

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 076**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2013 PCT/EP2013/076687**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14095710**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2013 E 13815448 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2935877**

54 Título: **Aerogenerador y procedimiento para la regulación del momento eléctrico de un aerogenerador en caso de una incidencia en la red**

30 Prioridad:
20.12.2012 DE 102012224067

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.06.2018

73 Titular/es:
**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:
**GEISLER, JENS;
SCHRADER, STEFAN y
FORTMANN, JENS**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 674 076 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

Aerogenerador y procedimiento para la regulación del momento eléctrico de un aerogenerador en caso de una incidencia en la red

5 La invención se refiere a un aerogenerador así como a un procedimiento para la regulación del momento eléctrico de un aerogenerador en caso de una incidencia en la red.

10 En caso de una incidencia en la red vinculada a una caída de tensión el aerogenerador sólo puede suministrar menos potencia a la red que en caso de funcionamiento normal. Sólo con la recuperación de la tensión se restablece la capacidad de admisión de la red. De acuerdo con las exigencias del operador de la red es preciso que los aerogeneradores vuelvan a suministrar en breve tiempo toda la potencia después de la recuperación de la tensión. Sin embargo, los cambios bruscos en la carga eléctrica van acompañados por elevados esfuerzos mecánicos para el aerogenerador.

15 Por esta razón se tiene que encontrar un compromiso para el funcionamiento del aerogenerador en caso de una incidencia en la red que, por una parte, satisfaga las exigencias del operador de la red y que, por otra parte, mantenga las cargas para el aerogenerador dentro de límites aceptables. Por el documento DE 10 2007 060 958 se conoce un procedimiento en el que el regulador, que regula el momento eléctrico en dependencia del número de revoluciones, se inicializa después de una incidencia en la red con un valor predeterminado. Después, el regulador puede reconducir el aerogenerador con suavidad desde un punto de salida definido al funcionamiento normal. Dado que en este procedimiento el aerogenerador se encuentra después de la incidencia en la red de nuevo en estado de regulación libre, depende en gran medida de las condiciones externas cuánto tiempo se tarda en recuperar el funcionamiento normal. A la vista de las normas cada vez más estrictas de los operadores de red pasa en ocasiones un tiempo demasiado largo antes de que el aerogenerador vuelva a suministrar la potencia completa.

20

25 Partiendo del estado de la técnica antes mencionado, la invención se plantea la tarea de presentar un aerogenerador y un procedimiento para la regulación del momento de giro del aerogenerador con los que, por una parte, el aerogenerador vuelva después de una incidencia en la red rápidamente al suministro de energía completo y, por otra parte, las cargas para el aerogenerador se mantengan dentro de unos límites. La tarea se resuelve con las características de las reivindicaciones independientes. Otras formas de realización ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.

30 En el procedimiento según la invención se detecta una caída de tensión fuera de los límites del funcionamiento normal. Se utiliza un regulador de momentos que determina un valor objetivo para el momento eléctrico del aerogenerador. Se inicializa una rampa de momentos y el valor objetivo del regulador de momentos se compara con la rampa de momentos. Como valor teórico del momento se elige el más bajo de los dos valores y el momento eléctrico del aerogenerador se ajusta en base al valor teórico del momento.

35 En primer lugar se van a explicar algunos términos. Como rampa de momentos se define un valor de comparación variable en el tiempo referido al momento eléctrico del aerogenerador que, partiendo de un valor inicial, va aumentando. Con la inicialización la rampa de momentos se ajusta al valor inicial y la variación en el tiempo se pone en marcha.

40 Cuando el momento eléctrico del aerogenerador se ajusta "en base" a un valor teórico de momento es posible, pero no obligatorio, que el valor realmente predeterminado para el momento eléctrico del aerogenerador corresponda directamente al valor teórico de momento determinado según la invención. En muchos casos el valor teórico de momento determinado por el procedimiento según la invención se combina con otras variables para determinar el valor prefijado al que se ajusta el momento eléctrico realmente al final.

45 El regulador de momentos puede determinar el valor objetivo en dependencia de la diferencia entre un número de revoluciones teórico y un número de revoluciones real del aerogenerador. En lugar de procesar los valores del número de revoluciones directamente, el regulador de momentos también puede depender de variables equivalentes al número de revoluciones, es decir, de variables que permiten sacar conclusiones respecto al número de revoluciones.

50 La invención abre la posibilidad de emplear después de la incidencia en la red un regulador que reconduzca el aerogenerador dentro de un tiempo muy breve al suministro de potencia completo. Por lo tanto se pueden cumplir las exigencias de los operadores de red con vistas a la recuperación del suministro de potencia. El problema de que estos reguladores tan rápidos cambien el valor predeterminado en ocasiones de manera tan brusca de manera que el aerogenerador o componentes del aerogenerador, en concreto el tren de transmisión mecánico del aerogenerador, empiece a vibrar se evita previendo hacia arriba una limitación por medio de la rampa de momentos. Por consiguiente, gracias a la rampa de momentos se excluye la posibilidad de cambios bruscos hacia arriba (o sea en dirección de un incremento del momento eléctrico) por medio de la rampa de momentos. En cambio, hacia abajo el regulador tiene la libertad de movimiento necesaria. Por lo tanto, el regulador de momentos es libre de reducir el momento eléctrico en el supuesto de que mientras tanto el viento haya amainado. Con la invención se propone así una estrategia de regulación que compense ventajosamente exigencias diferentes y a veces contradictorias tras una incidencia en la red.

55

La rampa de momentos se diseña preferiblemente de modo que suba con un aumento constante desde un valor inicial hasta un valor final. La subida puede calcularse, por ejemplo, de manera que el tiempo entre el valor inicial y el valor final tenga una duración de 0,1 s a 1 s, preferiblemente de 0,2 s a 0,5 s. El valor inicial puede presentar una relación determinada respecto a la tensión más baja registrada durante la incidencia. El valor inicial puede ser, por ejemplo, de entre un 0 % y un 80 % referido al momento eléctrico existente antes de la incidencia. El valor final puede variar, por ejemplo, entre un 80 % del momento eléctrico antes de la incidencia y el valor máximo del momento eléctrico previsto para el aerogenerador en cuestión. El valor final es típicamente el momento nominal (100 %) del aerogenerador, de manera que al final de la rampa la instalación vuelve a recuperar su funcionamiento normal (ilimitado). Cuando se alcanza el valor final, la rampa de momentos se puede convertir en una horizontal correspondiente al valor final. También es posible que después de alcanzar el valor final el aerogenerador pase de nuevo al funcionamiento normal.

En una forma de realización ventajosa el valor inicial de la rampa de momentos se determina en dependencia del desarrollo de la incidencia en la red. La rampa de momentos se puede adaptar así a las circunstancias durante la incidencia en la red concreta. El valor inicial se puede ajustar, por ejemplo, en dependencia del valor mínimo del momento eléctrico registrado durante la incidencia en la red. Este valor mínimo se puede emplear directamente como valor inicial. El valor inicial se puede ajustar además en dependencia de la duración de la incidencia.

Adicional o alternativamente se puede determinar la subida de la rampa de momentos en función del desarrollo de la incidencia en la red. La subida de la rampa de momentos también se puede ajustar en dependencia de la duración de la incidencia y/o en dependencia del valor mínimo del momento eléctrico registrado durante la incidencia en la red.

En el regulador de momentos se procesa una diferencia entre un número de revoluciones teórico y un número de revoluciones real como variable de entrada. La variable de salida del regulador de momentos constituye un valor objetivo para el momento eléctrico del aerogenerador. Dado que se trata de un regulador rápido, el valor objetivo puede cambiar, en caso de variables de entrada correspondientes, de manera brusca, lo que supone el riesgo de vibraciones en el supuesto de que el valor objetivo se transmitiera directamente como valor predeterminado a un convertidor. Al comparar el valor objetivo con la rampa de momentos y elegirse el más bajo de los dos valores como valor teórico de momento, la rampa de momentos limita el regulador de momentos hacia arriba.

En el caso del regulador de momentos se puede tratar de un regulador con creciente respuesta gradual, lo que significa que la variable de salida va subiendo a lo largo del tiempo si la variable de entrada se mantiene constante. La forma concreta de realización del regulador de momentos carece de importancia para la invención. El regulador de momentos comprende preferiblemente un clásico componente I que integra la variable de entrada linealmente.

No se puede excluir que el regulador de momentos presente adicionalmente un componente P, es decir, un componente de la variable de salida proporcional a la variable de entrada. Sin embargo, en una forma de realización ventajosa el regulador de momentos es un regulador I puro sin más componentes. Precisamente este componente I puede causar tras la incidencia en la red desviaciones especialmente fuertes al sumar durante un espacio de tiempo una diferencia grande entre el número de revoluciones real y el número de revoluciones teórico. Por esta razón se ha podido comprobar que resulta especialmente ventajoso que la rampa de momentos se refiera precisamente a un componente I del regulador.

Una rampa de momentos referida a un componente P del regulador también puede ser objeto del procedimiento según la invención. Si el regulador comprende tanto un componente I como un componente P, se puede prever para el componente I una primera rampa de momentos y para el componente P una segunda rampa de momentos.

Puesto que durante la incidencia en la red predominan condiciones incontrolables es conveniente inicializar la variable de salida del regulador de momentos. El valor objetivo, que es la variable de salida del regulador de momentos, se puede poner, por ejemplo, a cero o al momento eléctrico más bajo que todavía se haya podido aplicar durante la incidencia en la red. No obstante, en este caso pasa cierto tiempo antes de que el componente I se integre de manera suficiente para ser efectivo. Por esta razón el valor objetivo se inicializa preferiblemente a un valor mayor que este momento eléctrico más bajo. En una forma de realización ventajosa el valor objetivo se inicializa al valor registrado antes de producirse la incidencia, con lo que el valor antes de producirse la incidencia prácticamente se congela. La inicialización se puede llevar a cabo en el momento en el que se produzca la incidencia.

En una forma de realización preferida la inicialización del valor objetivo se produce en dependencia de la diferencia entre el número de revoluciones teórico y el número de revoluciones real antes de la incidencia en la red. Esto tiene la ventaja de que todavía se tiene en cuenta el desarrollo antes de la incidencia en la red. Generalmente, el desarrollo antes de la incidencia en la red será de modo que la tensión descienda, partiendo del 100 %, hasta el límite inferior del funcionamiento normal (por ejemplo 80 %). Por consiguiente se ha suministrado menos energía eléctrica a la red, por lo que también se ha tenido que reducir de forma correspondiente el momento eléctrico. La consecuencia es un aumento del número de revoluciones que el regulador de momentos integra, dado que no es posible contrarrestar la aceleración por medio de un momento eléctrico más alto. Si el comienzo de la incidencia en la red se define como el momento en el que la tensión desciende por debajo del límite inferior del funcionamiento normal, el regulador de momentos se puede inicializar, por ejemplo, al valor objetivo registrado en dicho momento.

Puesto que durante la incidencia en la red no es posible controlar el aerogenerador de manera segura, se puede interrumpir el funcionamiento del regulador de momentos durante la incidencia en la red. El valor objetivo ya no se

determina en este caso como en el funcionamiento normal por medio de una diferencia entre el valor real y el valor teórico de la variable de regulación, sino de otra forma. El valor objetivo se puede congelar, por ejemplo, con el valor registrado antes de producirse la incidencia en la red, o el valor objetivo se inicializa en un momento apropiado, es decir, se fija en un valor objetivo determinado de otra manera. Después de la activación el regulador de momentos funciona normalmente, por lo que el valor objetivo se determina por medio de una diferencia entre el valor real y el valor teórico de la variable de regulación.

La activación del regulador de momentos se puede llevar a cabo una vez finalizada la incidencia en la red. En el mismo momento se puede producir la inicialización del regulador de momentos. El final de la incidencia en la red se puede definir, por ejemplo, de manera que la tensión vuelva a estar por encima del límite inferior del funcionamiento normal. Con preferencia la activación del regulador de momentos y de la rampa de momentos se produce simultáneamente con la superación de este límite. La inicialización también se puede llevar a cabo con al superación del límite. La activación del regulador de momentos también se puede producir entre el comienzo y el final de la incidencia en la red.

También es posible que el regulador de momentos ya se active antes de la incidencia en la red, por ejemplo en el momento en el que el aerogenerador se haya puesto en marcha por última vez desde la parada. Durante la incidencia en la red el regulador de momentos puede seguir funcionando, de modo que el valor objetivo se siga determinando en dependencia de una diferencia entre el valor real y el valor teórico de la variante de regulación. A la vista de las condiciones extraordinarias durante la incidencia en la red se observa con frecuencia que se produce una diferencia importante entre el valor objetivo y el valor real de la variante de regulación. Sin embargo, esto se puede aceptar dado que una vez finalizada la incidencia en la red el valor teórico del momento se conduce de por sí a lo largo de la rampa de momentos. Por consiguiente, las grandes diferencias del valor objetivo hacia arriba no incluyen directamente en el valor teórico del momento. Todas las posibilidades mencionadas en relación con la activación del regulador de momentos están incluidas en el funcionamiento según la invención del regulador de momentos.

Se ha visto que el resultado de regulación se puede mejorar todavía más si el valor teórico del momento según la invención resultante del regulador de momentos conducido a lo largo de la rampa de momentos se junta con la variante de salida de un regulador adicional para determinar el valor predeterminado real para el momento eléctrico. El regulador adicional que comprende un componente P consiste preferiblemente en un regulador P puro. Componente P significa que la variable de salida es proporcional a la variable de entrada. La variable de entrada es preferiblemente la diferencia entre el número de revoluciones teórico y el número de revoluciones real del aerogenerador. La variable de salida del regulador adicional y el valor teórico del momento se pueden juntar, por ejemplo, por medio de un sumador. El regulador adicional se puede activar simultáneamente con el regulador de momentos según la invención. Con la activación la variable de salida del regulador adicional se puede inicializar en cero. El regulador de momentos y el regulador adicional se pueden agrupar en una unidad constructiva.

Para aproximar el resultado de regulación todavía más al desarrollo ideal el regulador adicional puede estar provisto de un elemento corrector que proporciona una variable de salida que depende de la diferencia entre el momento eléctrico antes de producirse la incidencia en la red y del valor mínimo del momento eléctrico durante la incidencia en la red. El elemento corrector se desactiva preferiblemente después de un espacio de tiempo predeterminado contado desde el final de la incidencia en la red. El espacio de tiempo puede ser, por ejemplo, de entre 1 s y 4 s.

En el marco de la invención es posible emplear después de la incidencia en la red un regulador de momentos y/o un regulador adicional diseñados especialmente para el caso de una incidencia. Sin embargo, resulta más conveniente que el regulador de momentos y/o el regulador adicional sean, dejando a un lado las modificaciones según la invención, los mismos con los que se había influido en el momento eléctrico del aerogenerador antes de producirse la incidencia en la red. Especialmente la constante de tiempo del regulador de momentos se puede mantener sin variaciones.

La rampa de momentos según la invención tiene que impedir especialmente que un proceso de vibración del tren de transmisión del aerogenerador, de por sí en marcha, se incremente debido a una variación brusca del momento eléctrico. En cambio, una variación brusca del momento eléctrico puede ser absolutamente deseable si con la misma se puede contrarrestar el proceso de vibración, es decir, si la vibración se atenúa. En este sentido interesa especialmente la primera subida de la vibración después de producirse la incidencia en la red. Dado que durante la incidencia en la red se suprime la carga eléctrica, se sabe en qué dirección vibra el tren de transmisión en esta fase. Un aumento brusco del momento eléctrico en esta fase provocará una atenuación de la vibración.

Un aspecto de la invención prevé, por lo tanto, esperar después de producirse la incidencia en la red durante un espacio de tiempo predeterminado antes de activar la regulación de momentos antivibratoria. El espacio de tiempo predeterminado depende preferiblemente de la duración de la subida de la vibración del tren de transmisión y, en especial, no es más largo que esta duración. El espacio de tiempo puede ser, por ejemplo, de entre 100 ms y 200 ms, preferiblemente de entre 120 ms y 160 ms. Esto corresponde a una subida de la vibración del tren de transmisión en un aerogenerador de mayor tamaño. La idea de inactivar al principio una barrera prevista para el regulador de momentos después del final de la incidencia en la red tiene sentido inventivo propio, incluso sin que se active el regulador de momentos según la invención y la rampa de momentos y sin que se realice una comparación entre ambos.

Incluso después de la activación del regulador de momentos se puede influir todavía en las vibraciones del tren de transmisión con el procedimiento según la invención, Para ello se puede emplear un módulo de atenuación existente de por sí para el funcionamiento normal, que emite una señal de control opuesta a la vibración del tren de transmisión. La señal de control se puede juntar con el valor teórico del momento determinado según la invención para determinar el valor predeterminado real para el momento eléctrico. Para la combinación se puede emplear, por ejemplo, un sumador. La amplificación de la señal de control frente al funcionamiento normal se puede aumentar en al menos el factor 2, preferiblemente en al menos el factor 5, con especial preferencia en al menos en factor 8. Se puede prever un elemento de barrera para la señal de control a fin de garantizar que la señal de control se mantenga dentro del rango admisible. La barrera inferior del elemento de barrera puede ser, por ejemplo, del 0 % y la barrera superior del 100 % del momento eléctrico admisible para el aerogenerador.

Para atenuar las vibraciones del tren de transmisión se pueden utilizar especialmente las primeras dos semiondas tras el final de la incidencia en la red. Después el módulo de atenuación puede funcionar de nuevo con un factor de amplificación normal. El espacio de tiempo dentro del cual es activa la mayor amplificación después del final de la incidencia en la red puede oscilar, por ejemplo, entre 0,2 s y 0,8 s. Una vez transcurrido el espacio de tiempo se puede desactivar la amplificación mayor. La idea de considerar el módulo de atenuación después del final de la incidencia en la red con un factor de amplificación más alto tiene sentido inventivo propio, incluso sin activar el regulador de momentos según la invención y la rampa de momentos y sin realizar una comparación entre ambos.

Cuando el valor teórico del momento o el valor predeterminado real para el momento eléctrico se determinan por el procedimiento según la invención, es posible que entre una serie de variables de entrada diferentes que no se puedan combinar con facilidad. Para mantener la regulación, a pesar de ello, de forma segura dentro del rango admisible se puede prever un limitador para que defina un rango admisible para el momento eléctrico. Si el valor teórico del momento es más alto que el valor límite superior, el valor teórico del momento se fija en el valor límite superior. Si el valor teórico del momento es más bajo que el valor límite inferior, el valor teórico del momento se fija en el valor límite inferior. El limitador se aplica preferiblemente como último paso al valor teórico del momento, de manera que tras el limitador resulte el valor predeterminado real para el momento eléctrico.

El valor límite inferior puede corresponder, por ejemplo, al valor mínimo del momento eléctrico registrado durante la incidencia. El valor límite superior puede corresponder, por ejemplo, al 110 % del momento eléctrico registrado antes de producirse la incidencia en la red. El limitador actúa preferiblemente sólo dentro de un espacio de tiempo predeterminado después del final de la incidencia en la red. El límite inferior del limitador se puede anular antes que el límite superior. El espacio de tiempo dentro del cual se mantiene el límite superior debería elegirse de modo que los procesos transitorios hayan disminuido. El espacio de tiempo para el límite superior puede ser, por ejemplo, de entre 3 s y 8 s. En el caso del límite inferior hay que tener en cuenta que el regulador debe tener la libertad de regular el momento eléctrico hacia abajo si el viento amaina. El espacio de tiempo para el límite inferior es, por lo tanto, preferiblemente inferior a los 2 s, con especial preferencia inferior a 1 s.

La invención se refiere además a un aerogenerador con un detector de incidencias en la red diseñado para emitir una señal en caso de producirse una incidencia en la red. Se prevé un sistema de control diseñado para inicializar, al producirse una incidencia en la red, una rampa de momentos. El aerogenerador comprende además un regulador de momentos que determina un valor objetivo para el momento eléctrico del aerogenerador. El valor objetivo y la rampa de momentos se aportan a un elemento mínimo que emite el más bajo de los dos valores como valor teórico del momento. Un convertidor se concibe para ajustar el momento eléctrico del aerogenerador en base al valor teórico del momento. El aerogenerador se puede perfeccionar con otras características que se han descrito con referencia al procedimiento según la invención. El sistema de control se diseña especialmente de manera que active el regulador de momentos antes del comienzo de la incidencia en la red, entre el comienzo y el final de la incidencia en la red o después del final de la incidencia en la red.

La invención se describe a continuación a modo de ejemplo con referencia a los dibujos que se acompañan y por medio de formas de realización ventajosas. Se muestra en la:

Figura 1 una representación esquemática de un aerogenerador según la invención;

Figura 2 un diagrama de conjunto de una forma de realización de un regulador del aerogenerador según la invención;

Figura 3 una comparación del resultado del regulador del procedimiento según la invención con un procedimiento conforme al estado de la técnica;

Figura 4 un diagrama de conjunto de otra forma de realización de un regulador según la invención;

Figura 5 una comparación del resultado del regulador en caso de dos incidencias en la red distintas y

Figura 6 un diagrama de conjunto de otra forma de realización de un regulador según la invención.

En un aerogenerador según la invención un rotor 14 se orienta en dirección del viento y el viento lo hace girar. Con el engranaje 15 la rotación se transmite a un número de revoluciones más alto, formando el árbol de salida del engranaje 15 el árbol de entrada de un generador 16. A través de un convertidor 17 la energía eléctrica se conduce a un transformador 18 que transforma la energía eléctrica en una tensión más alta y la entrega a una red de corriente eléctrica no representada.

El aerogenerador comprende un sistema de control 19 que durante el funcionamiento normal del aerogenerador regula el momento eléctrico del aerogenerador. El sistema de control 19 comprende con esta finalidad un regulador 21 que a través de una línea de control 22 transmite valores predeterminados al convertidor 17, conforme a los cuales el convertidor 17 ajusta el momento eléctrico que actúa sobre el tren de transmisión. El regulador 21 contiene una memoria 23 en la que se almacenan sendos números de revoluciones teóricos para los distintos estados de funcionamiento del aerogenerador. Para la determinación del número de revoluciones real del tren de transmisión del aerogenerador el sistema de control 19 comprende un sensor de número de revoluciones 20.

Como variable de entrada el regulador 21 emplea la diferencia entre el número de revoluciones real y el número de revoluciones teórico. Esta diferencia se aporta a un elemento P y a un elemento I del regulador que a partir de la diferencia determinan respectivamente una variable de salida. Los valores de salida se juntan después de una ponderación apropiada a través de un sumador y se aportan después al convertidor 17 como valor predeterminado para el momento eléctrico.

Según la invención el regulador 21 se emplea también para la regulación del momento de giro tras una incidencia en la red. Esto requiere algunos cambios en el regulador 21 que se representan en el diagrama de conjunto de la figura 2. La diferencia entre el número de revoluciones real del sensor de número revoluciones 20 y el número de revoluciones teórico de la memoria 23 se determina con ayuda de un elemento de sustracción 24. El valor de salida del elemento de sustracción 24 se aporta a través de un interruptor 25 al elemento I y al elemento P del regulador. El componente I comprende un amplificador 26 del que resulta el factor de amplificación K_i del componente I, así como un integrador 27 que suma la diferencia entre real y teórico a través del tiempo.

Durante el funcionamiento normal del aerogenerador el valor de salida del integrador 27 se aporta directamente a un sumador 28 en el que se produce la combinación con el valor de salida del elemento P. El valor de salida del elemento P resulta del amplificador 29 que establece el factor de amplificación K_p del elemento P.

Para la regulación del momento de giro a continuación de una incidencia en la red el regulador 19 se dota de un detector de incidencias en la red 30. El detector de incidencias en la red 30 mide la tensión en la salida del convertidor 17 y emite una señal de error si la tensión desciende por debajo del límite inferior del funcionamiento normal. El límite inferior del funcionamiento normal se puede fijar, por ejemplo, en un 80 % de la tensión nominal.

La señal de error del detector de incidencias en la red 30 se conduce al interruptor 25 así como a una rampa de momentos 31. El interruptor 25 se cambia cuando la señal de error se registra en la entrada, lo que da lugar a que la variable de entrada del elemento P y del elemento I se pongan forzosamente a cero. Como consecuencia, el valor de salida en el elemento P también es igual a cero. En el elemento I el valor de salida se congela, por lo tanto se mantiene constante el valor registrado en el momento de producirse la señal de error. De momento no pasa nada en la rampa de momentos 31, cuando la señal de error se registra en la entrada.

Cuando la tensión vuelve después del final de la incidencia en la red, lo que en muchos casos ocurre en fracciones de segundo, la tensión vuelve a superar el límite inferior del funcionamiento normal y el detector de incidencias en la red 30 ya no emite ninguna señal de error. Con la supresión de la señal de error el interruptor 25 recupera su estado original, de modo que la diferencia entre el número de revoluciones real y el número de revoluciones teórico determinado por medio del elemento de sustracción 24 vuelve a formar la variable de entrada para el elemento I 26, 27 y el elemento P 29. En el elemento I 26, 27 se sigue sumando comenzando con el valor antes de producirse el error, al que se había congelado el elemento I 26, 27. En el elemento P 29 la variable de salida es, de manera totalmente normal, proporcional a la variable de entrada.

Con la supresión de la señal de error se inicializa además la rampa de momentos 31. La rampa de momentos 31 presenta, además de la entrada para la señal de error, dos entradas, concretamente en primer lugar una entrada conectada a una memoria de momentos 32 del convertidor 17 y, en segundo lugar, una entrada conectada a la memoria de constantes de tiempo 33. En la memoria de momentos 32 se almacena el valor mínimo del momento eléctrico que se ha podido aplicar durante la incidencia en la red. El momento eléctrico que puede aplicar el convertidor 17 depende directamente de la tensión aplicada al convertidor, de manera que el valor mínimo es un indicador de la gravedad de la incidencia en la red.

Con estos dos valores de entrada se define en la rampa de momentos 31 una función que sube linealmente con el tiempo, que arranca en el momento de la inicialización con el valor mínimo del momento eléctrico y que sube después con la inclinación predeterminada por la constante de tiempo hasta el máximo momento eléctrico admisible para este aerogenerador. La constante de tiempo se puede elegir, por ejemplo, de modo que la subida se extienda a lo largo de 0,3 s. El correspondiente valor variable en el tiempo se registra en la salida de la rampa de momentos 31 y se conduce como valor de comparación a la entrada de un elemento mínimo 34.

En la segunda entrada del elemento mínimo 34 se registra el valor de salida del elemento I 26, 27. El elemento mínimo 34 lleva a cabo una comparación de este valor de salida con el valor de comparación de la rampa de momentos 31 y emite el más pequeño de los dos valores. El valor de salida mínimo del elemento 34 se conduce como valor teórico del momento 35 al sumador 28 y se junta allí con el valor de salida del elemento P 29. El valor de salida del sumador 28 se conduce como valor predeterminado para el momento eléctrico al convertidor 17.

El elemento I 26, 27 forma el regulador de momentos en el sentido de la invención, representando el valor de salida 52 del elemento I 26, 27 en el sentido de la invención el valor objetivo para el momento eléctrico. Con la

combinación del elemento I 26, 27, la rampa de momentos 31 y el elemento mínimo 34, bordeados en la figura 2 con una línea discontinua, se determina el valor teórico del momento 35 según la invención. El elemento P 29 constituye en el sentido de la invención el regulador adicional cuyo valor de salida se junta con el valor teórico del momento para determinar el valor predeterminado real para el momento eléctrico. La activación del elemento I 26, 27 se produce con la supresión de la señal de error cuando al elemento I 26, 27 se le vuelve a aportar como variable de entrada la diferencia entre el número de revoluciones real y el número de revoluciones teórico. La inicialización de la rampa de momentos 31 se produce igualmente con la supresión de la señal de error al poner la rampa de momentos 31 al valor mínimo del momento eléctrico durante la incidencia y al poner en marcha el desarrollo temporal de la rampa con la constante de tiempo de la memoria 33.

El desarrollo temporal resultante con el regulador según la figura 2 después de una incidencia en la red se representa a modo de ejemplo en la figura 3. La figura 3A muestra el desarrollo en el tiempo de la potencia eléctrica suministrada por el convertidor 17. La figura 3B muestra el desarrollo en el tiempo del valor teórico del momento 35 en la salida del elemento mínimo 34 y la figura 3C el desarrollo en el tiempo del valor predeterminado para el momento eléctrico en la salida del sumador 28. Se comparan respectivamente dos curvas, mostrando la línea continua el comportamiento del regulador según la invención y la línea discontinua, a efectos de comparación, el comportamiento de un regulador del estado de la técnica en el que se inicializa el elemento I después de una incidencia en la red a cero y se aumenta la constante de tiempo del elemento I para evitar vibraciones.

Se trata del caso extremo de un error en el que la tensión se colapsa en el momento $t = 0$ s del 100 % al 0 %. Después de unos 0,15 s la tensión vuelve de forma que se rebase el límite inferior del funcionamiento normal. Esto significa para el regulador de la figura 2 que en el momento $t = 0$ s el detector de incidencias en la red 30 emite una señal de error que en el momento $t = 0,15$ s se vuelve a suprimir.

En la figura 3B se ve que el valor teórico del momento 35 se mueve exactamente a lo largo de la rampa de momentos 31. Como consecuencia del solapamiento con el valor de salida del elemento P 26, 27 se produce en la figura 3C un contra-control intermedio hacia abajo. Esto se debe a que el elemento P 26, 27 sirve a la vez para contrarrestar las vibraciones del tren de transmisión. La vuelta de la potencia en la figura 3A sigue fundamentalmente al valor predeterminado del momento eléctrico de la figura 3C. Se puede comprobar que la vuelta de la potencia con el regulador según la invención se produce de manera mucho más rápida que con el regulador del estado de la técnica.

Una variante ampliada del regulador según la invención se muestra en la figura 4. En el regulador allí ilustrado se mantienen todos los elementos del regulador de la figura 2 de manera idéntica y sólo se han añadido algunos elementos.

En principio la línea de señales del detector de incidencias en la red 30 a la rampa de momentos 31 está provista de un elemento TON 36. En el caso del elemento TON 36 se trata de un elemento de retardo por medio del cual un cambio de 0 a 1, que se produce en la entrada, sólo se transmite con un retraso predeterminado a la salida. Por el contrario, un cambio de 1 a 0 se transmite sin retraso.

El efecto del elemento TON 36 consiste en que la inicialización de la rampa de momentos 31 no se produce si la incidencia en la red termina antes de finalizar el retardo predeterminado por el elemento TON 36. El retardo del elemento TON 36 se calcula de modo que corresponda a la primera subida de la vibración del tren de transmisión. Para un aerogenerador de entre 3 MW y 4 MW el retardo puede ser, por ejemplo, de 140 ms. Si la rampa de momentos 31 no se pone en marcha la rampa de momentos no limita la salida del elemento I 26, 27 y en la salida del elemento mínimo 34 se registra el valor de salida ilimitado del elemento I 26, 27. Por lo tanto, el convertidor 17 puede contrarrestar la vibración del tren de transmisión con el momento eléctrico íntegro.

El regulador de la figura 4 está además provisto de un elemento corrector que comprende un interruptor 37 cuya salida se junta a través de un sumador 38 con el elemento P 29. Durante el funcionamiento normal el interruptor 37 se encuentra en la posición 0, por lo que el elemento corrector no influye en la regulación. Cuando en el interruptor 37 se registra una señal de error del detector de incidencias en la red 30, éste cambia a la otra entrada. Allí se registra la suma del valor corrector ajustado de forma fija de la memoria 39 así como un valor de diferencia entre el valor teórico del momento eléctrico antes de producirse la incidencia en la red y el valor mínimo del momento eléctrico durante la incidencia en la red. El elemento corrector recibe el valor mínimo de la memoria de momentos 32 del convertidor 17. El valor teórico antes de producirse el error procede de un elemento Hold 40 que es activado igualmente por la señal de error del detector de incidencias en la red 30. Con el elemento corrector se abre la posibilidad de adaptar el regulador específicamente a las características de los distintos aerogeneradores.

El tiempo durante el cual el elemento corrector se mantiene activo tras la incidencia en la red resulta de un elemento TOF 47. En el caso del elemento TOF se trata de un elemento de retardo por medio del cual un cambio de 1 a 0 que se produce en la entrada sólo se transmite con un retraso predeterminado a la salida. Por el contrario, un cambio de 0 a 1 se transmite sin retraso. En el presente ejemplo el retardo del elemento TOF 47 puede ser, por ejemplo, de 3 s, con lo que las reverberaciones prácticamente han desaparecido.

El regulador según la figura 4 comprende además un módulo de atenuación cuyo valor de salida se junta a través de un sumador 41 con el valor teórico del momento. El módulo de atenuación comprende un atenuador 42 clásico en el punto de salida, como los que se emplean normalmente en los aerogeneradores para contrarrestar a través del momento eléctrico las vibraciones del tren de transmisión 14, 15, 16. Por medio del interruptor 43 y de un

multiplicador 44 se ajusta la ponderación con la que el valor de salida del atenuador 42 se superpone al valor teórico del momento. En caso de funcionamiento normal del aerogenerador se registra en el interruptor 41 el valor 1, por lo que el atenuador 42 se considera con una ponderación normal. Si en el interruptor 43 se registra la señal de error del detector de incidencias en la red 30, el interruptor 43 cambia a la otra entrada. De la memoria 45 se obtiene un factor en el que se incrementa la ponderación del atenuador 42. El factor puede tener, por ejemplo, el valor 10, de modo que la influencia del atenuador 42 se incrementa en un múltiplo. El valor de salida del multiplicador 44 se conduce a través de un elemento de barrera 48 para garantizar el cumplimiento seguro de los límites entre un 0 % y un 100 % del momento eléctrico admisible. Por medio del elemento TOF 46 se establece el tiempo durante el cual se mantiene la ponderación elevada del atenuador 42. Este tiempo puede corresponder, por ejemplo, a una onda completa de la vibración del ten de transmisión. En caso de aerogeneradores de mayor tamaño con una potencia de varios megavatios el espacio de tiempo podría tener, por ejemplo, una duración de 0,5 s.

Finalmente el regulador de la figura 4 comprende un limitador 49 con el que se asegura que el valor predeterminado para el momento eléctrico se mantenga dentro de los límites preestablecidos. El límite inferior corresponde en el presente ejemplo al valor mínimo del momento eléctrico durante la incidencia en la red. El límite superior se fija en un 110 % del momento eléctrico antes de producirse la incidencia en la red. El tiempo durante el cual el limitador 49 se mantiene activo después de la incidencia en la red lo definen dos elementos TOF 50, 51 por separado para el valor límite superior y el valor límite inferior. En este ejemplo el valor límite inferior se vuelve inactivo después de 1 s, por lo que al regulador se le da la posibilidad de reducir el momento eléctrico para el caso de que mientras tanto el viento hubiera amainado. El límite superior se mantiene activo durante 5 s, de manera que los procesos transitorios desaparezcan tras la incidencia en la red.

La figura 5 muestra el comportamiento en el tiempo del regulador de la figura 4 en dos tipos de incidencias en la red distintos. La figura 5A muestra el desarrollo temporal de la potencia eléctrica suministrada por el convertidor 17, la figura 5B el desarrollo temporal del valor teórico del momento 35 en la salida del elemento mínimo 34 y la figura 5C el desarrollo temporal del valor predeterminado para el momento eléctrico en la salida del limitador 49. La línea continua se refiere a una incidencia en la red que finaliza después de 150 ms. En el caso de la línea discontinua la incidencia en la red ha tenido una duración de 200 ms.

La incidencia en la red de 150 ms de duración se encuentra por debajo del retardo del elemento TON 36, por lo que la rampa de momentos 31 no se activa en este caso. Por lo tanto, el valor teórico para el momento eléctrico vuelve a subir bruscamente con la consecuencia de que la potencia eléctrica también vuelve inmediatamente. Este cambio brusco es deseable dado que se opone a la vibración del tren de transmisión que se está generando en este instante. Las figuras 5A y 5C muestran de forma correspondiente que las reverberaciones no son más fuertes que en el caso de la vuelta más lenta de la potencia en el ejemplo comparativo.

En el caso de una duración de 200 ms de la incidencia en la red la rampa de momentos 31 se activa y el desarrollo temporal representado por la línea discontinua es similar al de la figura 3.

Otra forma de realización de un regulador según la invención se muestra en la figura 6 que corresponde en gran medida a la forma de realización según la figura 2. La diferencia entre el número de revoluciones real del sensor del número de revoluciones 20 y el número de revoluciones teórico de la memoria 23 se determina por medio de un elemento de sustracción 24. El valor de salida del elemento de sustracción 24 se aporta a un regulador 56 que comprende un elemento P y un elemento I. Durante el funcionamiento normal del aerogenerador el valor de salida del regulador 56 se emplea directamente como valor teórico del momento.

Para la regulación del momento de giro durante y después de la incidencia en la red el regulador 19 está provisto de un detector de incidencias en la red 30. El detector de incidencias en la red 30 mide la tensión en la salida del convertidor 17 y emite una señal de error si la tensión está por debajo del límite inferior del funcionamiento normal.

La señal de error del detector de incidencias en la red 30 se transmite a la rampa de momentos 31. Si la tensión vuelve después del final de la incidencia en la red, lo que en muchos casos ocurre en fracciones de segundo, la tensión vuelve a superar el límite inferior del funcionamiento normal y el detector de incidencias en la red 30 ya no emite ninguna señal de error. Con la supresión de la señal de error se inicializa la rampa de momentos 31. La rampa de momentos 31 recibe de la memoria 32 una información sobre la duración del error y sobre el valor mínimo del momento eléctrico durante el error. Por medio de esta información un módulo de constantes de tiempo 57 elige constantes de tiempo apropiadas para una primera rampa de momentos y una segunda rampa de momentos, previéndose la primera rampa de momentos para limitar el componente P del regulador 56 y la segunda rampa de momentos para limitar el componente I del regulador 56. Los valores de salida de las dos rampas de momentos, que van subiendo en el tiempo, se transmiten como valor comparativo a la entrada del elemento mínimo 34.

En la segunda entrada del elemento mínimo 34 se registran los valores de salida del componente P y del componente I del regulador 56. El elemento mínimo 34 compara estos valores de salida con el valor comparativo de la respectiva rampa de momentos y emite el más bajo de los dos valores. El valor de salida del elemento mínimo 34 se transmite como valor teórico del momento 35 al convertidor 17.

El regulador 56 constituye el regulador de momentos en el sentido de la invención, representando el valor de salida 52 del regulador 56 en el sentido de la invención el valor objetivo para el momento eléctrico. Con la combinación del regulador 56, de la rampa de momentos 31 y del elemento mínimo 34, rebordeados en la figura 6 con una línea discontinua, se determina el valor teórico del momento 35 según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación del momento eléctrico de un aerogenerador en caso de una incidencia en la red con los siguientes pasos:
 - 5 a. detección de una caída de tensión fuera de los límites del funcionamiento normal, caracterizado por que el procedimiento presenta los siguientes pasos:
 - b. inicialización de una rampa de momentos (31);
 - c. comparación de un valor objetivo (52) de un regulador de momentos (26, 27) con la rampa de momentos (31);
 - 10 d. elección del valor más bajo del paso c. como valor teórico del momento (35) y
 - e. ajuste del momento eléctrico del aerogenerador en base al valor teórico del momento (35).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la rampa de momentos (31) sube desde un valor inicial hacia un valor final y por que el valor inicial se regula en dependencia del valor mínimo (32) del momento eléctrico durante la incidencia en la red y/o en dependencia de la duración de la incidencia en la red.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que el regulador de momentos (26, 27, 56) comprende un componente P y/o un componente I.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el valor objetivo del componente P se compara con una primera rampa de momentos y el valor objetivo del componente I se compara con una segunda rampa de momentos.
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el valor teórico del momento (35) se junta con la variable de salida de un regulador adicional (29) y por que el regulador adicional (29) comprende un componente P cuya variable de entrada consiste en la diferencia entre el número de revoluciones teórico (23) y el número revoluciones real (20) del aerogenerador.
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que al regulador adicional (29) se aplica un valor corrector que depende de la diferencia entre el momento eléctrico (40) antes de producirse la incidencia en la red y el valor mínimo (32) del momento eléctrico durante la incidencia en la red.
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que se emplea el mismo regulador de momentos (26, 27, 56) y/o regulador adicional (29) que antes de producirse la incidencia en la red.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el regulador de momentos (26, 27, 56) se activa antes de comenzar la incidencia en la red o entre el comienzo y el final de la incidencia en la red.
- 45 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el regulador de momentos (26, 27, 56) se regula después del final de la incidencia en la red.
- 50 10. Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado por que el regulador de momentos (26, 27, 56) se activa cuando termina la incidencia en la red y cuando haya transcurrido un espacio de tiempo predeterminado desde el inicio de la incidencia en la red.
- 55 11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que el espacio de tiempo de la duración de la subida corresponde a una vibración del tren de transmisión (14, 15, 16) del aerogenerador.
- 60 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que se prevé un módulo de atenuación (42, 43, 45) que emite una señal de control opuesta a la vibración del tren de transmisión y por que la señal de control presenta un factor d amplificación mayor en comparación con el funcionamiento normal y se junta con el valor teórico del momento (35).
- 65 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que se aplica al valor teórico del momento (35) un limitador (49), ajustándose el valor límite inferior en dependencia del valor mínimo (32) del momento eléctrico durante la incidencia en la red y el valor límite superior en dependencia del momento eléctrico antes de producirse la incidencia en la red.
14. Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado por que se prevé un primer espacio de tiempo (51) después del final de la incidencia en la red después del cual se desactiva el valor límite inferior y por que se prevé un segundo espacio de tiempo (50) después del final de la incidencia en la red después del cual se desactiva el valor límite superior, siendo el primer espacio de tiempo (51) más corto que el segundo espacio de tiempo (50).
15. Aerogenerador con un detector de incidencias en la red 30, un regulador de momentos (26, 27, 56) que determina un valor objetivo (52) para el momento eléctrico del aerogenerador, y con un convertidor (17),

5 caracterizado por que el aerogenerador comprende un sistema de control (19) y un elemento mínimo (34), diseñándose el sistema de control (19) para inicializar, después de producirse una incidencia en la red, una rampa de momentos (31), realizando el elemento mínimo (34) una comparación entre el valor objetivo (52) y la rampa de momentos (31) y emitiendo la misma el más bajo de los valores como valor teórico del momento (35), y diseñándose el convertidor (17) para ajustar el momento eléctrico del aerogenerador en base al valor teórico del momento (35).

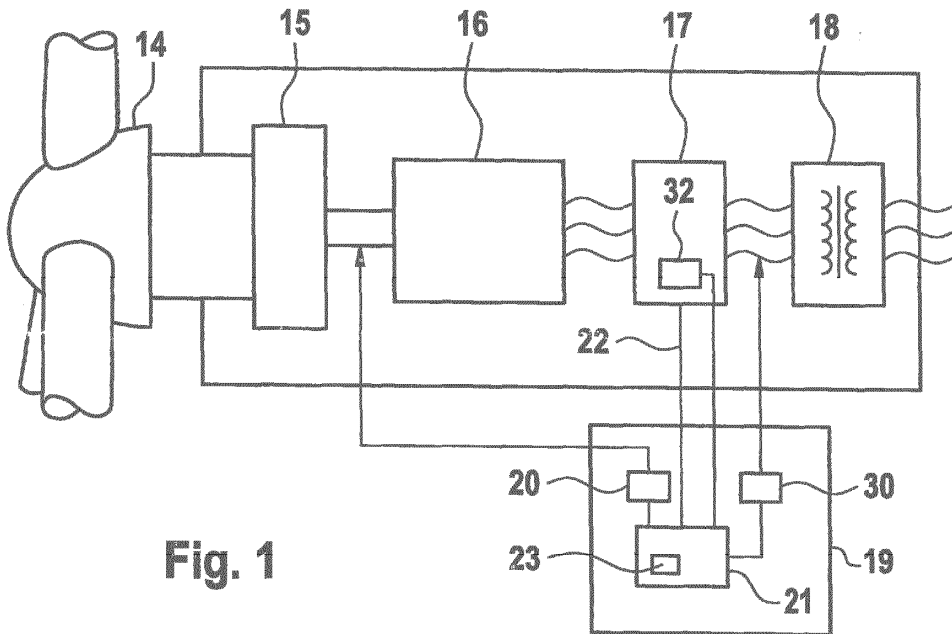


Fig. 1

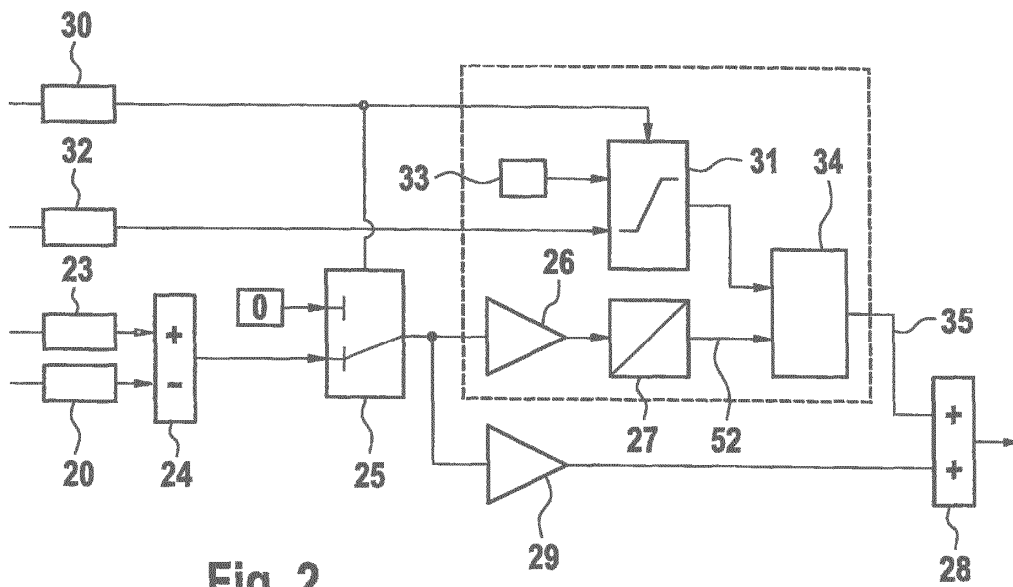
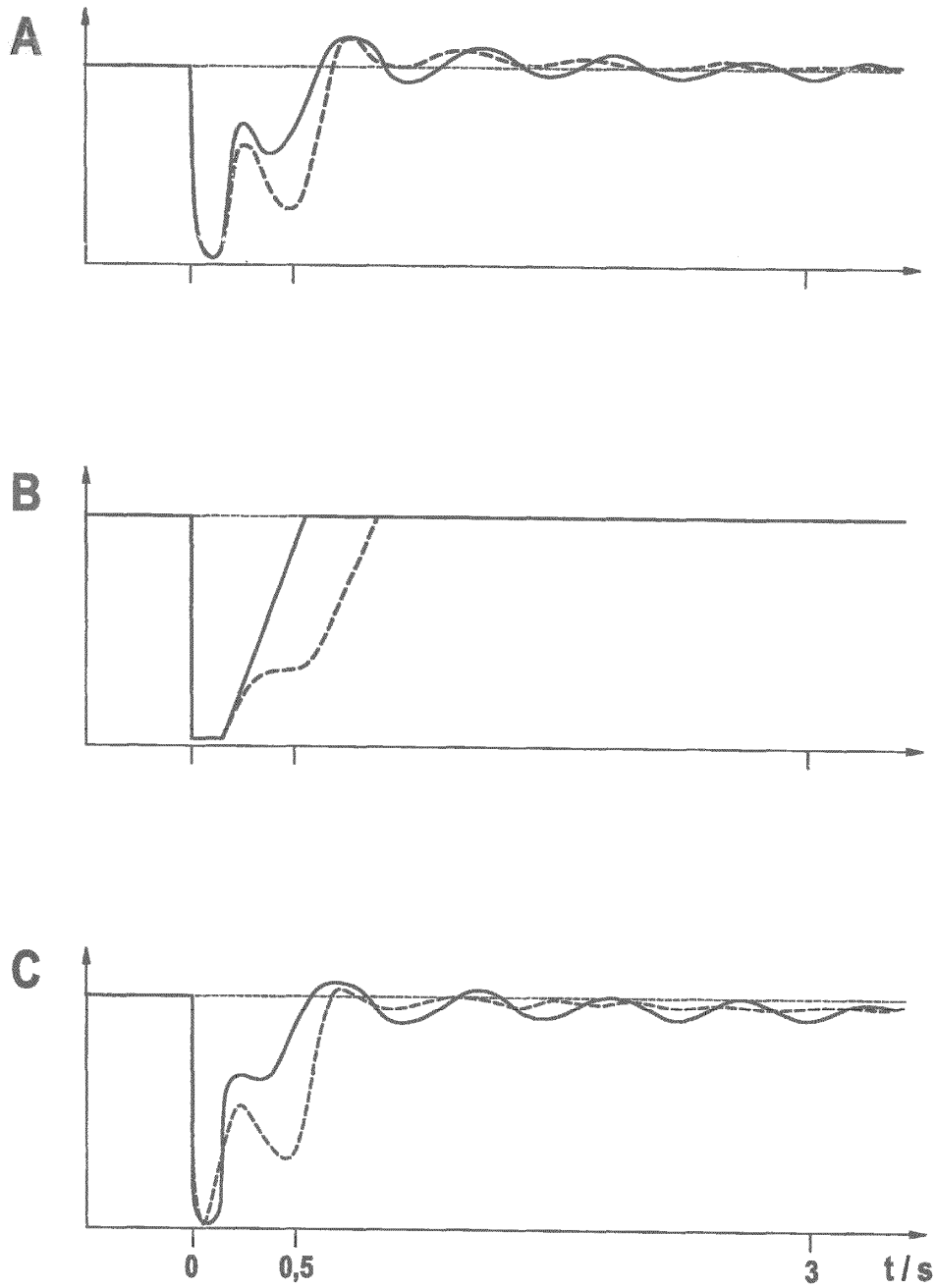


Fig. 2

Fig. 3



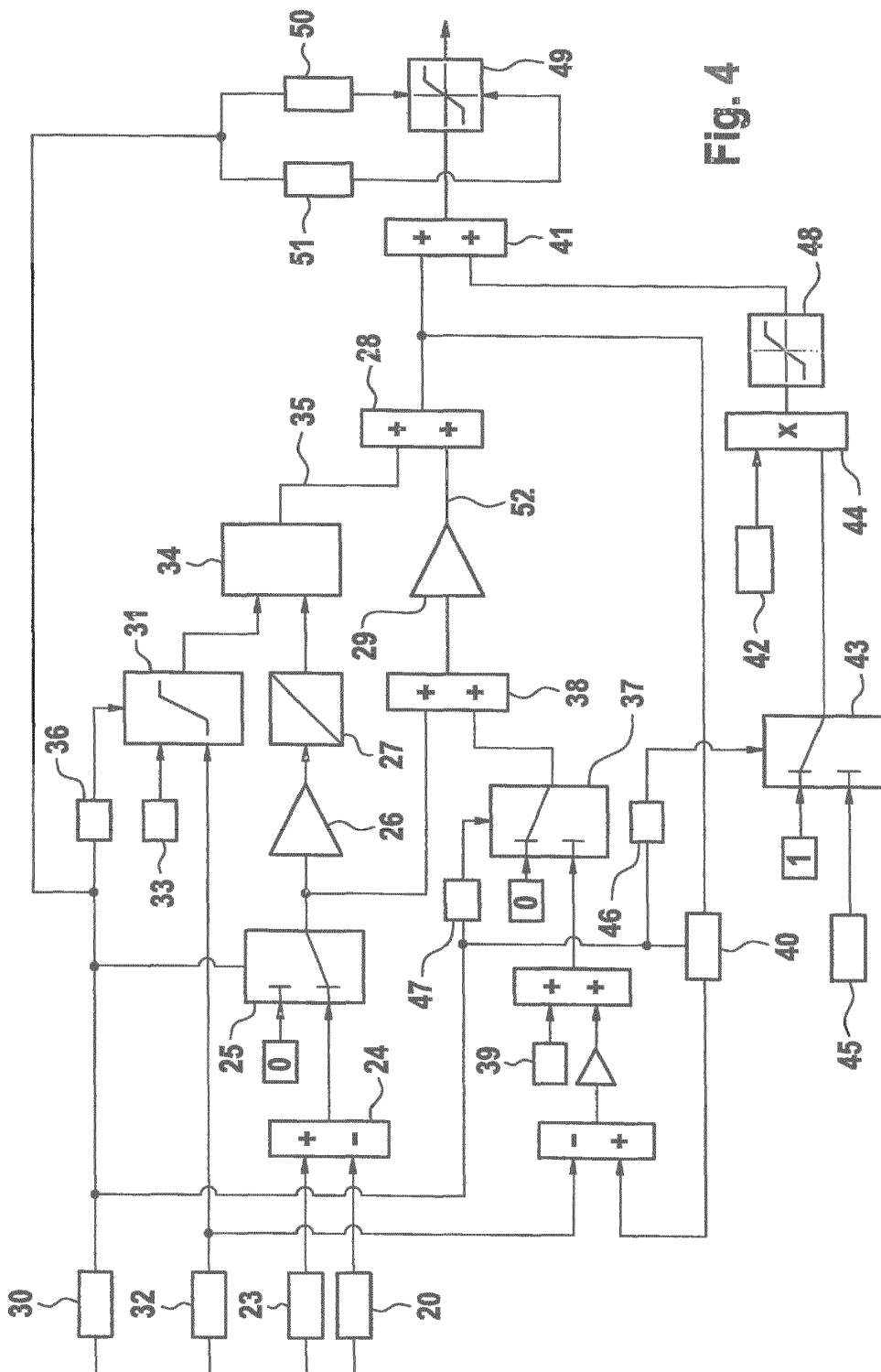
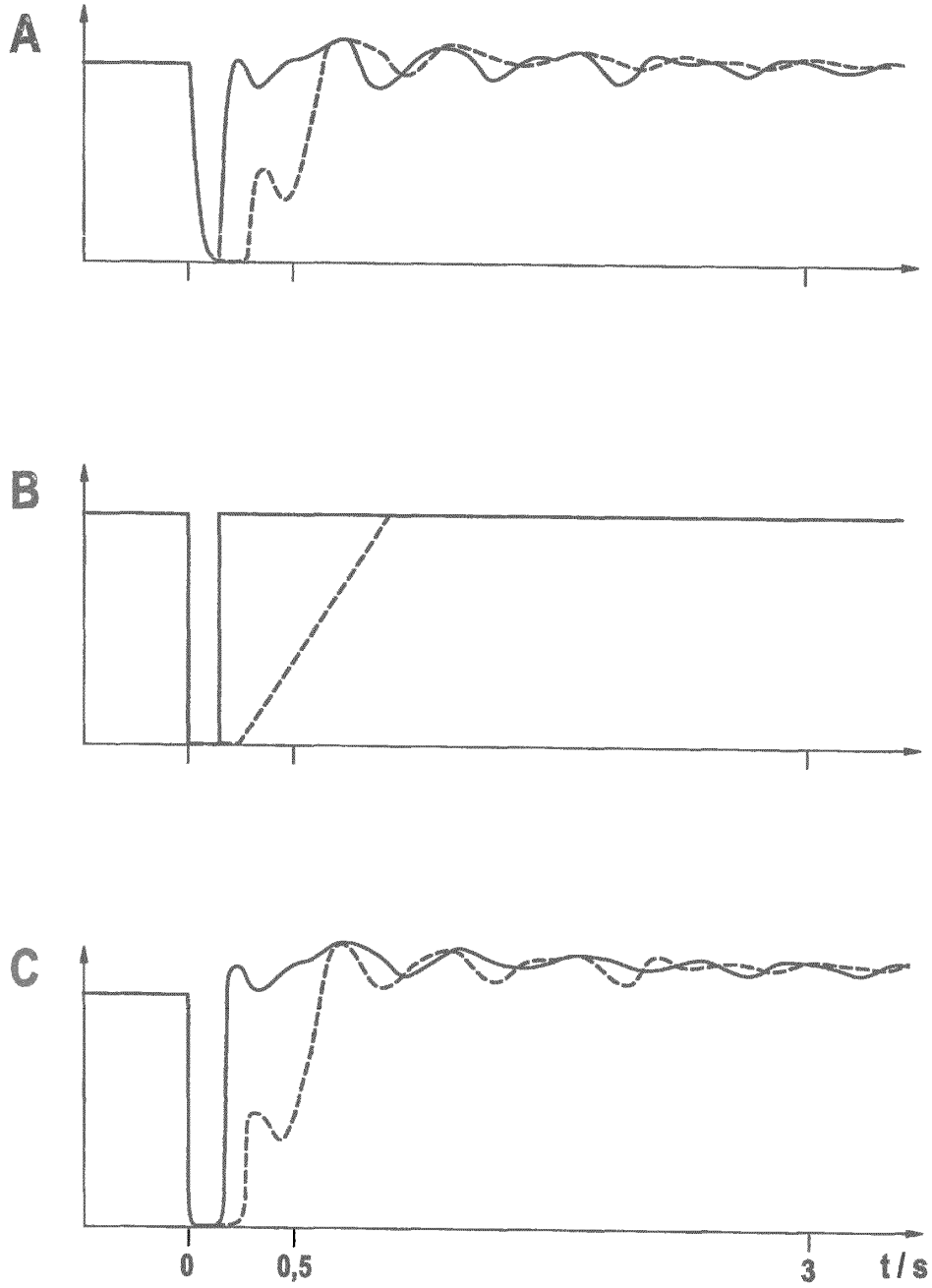


Fig. 4

Fig. 5



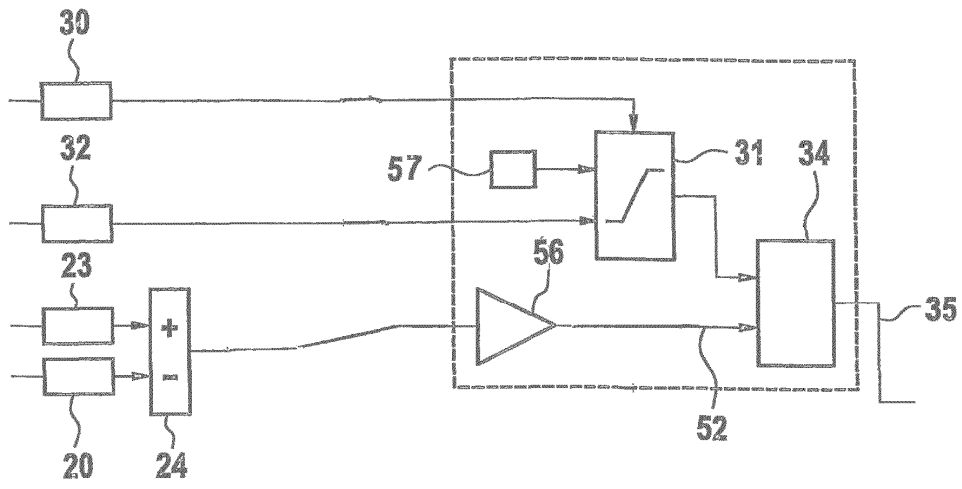


Fig. 6