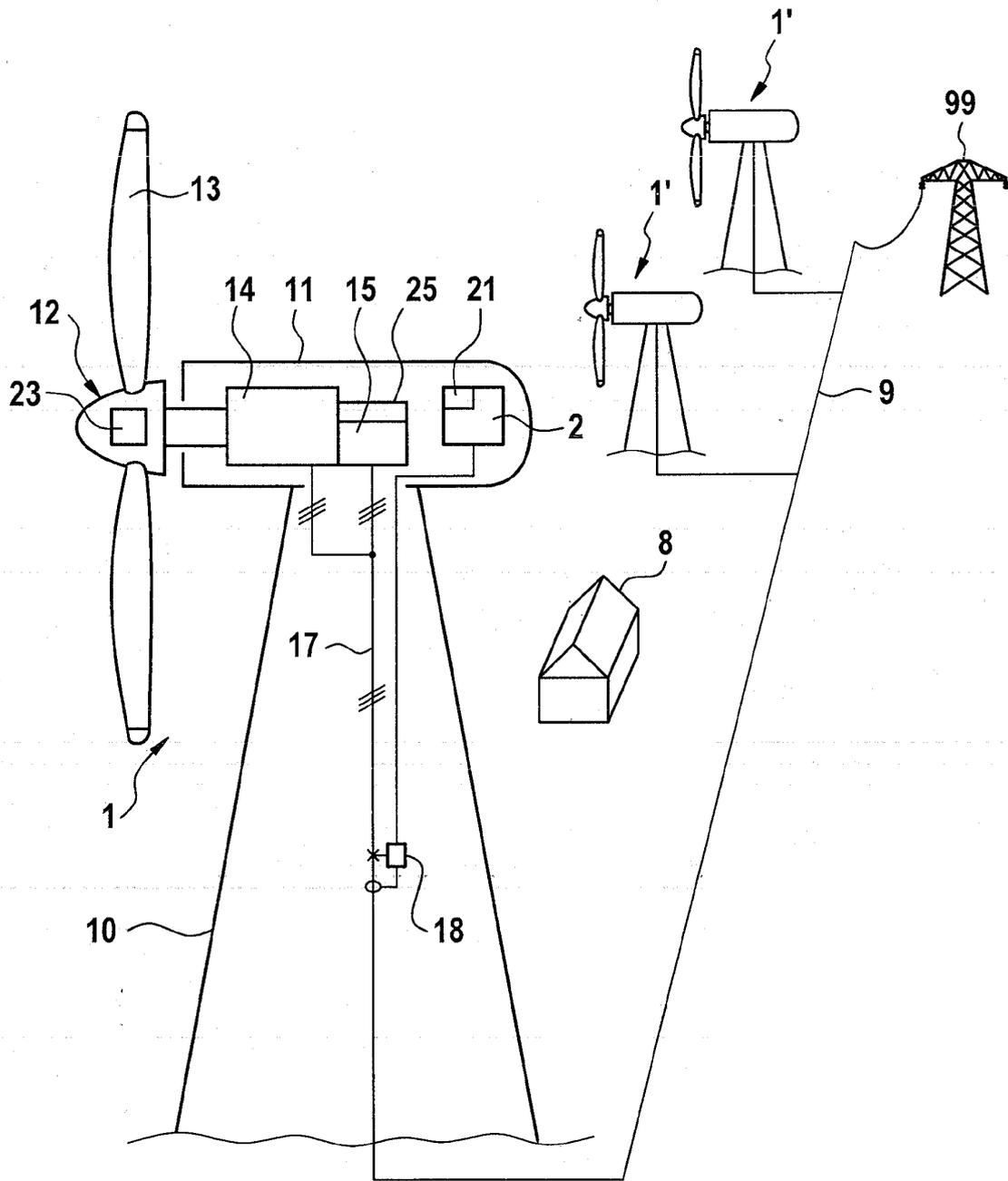


Fig. 1

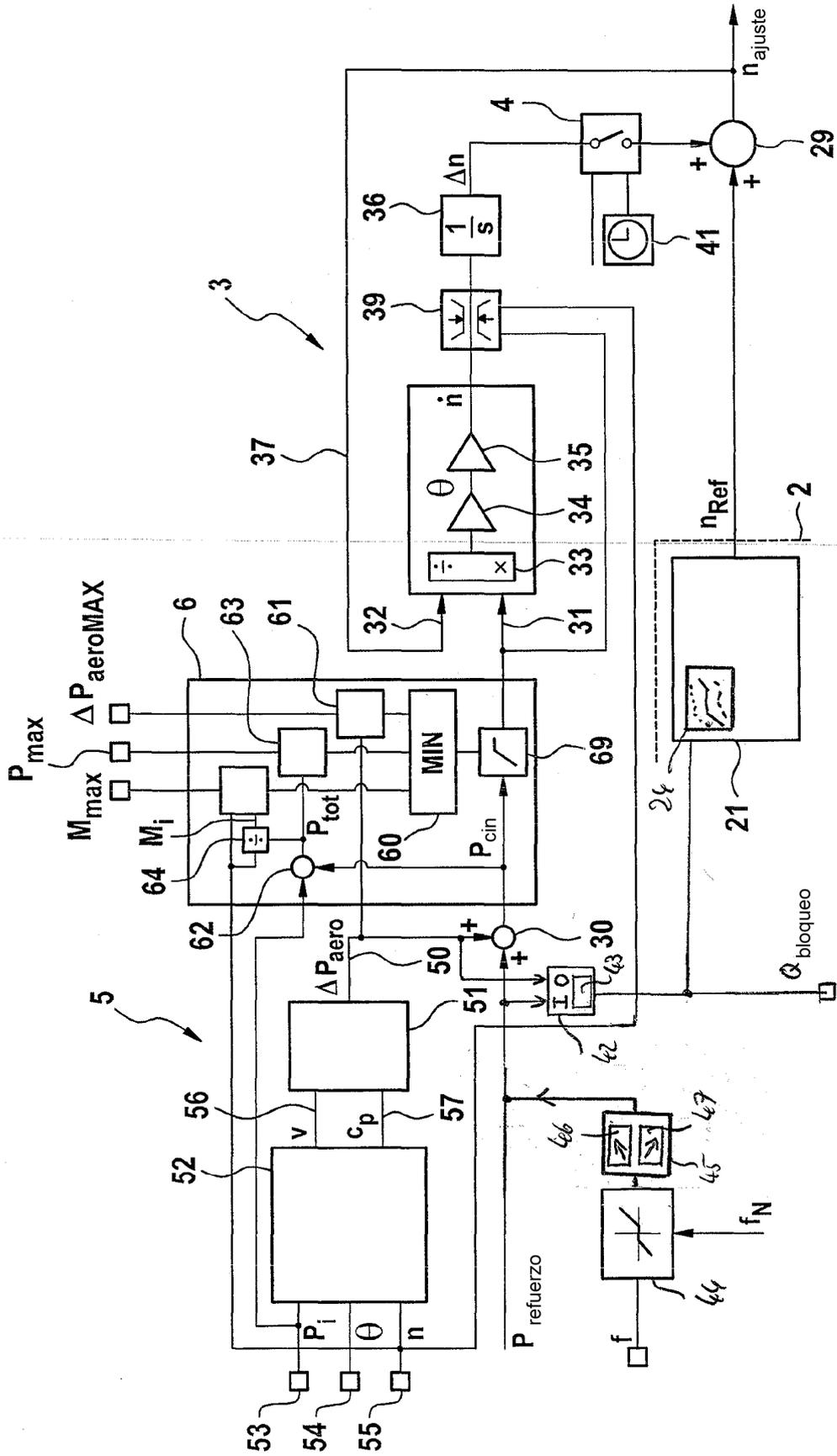


Fig. 2

Fig. 3

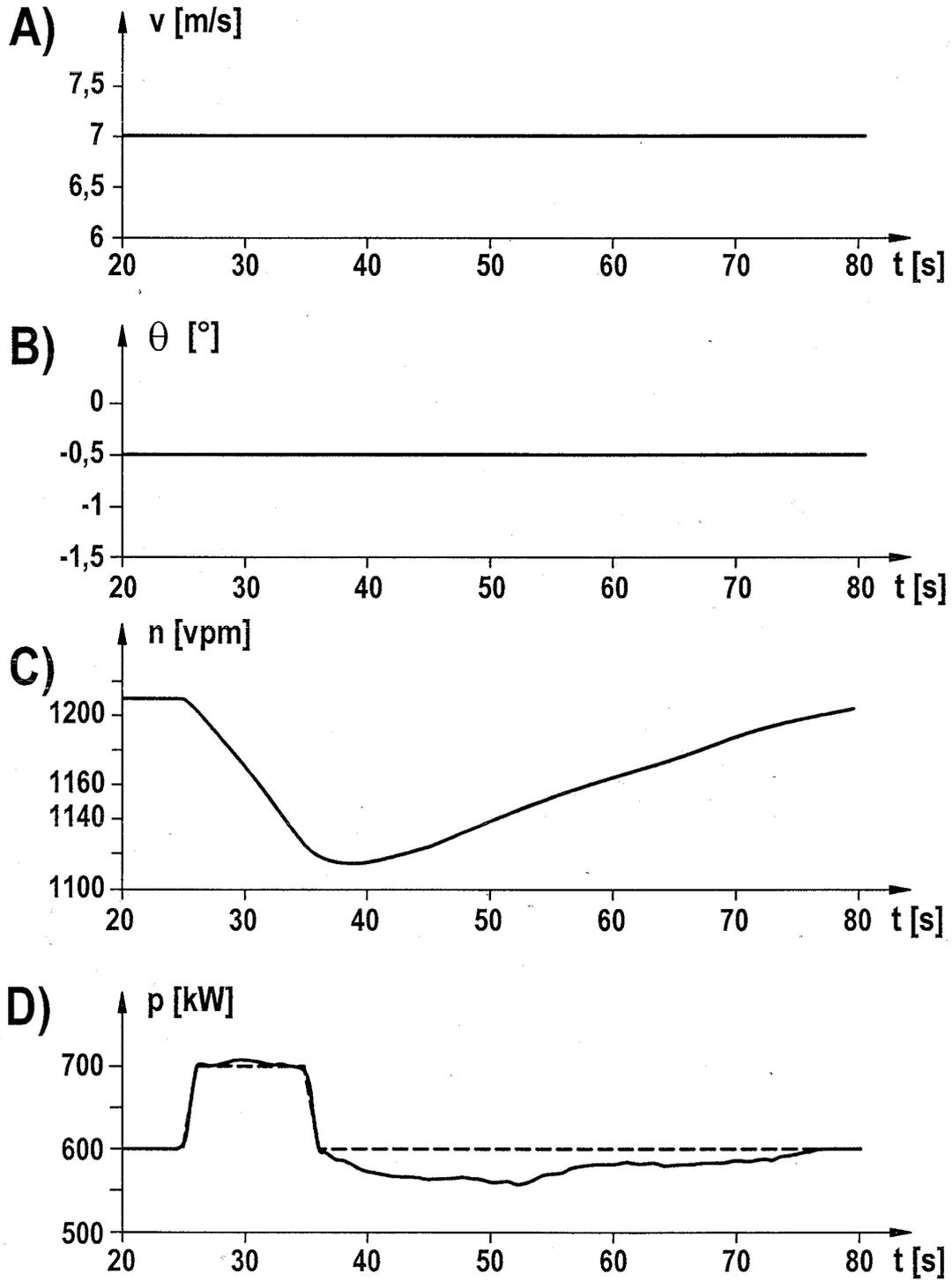


Fig. 4

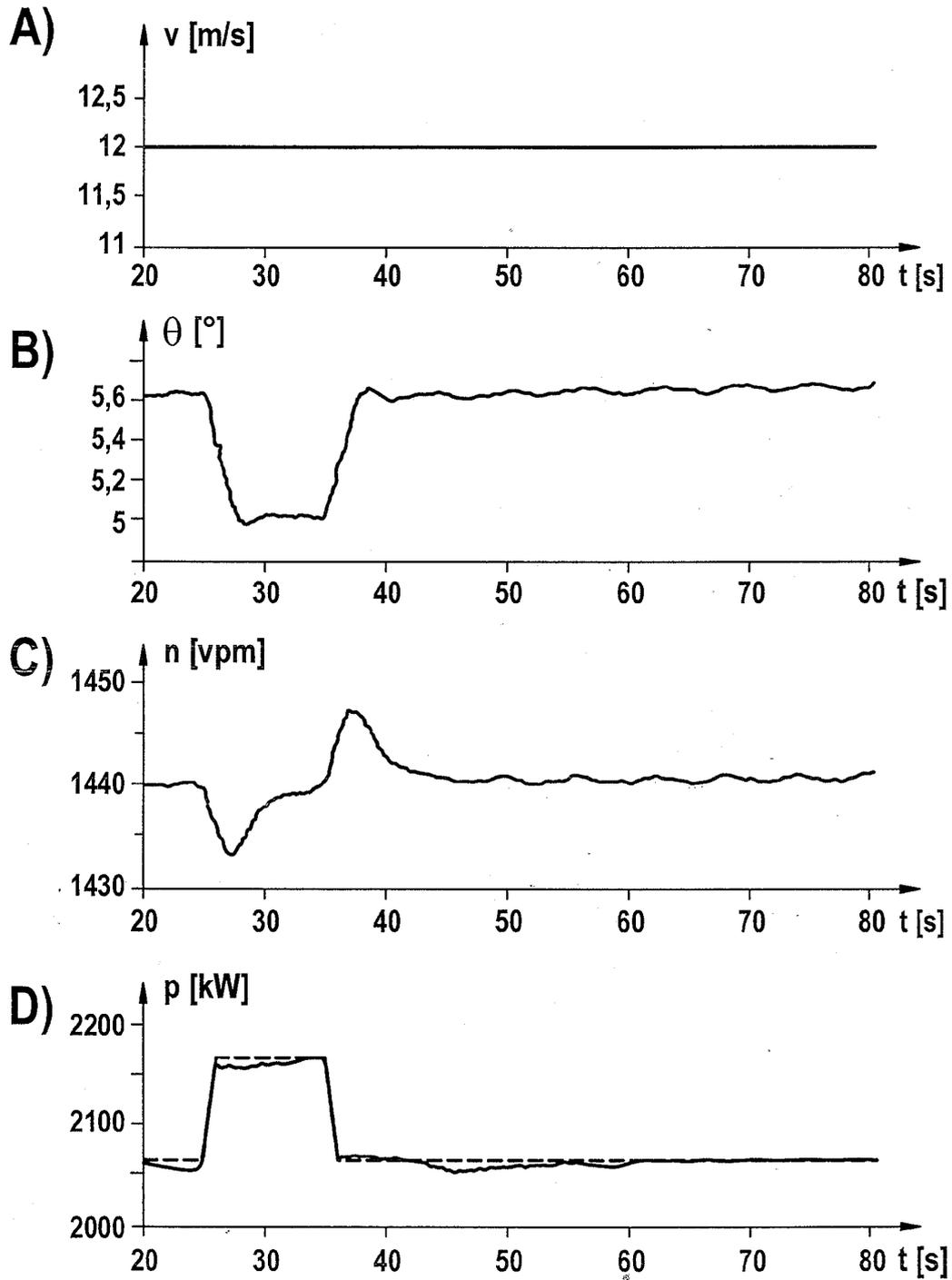


Fig. 5

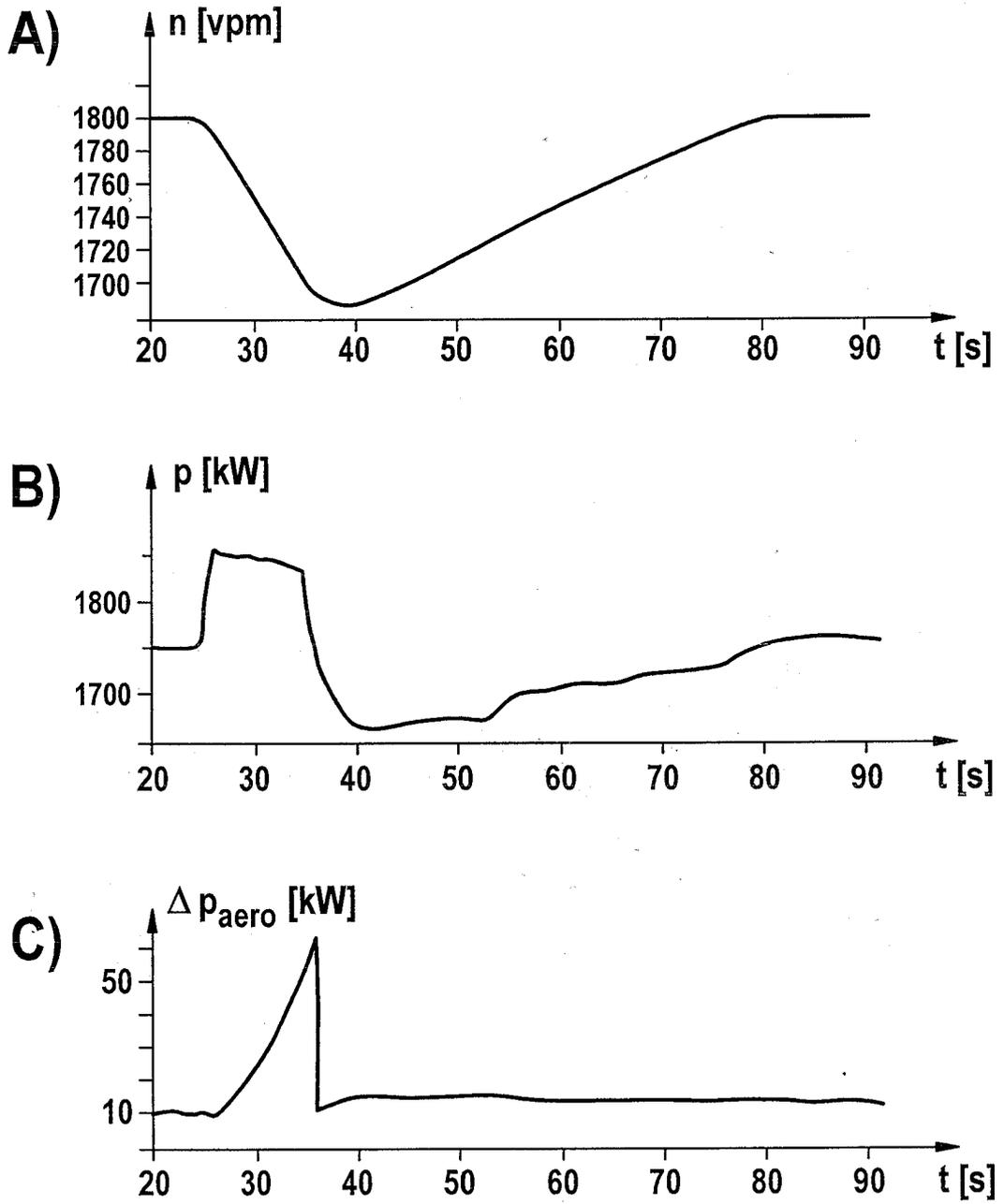


Fig. 6

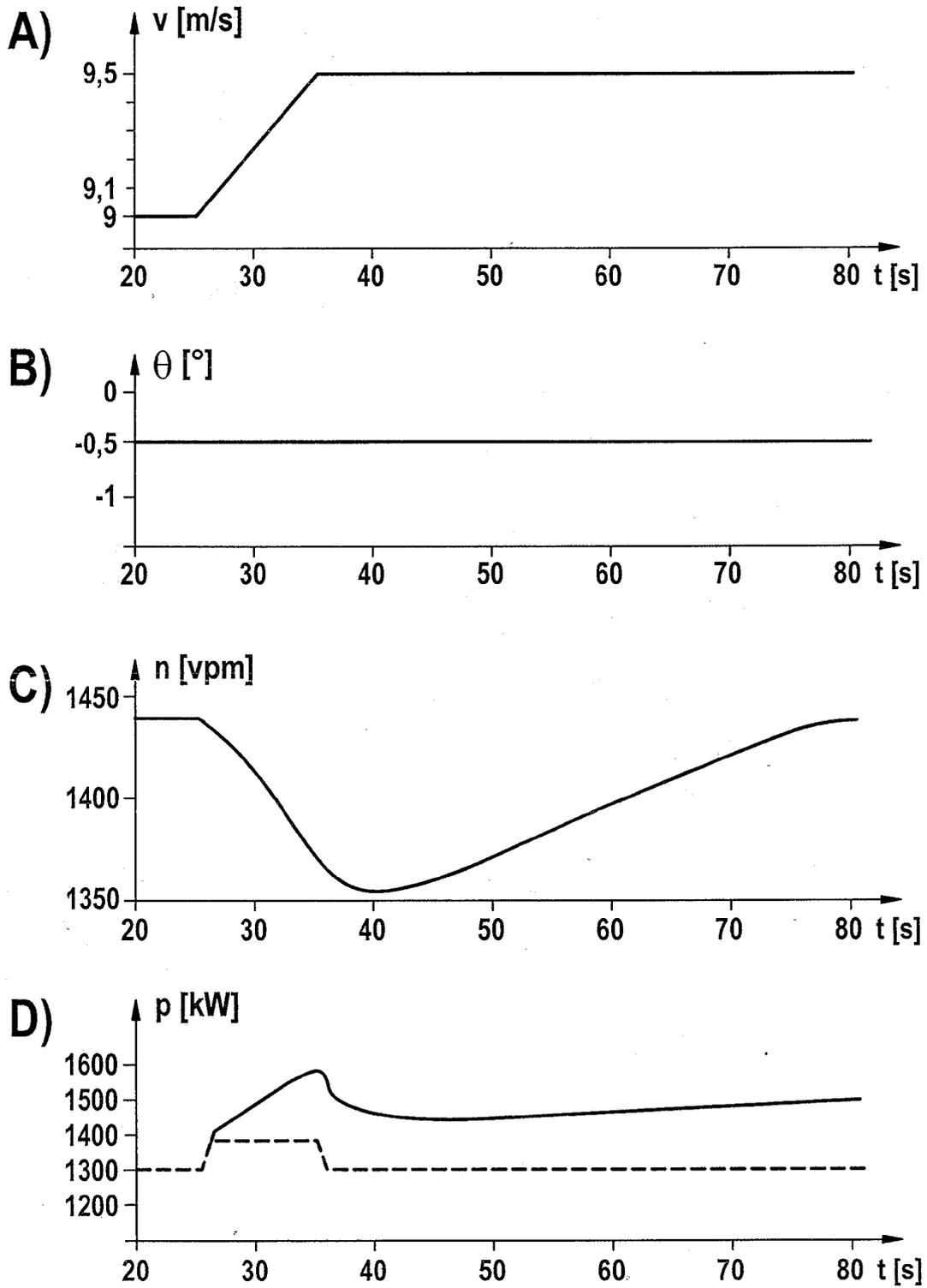
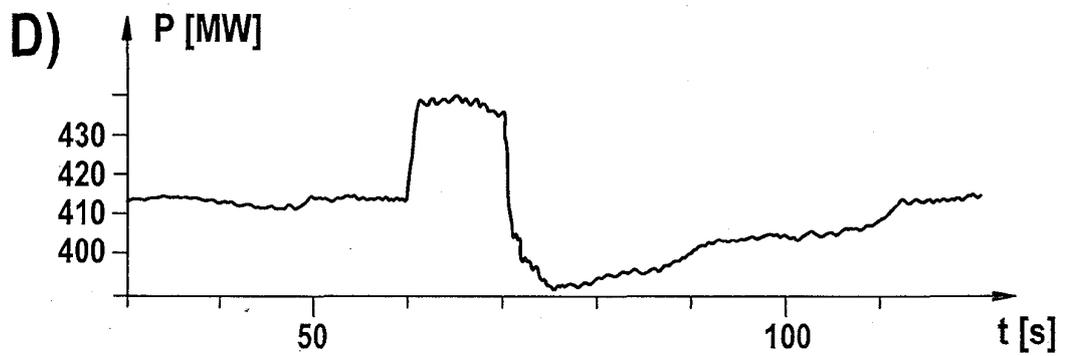
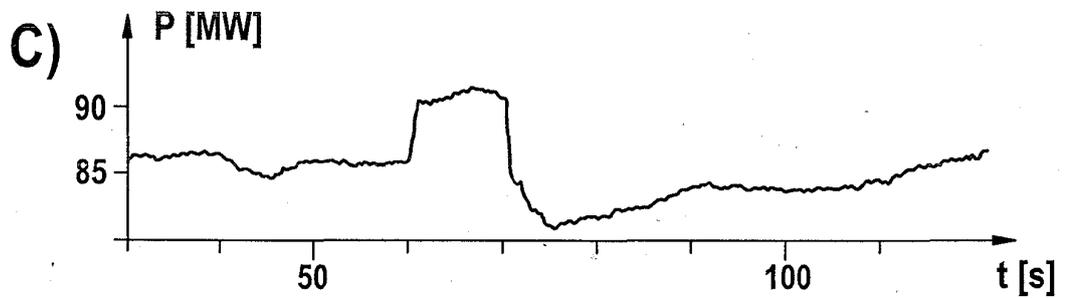
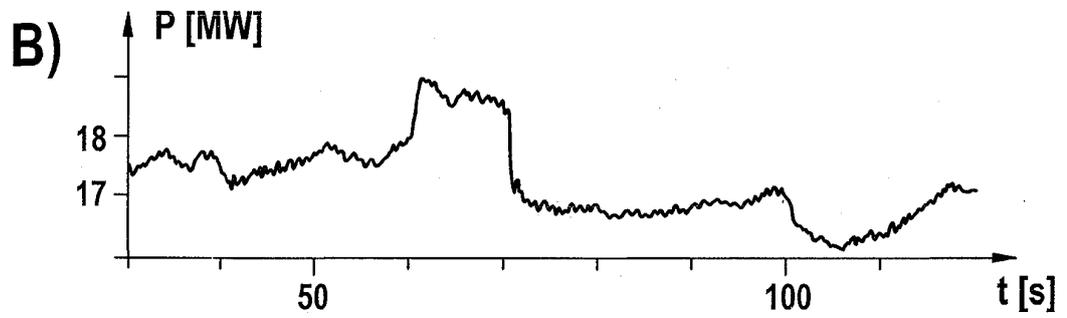
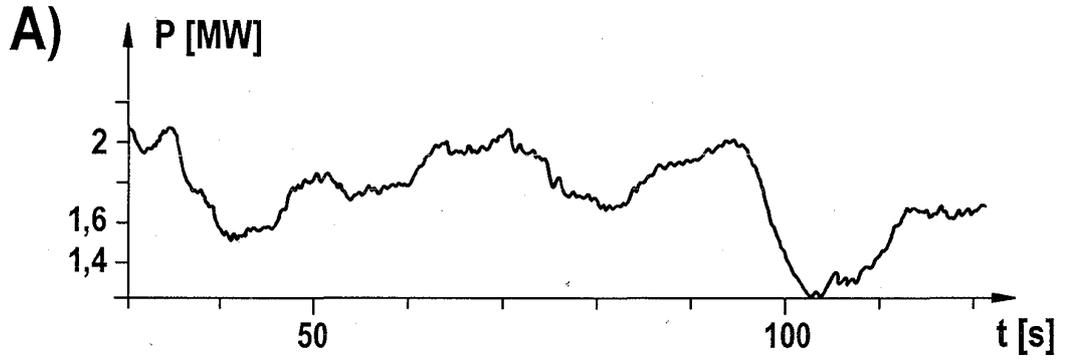
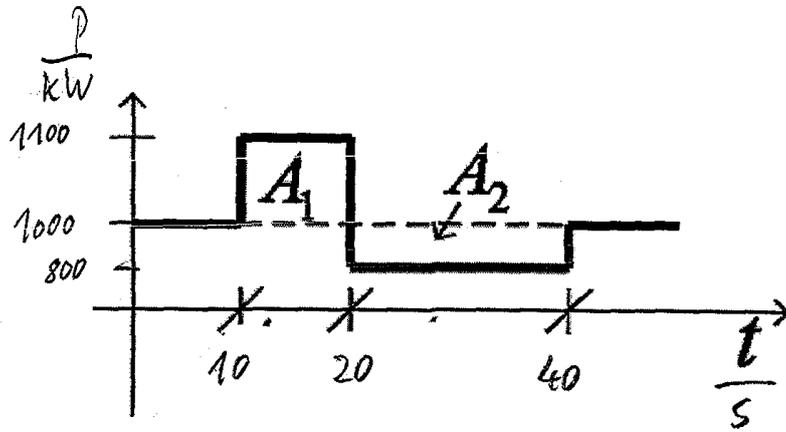
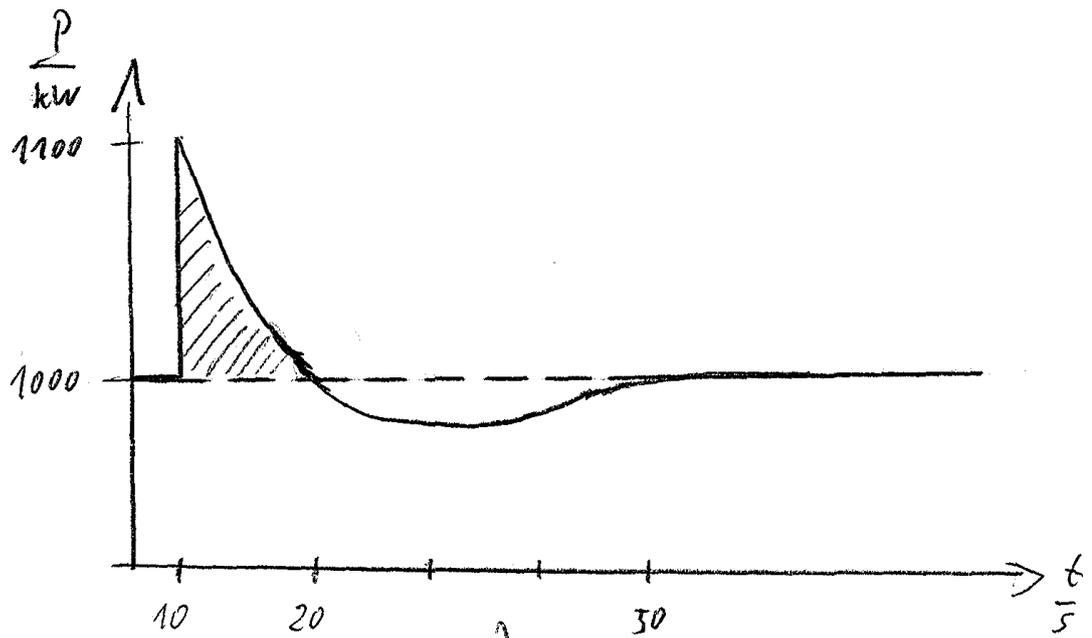


Fig. 7





a)



b)

Fig 8