

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 437**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

G01D 5/244 (2006.01)

G05B 19/414 (2006.01)

H03M 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08171178 .0**

96 Fecha de presentación: **10.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2073372**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.06.2009**

54 Título: **SISTEMA DE GENERADOR CON PROCESAMIENTO INTELIGENTE DE SEÑAL DE POSICIÓN.**

30 Prioridad:
19.12.2007 DK 200701826
19.12.2007 US 8607 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.11.2011

73 Titular/es:
VESTAS WIND SYSTEMS A/S
ALSVEJ 21
8940 RANDERS, DK

72 Inventor/es:
Larsen, Kim Brøndum;
Lau, Mogens Lønberg y
Bendixen, Flemming Buus

74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

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).

ES 2 369 437 T3

DESCRIPCIÓN

Sistema de generador con procesamiento inteligente de señal de posición

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de sistemas de generadores eléctricos, tales como sistemas de generadores para turbinas eólicas. Más específicamente, la invención se refiere a un sistema de generador con un procesamiento inteligente de una señal de posición que indica la posición angular del rotor de generador.

Antecedentes de la invención

10 Para una turbina eólica dispuesta para generar potencia eléctrica a una red eléctrica, la eficacia de potencia es un parámetro crucial. Para proporcionar una alta eficacia de potencia la turbina eólica debe conectarse a la red eléctrica con tan pocos acontecimientos de parada como sea posible.

15 Una fuente conocida de error que provoca la parada de la turbina eólica es la detección de posición o codificación de posición del rotor del generador de potencia. Por ejemplo los generadores de tipo inducción de doble alimentación requieren una detección precisa de posición angular del rotor de generador, por ejemplo dentro de $\pm 1^\circ$, para que los sistemas de controle combinen las señales de potencia eléctrica desde el generador hasta la red eléctrica para un suministro de potencia eléctrica fiable y suave a la red eléctrica. Incluso los errores a corto plazo o ninguna señal de posición pueden dar como resultado paradas de emergencia del sistema de generador debido a altas corrientes, dando así como resultado una mala eficacia de potencia global de la turbina eólica. Además, incluso errores menores en la señal de posición pueden provocar picos de voltaje involuntarios del sistema de generador reduciendo así la calidad en la potencia eléctrica suministrada a la red eléctrica.

20 Se sabe que los dispositivos de detección de posición, a menudo indicados codificadores de posición, producen eventualmente errores en sus señales de posición de salida. Además, tales dispositivos están a menudo conectados mecánicamente al árbol del generador y por tanto incluyen partes que se desplazan a la velocidad del árbol de generador, por ejemplo 1500 rpm o más. Por consiguiente, los cojinetes, etc. de los codificadores de posición tienen una vida útil limitada, y por tanto la detección temprana de problemas con el codificador de posición es vital con respecto a evitar un daño completo del codificador de posición, que parará la turbina eólica hasta que se sustituya el codificador de posición.

25 También es posible calcular una posición angular del rotor basándose solamente en las señales de salida eléctricas del generador y la red eléctrica a la que el generador suministra potencia. Esto elimina la necesidad de un codificador de posición mecánico. Sin embargo, tales cálculos son complejos y requieren una gran cantidad de poder de procesamiento. Además, si el voltaje es bajo en la red eléctrica, entonces los valores calculados no son fiables, y a voltaje nulo en la red eléctrica el cálculo no es posible.

30 El documento US 2008/0300820 A1 da a conocer un sistema para estimar una posición angular y una velocidad angular de un rotor en una máquina dinamoeléctrica. Un microprocesador recibe una entrada de voltaje trifásico y una entrada de corriente trifásica desde el generador de potencia eléctrica. Un estimador de posición y velocidad implementado en el microprocesador calcula en respuesta a una velocidad y posición angular del rotor de generador de potencia eléctrica sin la necesidad de contacto mecánico con el árbol de rotor.

35 El documento EP 1 341 311 A2 da a conocer un aparato de procesamiento de señales para un codificador, por ejemplo como un codificador giratorio tal como se usa para detectar una posición rotacional de un motor de una herramienta de máquina tal como un dispositivo de control numérico, una escala lineal para detectar la posición de movimiento lineal de una tabla, etc.

Sumario de la invención

40 Por tanto, según la descripción anterior, un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de generador de potencia eléctrica que pueda proporcionar una gestión mejorada de la señal de posición recibida del codificador de posición, para permitir un funcionamiento más fiable del sistema de generador con una cantidad reducida de paradas.

En un primer aspecto, la invención proporciona un sistema de generador de potencia eléctrica según la reivindicación 1 adjunta.

50 Puesto que tal sistema de generador proporciona una posición angular procesada teniendo en cuenta tanto la posición angular calculada basándose en la última señal de posición del codificador de posición como basándose en entradas de posición anteriores, tal posición angular procesada será más fiable que una posición angular basada en un cálculo directo basándose en una única señal de posición del codificador de posición. Por tanto, la posición angular procesada es menos vulnerable a errores en la señal de posición recibida del codificador de posición.

Debido a la posición angular estimada es posible detectar errores en la señal de posición y en algún grado también corregir tales errores, e incluso en casos en los que el codificador de posición deja de funcionar durante un corto

periodo, puede ser posible proporcionar un algoritmo de control de manera que la posición angular procesada sea suficientemente fiable para mantener un funcionamiento normal del sistema de generador de potencia basándose completamente en la posición angular estimada en tal periodo. A continuación se describirán maneras más específicas de calcular y utilizar la posición angular estimada para dar como resultado una posición angular procesada más fiable.

Los sistemas de generadores, por ejemplo generadores de tipo inducción de doble alimentación, cuya función de generación de potencia depende de un conocimiento preciso de la posición de rotor, se verán menos influidos por errores en el codificador de posición que de otro modo pueden provocar una mala calidad eléctrica o paradas de emergencia, e incluso en el caso de un fallo permanente del codificador de posición, el sistema tendrá tiempo de pararse de una manera controlada sin la necesidad de paradas de emergencia.

Según lo anterior, el sistema de generador según el primer aspecto es altamente adecuado para turbinas eólicas y otros generadores de potencia en los que el funcionamiento fiable y alta eficacia de potencia son parámetros cruciales. Pueden reducirse los periodos en los que la turbina eólica deja de producir potencia eléctrica debido a problemas del codificador de posición. Puesto que la mayoría de los sistemas de generadores modernos incluyen un procesador de señales digitales, el procesamiento necesario de la señal de posición puede ejecutarse completamente en el software que se ejecuta en tal procesador. Sin embargo, el procesamiento o parte de éste también puede involucrar componentes de procesamiento analógico, si se prefiere.

A continuación, se describirán realizaciones preferidas, especialmente con respecto a las realizaciones del algoritmo de control predeterminado.

El procesador incluye una unidad de corrección dispuesta para detectar y corregir tipos de errores predeterminados en la señal de posición antes de calcular la posición angular, realizando así un filtrado previo de la señal de posición que pretende eliminar tipos de errores temporales conocidos en la señal de posición del codificador de posición. De ese modo la señal de posición angular calculada basándose en la señal de posición corregida se vuelve más fiable, y puede evitarse la parada del sistema de generador debido a tipos de errores temporales conocidos. Especialmente, los errores pueden corregirse basándose en una propiedad almacenada anteriormente del codificador de posición, tal como su resolución angular, utilizando así información redundante en la señal de posición recibida desde el codificador de posición. También pueden corregirse errores basándose en una propiedad almacenada anteriormente del generador de potencia, tal como su máxima aceleración angular posible, permitiendo así el rechazo de valores en la señal de posición que parecen reflejar una aceleración angular que no es físicamente posible para el generador específico. La corrección de errores en la señal de posición incluye preferiblemente uno o más de: 1) eliminación de un pico que puede provocarse por un ruido eléctrico o un bit de "suspensión" en una parte digital del sistema, 2) eliminación de desplazamiento de valor que puede provocarse por uno o más bits de "suspensión" en una parte digital del sistema, 3) limitación de aceleración angular que supera un valor predeterminado que puede provocarse por diversos factores, y 4) compensación de número inesperado de impulsos por revolución que puede provocarse por señales espúreas o fallos de señal.

El procesador incluye preferiblemente una unidad de estimación que incluye un bucle de enganche de fase (Phase-Locked Loop o PLL), es decir que incluye un integrador y un regulador de PI tal como se conoce en la técnica, en el que la unidad de estimación genera la posición angular estimada basándose en entradas de posición angular anteriores. De esta manera, el PLL se usa para filtrar la posición angular de entrada y por tanto estima qué posición angular esperar, permitiendo así una evaluación de la fiabilidad del valor de posición angular. El procesador puede disponerse para seleccionar aplicar la posición angular o la posición angular estimada como entrada a la unidad de estimación, por ejemplo dependiendo de una evaluación de la que puede considerarse más fiable.

El algoritmo de control predeterminado puede disponerse de manera que la posición angular procesada es una salida del PLL, proporcionando así una medición fiable de la posición angular que se filtra por el PLL basándose en entradas de posición angular anteriores. Especialmente, la posición angular estimada puede calcularse a partir de la posición angular procesada mediante un algoritmo de extrapolación, tal como asumiendo una velocidad angular constante del rotor, para llegar a una buena estimación de la posición angular de una muestra por adelantado.

El procesador incluye preferiblemente una unidad de gestión de errores dispuesta para detectar un error basándose en comparar la posición angular y la posición angular estimada, y en el que la unidad de gestión de errores selecciona aplicar la posición angular estimada como entrada a la unidad de estimación en caso de detectarse un error. Si no se detecta ningún error, la señal de posición angular calculada basándose en la última entrada de señal de posición se selecciona como entrada a la unidad de estimación. En una realización sencilla, la unidad de gestión de errores detecta un error en caso de que una diferencia entre la posición angular y la posición angular estimada supere un valor predeterminado o desviado en más de un porcentaje determinado. Sin embargo, pueden usarse algoritmos o criterios más complejos para detectar un error.

En una realización, la unidad de gestión de errores está dispuesta para seleccionar emitir la posición angular estimada como la posición angular procesada en caso de detectarse un error. Preferiblemente, se emite el valor más fiable de la posición angular estimada y calculada como la posición angular procesada. Por tanto, en esta realización la unidad de gestión de errores es un conmutador de software que emite o bien posición angular calculada si no se

detecta ningún error, mientras que se emite la posición angular estimada en caso de que se detecte un error.

La unidad de gestión de errores puede disponerse para generar una señal de error que indica que hay un error en el codificador de posición. Tal señal de error puede usarse para llamar a personal de servicio que puede sustituir el codificador de posición, o puede usarse la señal de error por un sistema de control para iniciar una parada controlada del sistema de generador. Especialmente, la unidad de gestión de errores puede generar la señal de error después de detectar un número de errores predeterminado durante un periodo de tiempo predeterminado. Por tanto, aunque es posible mantener un funcionamiento normal durante unos cuantos errores temporales, la señal de error puede posponerse hasta que haya sucedido un gran número de errores dentro del periodo de tiempo limitado. De ese modo, se mejora la eficiencia de potencia del sistema de generador mientras que aún se proporciona un margen de seguridad sin la necesidad de paradas de emergencia.

El codificador de posición puede ser en principio cualquier tipo de codificador de posición, pero preferiblemente uno que suministra una señal de posición eléctrica. Especialmente, el codificador puede suministrar una señal de posición en forma de una señal de posición digital de tres hilos, tal como un codificador de posición de tipo óptico que suministra una señal de tres hilos en forma de impulsos eléctricos, proporcionando dos hilos un impulso para cada revolución parcial del rotor, y proporcionando un hilo un impulso (señal de reinicio) para cada revolución completa del rotor. Especialmente, la señal de posición puede muestrearse a una frecuencia de muestreo de al menos 2 kHz, tal como a una frecuencia de muestreo de 5 kHz, posiblemente más de 10 kHz.

El sistema de generador es especialmente adecuado si el generador de potencia es un generador de inducción de doble alimentación, puesto que tal tipo de generador requiere una señal de posición angular precisa que indica la posición de rotor para que funcione apropiadamente cuando se conecta a una red eléctrica.

El sistema de generador puede incluir además un sistema de control dispuesto para recibir la posición angular procesada y por consiguiente para controlar al menos uno de: 1) conexión eléctrica del generador de potencia a una red eléctrica, y 2) un nivel de vibración del generador de potencia. En el caso 1) se obtiene un funcionamiento fiable con una alta eficacia de potencia y una alta calidad eléctrica debido a la posición angular procesada fiable. En el caso 2) puede obtenerse una atenuación eficaz y estable del nivel de vibración producido por el generador mediante la posición angular procesada precisa y fiable.

Preferiblemente, el procesador está dispuesto para detectar un error en el codificador de posición y para generar una señal de error por consiguiente, y en el que el sistema de control está dispuesto para iniciar un procedimiento de desconexión controlada de la red eléctrica en respuesta a la señal de error. Mediante tal gestión de errores, pueden eliminarse paradas de emergencias incluso mediante un codificador de posición completamente dañado.

En un segundo aspecto, la invención proporciona una turbina eólica que incluye un sistema de generador de potencia según el primer aspecto. La turbina eólica se dispone preferiblemente para suministrar potencia eléctrica a una red eléctrica, y en la que la posición angular procesada sirve para eliminar paradas de emergencia debido a errores en el codificador de posición, tal como se describió anteriormente en el primer aspecto.

Se aprecia que pueden combinarse cada uno de los dos aspectos individuales de la invención entre sí, y que las realizaciones descritas por los primeros aspectos también se aplican para el segundo aspecto.

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá ahora con más detalle con respecto a las figuras adjuntas de las que

la figura 1 ilustra partes básicas de un sistema de generador de potencia,

la figura 2 ilustra una realización de procesador,

la figura 3 ilustra otra realización de procesador,

la figura 4 ilustra una tercera realización de procesador,

la figura 5 ilustra posibles errores en una señal de posición de un codificador de posición, y

la figura 6 ilustra un sistema de generador conectado a una red eléctrica.

Las figuras ilustran específicamente maneras de implementar la presente invención y no deben interpretarse como limitativas para otras posibles realizaciones que se encuentran dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de una realización

La figura 1 ilustra una parte básica de un sistema de generador. Un generador de potencia eléctrica GEN incluye un rotor impulsado por un árbol. En el caso de un generador para una turbina eólica, el árbol del generador GEN se impulsa mediante palas a través de una caja de engranajes. El generador GEN tiene una serie de fases que

producen cada una una señal de potencia eléctrica que puede usarse para suministrar energía eléctrica a una red eléctrica, por ejemplo la red eléctrica pública. Un codificador de posición ENC está conectado mecánicamente al árbol de generador para detectar una posición angular del rotor, que es un parámetro importante para el control de muchos tipos de generadores, por ejemplo generadores de inducción de doble alimentación.

- 5 El codificador de posición ENC se conecta a menudo al árbol a través de un acoplamiento bastante rígido, y por tanto incluso una pequeña alineación errónea del codificador de posición ENC en relación con el árbol de generador puede provocar un desgaste de los cojinetes en el codificador de posición ENC. Un codificador de posición ENC típico se basa en la lectura óptica de un disco que gira junto con el árbol, estando el disco dividido angularmente en zonas blancas y negras, por ejemplo en conjunto 1024 zonas por revolución completa. Se usa un sensor óptico para
10 generar la señal de posición PS en forma de impulsos siguiendo el paso de zonas blancas y negras.

Entonces se procesa la señal de posición PS por un procesador DSP, preferiblemente un procesador de señales digitales (Digital Signal Processor) DSP, que traduce la señal de posición PS internamente en una posición angular que refleja la posición angular del rotor de generador. En el procesador DSP se realiza un procesamiento adicional para llegar a una posición angular procesada PAP más fiable, tal como se describirá adicionalmente a continuación.
15 Especialmente, tal posición angular procesada PAP puede usarse en el control del acoplamiento eléctrico del generador GEN a una red eléctrica y por eso se obtiene un funcionamiento más fiable sin la necesidad de parada en el caso de que haya errores temporales en la señal de posición PS. En el caso de una avería completa del codificador de posición ENC, la posición angular procesada PAP se basa en entradas de señal de posición PS anteriores permitiendo así un funcionamiento normal suficientemente largo para evitar paradas de emergencia.

- 20 A continuación se describirán diferentes realizaciones del procesador.

La figura 2 ilustra una realización de un procesador DSP según la invención. La señal de posición PS del codificador de posición se recibe en el procesador DSP, y la señal de posición PS se introduce en una unidad de cálculo de posición angular ACU que calcula una posición angular AP por consiguiente. Se aprecia que este cálculo de posición angular AP dependerá altamente del tipo de señal de posición PS. Sin embargo en caso de que la señal de posición
25 PS esté en forma de varios impulsos por revolución completa, la ACU incluirá un contador que cuente los impulsos hasta un número conocido de impulsos por revolución completa, y luego el número contado de impulsos puede traducirse directamente en una posición angular AP en el intervalo de 0° a 360° o una representación angular similar. Preferiblemente la señal de posición PS incluye una señal de reinicio en forma de un impulso por revolución completa que permite un desplazamiento angular correcto correspondiente a la posición angular precisa del rotor de generador.
30

Entonces se aplica la posición angular AP calculada como una entrada a un algoritmo de control CA predeterminado que incluye una unidad de gestión de errores EHU. La unidad de gestión de errores EHU compara la posición angular AP calculada con una posición angular estimada EAP recibida desde una unidad de estimación EST que incluye un algoritmo dispuesto para predecir el siguiente valor de muestra, es decir la siguiente posición angular
35 esperada preferiblemente teniendo en cuenta varias muestras de entrada anteriores, dando así como resultado una posición angular estimada fiable.

La unidad de gestión de errores EHU decide a partir de esta comparación que una de la posición angular AP calculada y la posición angular estimada EAP se considera como la más fiable, y entonces se emite la más fiable de las dos como la entrada EI a la unidad de estimación EST. Esta comparación se realiza preferiblemente muestra por muestra, y la selección puede basarse en calcular una diferencia sencilla entre los valores de AP y EAP. Si esta diferencia supera un cierto valor o porcentaje predeterminado, entonces se decide proporcionar la posición angular
40 estimada EAP como la entrada EI a la unidad de estimación EST, puesto que puede considerarse que una desviación grande se provocó por una señal de posición PS errónea. Este procedimiento garantiza que sólo se proponen los valores más fiables a la unidad de estimación EST, aumentando así la calidad de la posición angular estimada EAP. En la realización ilustrada, también se genera la salida del algoritmo de control CA predeterminado y por tanto la salida final del procesador DSP, concretamente la posición angular procesada PAP, por la unidad de estimación EST, tal como se explicará con más detalle en relación con la realización ilustrada en la figura 4.

La figura 3 ilustra otra realización de procesador DSP. Sólo difiere de la realización de la figura 2 con respecto a la unidad de gestión de errores EHU y la unidad de estimación EST. En la figura 3 la unidad de gestión de errores EHU no sólo decide cuál de AP y EAP proporcionar como entrada EI a la unidad de estimación EST, tal como se explicó
50 anteriormente. La unidad de gestión de errores EHU también emite la posición angular procesada PAP, concretamente como una de la AP y EAP que se considera la más fiable. En caso de que la unidad de gestión de errores EHU decida que la AP debe ser errónea, entonces se emite la EAP como la posición angular procesada PAP, mientras que en caso de que no haya ningún error detectado, entonces se emite la AP como la posición angular procesada PAP.
55

La figura 4 ilustra aún otra realización de procesador DSP. En comparación con la realización de la figura 2, se incluye una unidad de corrección o filtro previo CORR antes de la unidad de cálculo angular ACU. Esta unidad de corrección CORR genera una CPS corregida en respuesta a la señal de posición. La unidad de corrección CORR puede analizar la señal de posición PS con respecto a detectar varios tipos de errores diferentes que es posible que

se produzcan temporalmente, es decir en una muestra individual o en unas cuantas muestras posteriores, y por tanto para poder detectar un error, deben tenerse en cuenta varias muestras posteriores. En caso de observarse un error durante un periodo largo de tiempo, la unidad de corrección CORR se dispone preferiblemente para generar una señal de error que puede usarse para llamar al personal de servicio y/o parar el sistema de generador de una manera controlada. Sin embargo, preferiblemente los errores temporales sólo se detectan y corrigen de manera que puede mantenerse el funcionamiento normal. A continuación se explicarán ejemplos de errores que pueden detectarse con referencia a la figura 5.

En la figura 4 el papel de la unidad de gestión de errores EHU corresponde al explicado en relación con la figura 2, sin embargo en esta realización la unidad de gestión de errores EHU puede generar una señal de error ERRS si se detecta un error en la señal de posición angular AP. Esta señal de error ERRS puede usarse para parar el sistema de generador de una manera controlada, mientras que la unidad de gestión de errores EHU selecciona proporcionar permanentemente la EAP como una entrada EI a la unidad de estimación EST, sirviendo así para proporcionar una posición angular procesada PAP de una calidad aceptable durante el tiempo suficiente para garantizar su funcionamiento apropiado durante una parada controlada.

Además, en comparación con la figura 2, la unidad de gestión de errores EHU de la figura 4 tiene dos entradas adicionales, concretamente: 1) una señal de posición adicional EPS a partir de un segundo dispositivo de codificador de posición conectado para detectar la posición angular del rotor de generador, y 2) una entrada eléctrica a partir del generador GI que se toma como entrada para una unidad de cálculo sin sensor SCU para calcular aún otra posición angular AP2 basándose solamente en la entrada eléctrica GI del generador, es decir sin ningún sensor de posición mecánico involucrado. Esto se conoce en la técnica.

Estos datos de posición angular redundantes AP2, EPS pueden usarse por la unidad de gestión de errores EHU para soportar la posición angular AP basada en el codificador de posición principal, en caso de que este codificador de posición principal falle, por ejemplo en caso de su avería. Esto ayuda a permitir un funcionamiento normal hasta que el codificador de posición principal se haya sustituido. La unidad de gestión de errores generará en tal caso una señal de error ERRS, pero el funcionamiento puede mantenerse de manera segura y por tanto el sistema de generador puede mantener la generación de potencia hasta que se sustituya el codificador de posición principal. Para reducir requisitos de potencia computacionales en el procesador DSP, puede preferirse que la unidad de cálculo sin sensor SCU sólo esté activa en caso de detectarse un error en la posición angular AP basándose en el codificador de posición principal. Lo mismo se aplica a los cálculos adicionales necesarios para tener en cuenta la señal de posición EPS del codificador de posición adicional.

En la figura 4 la unidad de estimación EST incluye un bucle de enganche de fase PLL que recibe la entrada EI y genera además la posición angular procesada PAP en respuesta a una secuencia de entradas EI, proporcionando así una posición angular procesada PAP filtrada que es considerablemente más fiable que la posición angular AP directamente calculada. Se aprecia que el diseño del PLL incluye varias variables, por ejemplo su ancho de banda, y estas variables pueden seleccionarse por el experto para adaptarse a las propiedades específicas del generador, codificador de posición etc. Además, la elección de estas variables dependerá del uso de la posición angular de salida. Por tanto, el procesador DSP puede incluir dos o más PLL que sirven para emitir posiciones angulares procesadas PAP o estimadas respectivas que son adecuadas para diferentes propósitos respectivos, por ejemplo tal pluralidad de PLL puede tener diferentes anchos de banda.

La figura 5 ilustra para un tipo específico de codificador de posición algunos errores típicos en su señal de posición que pueden detectarse y corregirse tras la detección en la unidad de corrección CORR, tal como se explicó en relación con la realización de la figura 4. La figura 5 ilustra el conteo de impulsos en la señal de posición PS para cada uno de los 4096 recibidos por revolución de 360° completa del árbol de rotor. Se espera además que el codificador de posición proporcione un impulso de reinicio para cada revolución del árbol de rotor. Un tipo de error son los picos o puntas espúreas E1 en la señal de posición PS, por ejemplo de una duración de una muestra que puede provocarse mediante bits de "suspensión" en un circuito digital anterior, o provocado por ruido eléctrico, etc. La unidad de corrección CORR detecta preferiblemente tales picos E1 comparando el valor de muestra con valores de muestra anteriores, y si el valor de muestra actual supera un cambio predeterminado, entonces el valor de muestra actual se detecta como un pico E1, y el valor puede ignorarse o corregirse, es decir el valor de muestra que se detecta como un pico puede corregirse para un valor esperado a partir de los valores anteriores.

Otro tipo de error es el desplazamiento de valor E2 que es un número de muestras posteriores con un valor elevado (o reducido) en comparación con lo que se esperaría, tal como afectado por uno o más bits de "suspensión" en un circuito digital anterior, por ejemplo en un circuito de salida digital del codificador de posición. Puede detectarse y corregirse fácilmente un desplazamiento grande por la unidad de corrección CORR, pero en caso de un desplazamiento pequeño, puede que no pueda detectarse por la unidad de corrección CORR. Sin embargo, en ese caso la influencia del desplazamiento E2 se suprimirá al menos por el bucle que incluye la unidad de estimación EST.

Una aceleración que supera la posible para el generador específico E3 puede detectarse calculando, por ejemplo sobre varias muestras, un valor de aceleración angular y comparar este resultado de cálculo con un valor almacenado anteriormente correspondiente a la máxima aceleración angular que puede producirse para el rotor del

generador específico. Si la aceleración angular calculada supera este valor, debe deberse a un error en la señal de posición. Por ejemplo tal aceleración que supera la máxima aceleración angular posible del rotor E3 puede corregirse corrigiendo valores en varias muestras para la máxima aceleración angular posible del rotor. Esto puede no ser todavía una corrección completa, pero al menos estará más cerca del valor verdadero puesto que se tiene en cuenta una limitación física. Entonces se reducirá un error restante por el bucle que incluye la unidad de estimación EST.

El error E4 indica una señal de reinicio recibida antes de lo esperado. Esto puede detectarse si el contador ha alcanzado por ejemplo sólo 3000 de los 4096 esperados, la señal de reinicio debe ser una señal espúrea y por tanto debe ignorarse, puesto que puede decidirse que las señales de reinicio se aceptan sólo dentro de $\pm$ una muestra del número máximo esperado de impulsos.

El error E5 es el opuesto del error E4, concretamente una señal de reinicio que falta o una señal de reinicio que llega demasiado tarde, es decir después del número máximo esperado de impulsos (por ejemplo 4096 tal como se ilustra). Este error puede remediarse, puesto que como muy tarde el contador se reinicia una muestra después de detectarse el número máximo esperado de impulsos, en caso de que la señal de reinicio no se reciba. Si la señal de reinicio no se recibe en absoluto después de varias correcciones de este tipo, la unidad de corrección puede generar una señal de error que indica que el codificador de posición está dañado, puesto que o bien se reciben demasiados impulsos por error, o bien la señal de reinicio no se recibe erróneamente.

Mediante la selección de algoritmos apropiados estos errores E1, E2, E3, E4, E5 pueden detectarse y también corregirse ya en la unidad de filtrado previo o de corrección CORR. Si no se detecta un error o no se corrige apropiadamente en la unidad de corrección CORR, dará como resultado una posición angular de desviación AP que lo más probablemente se detectará como un error en la unidad de gestión de errores EHU y/o al menos se filtrará en la unidad de estimación EST de manera que la posición angular procesada PAP no sufra gravemente por una única o unas pocas muestras erróneas.

El error E6 ilustra un filtrado erróneo de la verdadera posición de rotor angular que puede ser debido a que el codificador de posición se monta de manera ligeramente excéntrica en el árbol de rotor y por tanto emite una señal de posición que no refleja con precisión la verdadera posición de rotor. El filtrado erróneo E6 también puede deberse a una oscilación o vibración entre una parte giratoria del codificador de posición y el alojamiento del codificador de posición, que dará como resultado una señal de posición que no seguirá con precisión la verdadera posición de rotor sino que la señal de posición se modulará mediante tal oscilación/vibración. Tal error de filtrado E6 puede que no pueda detectarse y corregirse en la unidad de corrección CORR, pero tal error E6 se eliminará o al menos suprimirá en el bucle que incluye la unidad de estimación EST, y por tanto el error E6 no influirá significativamente en la posición angular procesada PAP.

La figura 6 ilustra un sistema de generador conectado a una red eléctrica EG, por ejemplo un sistema de generador de turbina eólica. Un codificador de posición ENC está conectado al generador GEN, por ejemplo un generador de inducción de doble alimentación, para detectar una posición angular de su rotor. El codificador de posición ENC genera tres señales en respuesta: una primera señal de impulso A una vez para cada resolución angular, una segunda señal de impulso B que corresponde a la primera señal de impulso B pero desplazada en el tiempo, y una señal de reinicio Z en forma de un impulso por revolución de 360° completa. Estas señales A, B, Z se reciben por el procesador DSP que genera una posición angular procesada PAP en respuesta, tal como se explicó anteriormente. Además, el procesador DSP está dispuesto para generar una señal de error ERRS en caso de que se detecte un fallo en el codificador de posición ENC, tal como también se describió anteriormente. Un sistema de control CS gestiona la combinación de la potencia eléctrica del generador GEN a la red eléctrica EG. Para realizar esto, el sistema de control CS recibe la posición angular procesada PAP, y el sistema de control se dispone para recibir la señal de error ERRS para poder iniciar una parada controlada en respuesta. En el caso de una turbina eólica, es posible realizar una parada controlada en menos de un segundo.

La estrategia de gestión de error precisa que va a seguirse depende de varios factores en la configuración específica, sin embargo con la posición angular procesada PAP tal como se explicó anteriormente, un sistema de generador tendrá posibilidades mejoradas de mantener un funcionamiento normal. Al menos el sistema de generador tendrá suficiente tiempo para realizar una parada controlada, en caso de que el codificador de posición ENC falle.

Para resumir, la invención proporciona un sistema de generador de potencia eléctrica con eficacia de potencia mejorada debido a la sensibilidad reducida a errores en la detección de una posición de rotor angular. El sistema incluye un generador de potencia con un rotor, y un codificador de posición conectado para detectar una posición angular del rotor y generar una señal de posición por consiguiente. Un procesador recibe la señal de posición, calcula una posición angular en respuesta, calcula una posición angular estimada basándose en señales de posición recibidas anteriormente, y finalmente genera una posición angular procesada basándose en la posición angular calculada y la posición angular estimada. Esta posición angular procesada es una medición más fiable de la posición de rotor puesto que se basa en entradas de posición anteriores, preferiblemente varias entradas anteriores. Esto proporciona alta inmunidad frente a errores a corto plazo en la señal de posición, y por ejemplo para turbinas eólicas esto significa que el funcionamiento normal puede mantenerse en situaciones en las que el codificador de posición

5 falla temporalmente, y en case de un fallo completo, el funcionamiento puede mantenerse durante un tiempo suficiente para evitar paradas de emergencia. En las realizaciones preferidas, el procesador está dispuesto para filtrar previamente la señal de posición, es decir detectar y corregir antes de calcular la posición angular. Preferiblemente también incluye una gestión de errores basándose en comparar la posición angular estimada con la posición angular calculada y así determina una entrada para un estimador basado en un bucle de enganche de fase que también se usa para proporcionar la posición angular procesada.

10 Aunque la presente invención se ha descrito con respecto a las realizaciones especificadas, no debe interpretarse como que se limita de ningún modo a los ejemplos presentados. En el contexto de las reivindicaciones, los términos "incluyendo" o "incluye" no excluyen otros posibles elementos o etapas. Asimismo, no debe interpretarse que la mención de referencias tales como "un" o "una", etc. excluye una pluralidad. El uso de los signos de referencia en las reivindicaciones con respecto a elementos indicados en las figuras tampoco se interpretará como que limitan el alcance de la invención.

Son posibles variaciones y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de generador de potencia eléctrica que incluye
 - un generador de potencia (GEN) que incluye un rotor impulsado por un árbol,
 - un procesador (DSP) dispuesto
- 5
 - para calcular una posición angular (AP) en respuesta a una señal de posición (PS) que representa una posición angular del rotor,
 - para calcular una posición angular estimada (EAP) basándose en señales de posición recibidas anteriormente, y
 - para generar una posición angular procesada (PAP) basándose en comparar la posición angular (AP)
- 10 calculada y la posición angular estimada (EAP),
caracterizado porque
el sistema comprende un codificador de posición (ENC) dispuesto para detectar la posición angular del rotor a través de una conexión mecánica al árbol, y para generar dicha señal de posición (PS), y porque
el procesador (DSP) incluye una unidad de corrección (CORR) dispuesta para detectar y corregir tipos de errores predeterminados en la señal de posición (PS) antes de calcular la posición angular (AP), en el que el procesador (DSP) está dispuesto para corregir la señal de posición (PS) basándose en una propiedad almacenada anteriormente de al menos uno de: el codificador de posición (ENC), y el generador de potencia (GEN).
- 15
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el procesador (DSP) está dispuesto para corregir la señal de posición (PS) basándose en una resolución angular del codificador de posición (ENC).
- 20
3. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, en el que el procesador (DSP) está dispuesto para corregir la señal de posición (PS) basándose en una posible aceleración máxima del generador de potencia (GEN).
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la corrección de errores en la señal de posición (PS) incluye al menos uno de: eliminación de un pico (E1), eliminación de desplazamiento de valor (E2), limitación de aceleración angular que supera un valor predeterminado (E3), y compensación de número inesperado de impulsos por revolución (E4, E5).
- 25
5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procesador (DSP) incluye una unidad de estimación (EST) que incluye un bucle de enganche de fase (PLL), en el que la unidad de estimación (EST) genera la posición angular estimada (EAP) basándose en entradas de posición angular anteriores (EI).
- 30
6. Sistema según la reivindicación 5, en el que el procesador (DSP) está dispuesto para seleccionar aplicar la posición angular (AP) o la posición angular estimada (EAP) como entrada (EI) a la unidad de estimación (EST).
7. Sistema según la reivindicación 5 ó 6, en el que la posición angular procesada (PAP) es una salida del bucle de enganche de fase (PLL).
- 35
8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la posición angular estimada (EAP) se calcula a partir de la posición angular procesada (PAP) mediante un algoritmo de extrapolación (EX).
9. Sistema según la reivindicación 8, en el que el algoritmo de extrapolación (EX) se basa en asumir una velocidad angular constante del rotor.
- 40
10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 6-9, en el que el procesador (DSP) incluye una unidad de gestión de errores (EHU) dispuesta para detectar un error basándose en comparar la posición angular (AP) y la posición angular estimada (EAP), y en el que la unidad de gestión de errores (EHU) selecciona aplicar la posición angular estimada (EAP) como entrada (EI) a la unidad de estimación (EST) en caso de detectarse un error.
- 45
11. Sistema según la reivindicación 10, en el que la unidad de gestión de errores (EHU) está dispuesta para detectar un error en caso de que una diferencia entre la posición angular (AP) y la posición angular estimada (EAP) supere un valor predeterminado.
12. Sistema según la reivindicación 10 u 11, en el que la unidad de gestión de errores (EHU) está dispuesta para seleccionar emitir la posición angular estimada (EAP) como la posición angular procesada (PAP) en caso de detectarse un error.
- 50

13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en el que la unidad de gestión de errores (EHU) está dispuesta para generar una señal de error (ERRS), indicando que hay un error en el codificador de posición (ENC), tal como para generar la señal de error (ERRS) después de detectar un número de errores predeterminado durante un periodo de tiempo predeterminado.
- 5 14. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal de posición (PS) generada por el codificador de posición (ENC) es una señal de posición digital de tres hilos (A, B, Z), tal como la señal de posición (PS) que se muestrea a una frecuencia de muestreo de al menos 2 kHz, tal como a una frecuencia de muestreo de 5 kHz.
- 10 15. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de potencia (GEN) es un generador de inducción de doble alimentación.
16. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye además un sistema de control (CS) dispuesto para recibir la posición angular procesada (PAP) y para controlar por consiguiente al menos uno de: conexión eléctrica del generador de potencia (GEN) a una red eléctrica (EG), y un nivel de vibración del generador de potencia (GEN).
- 15 17. Sistema según la reivindicación 16, en el que el procesador está dispuesto para detectar un error en el codificador de posición (ENC) y para generar una señal de error (ERRS) por consiguiente, y en el que el sistema de control (CS) está dispuesto para iniciar un procedimiento de desconexión controlado de la red eléctrica (EG) en respuesta a la señal de error (ERRS).
- 20 18. Turbina eólica que incluye un sistema de generador de potencia según cualquiera de las reivindicaciones 1-17, tal como una turbina eólica dispuesta para suministrar potencia eléctrica a una red eléctrica (EG), y en la que la posición angular procesada (PAP) sirve para eliminar paradas de emergencia debido a un error en el codificador de posición (ENC).

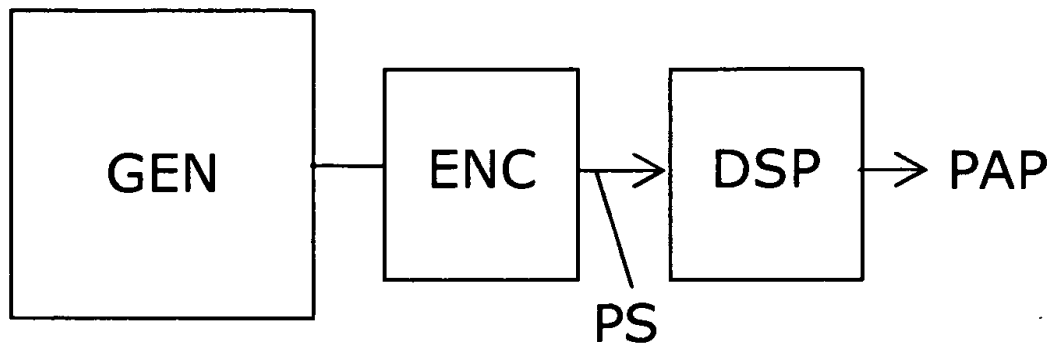


Fig. 1

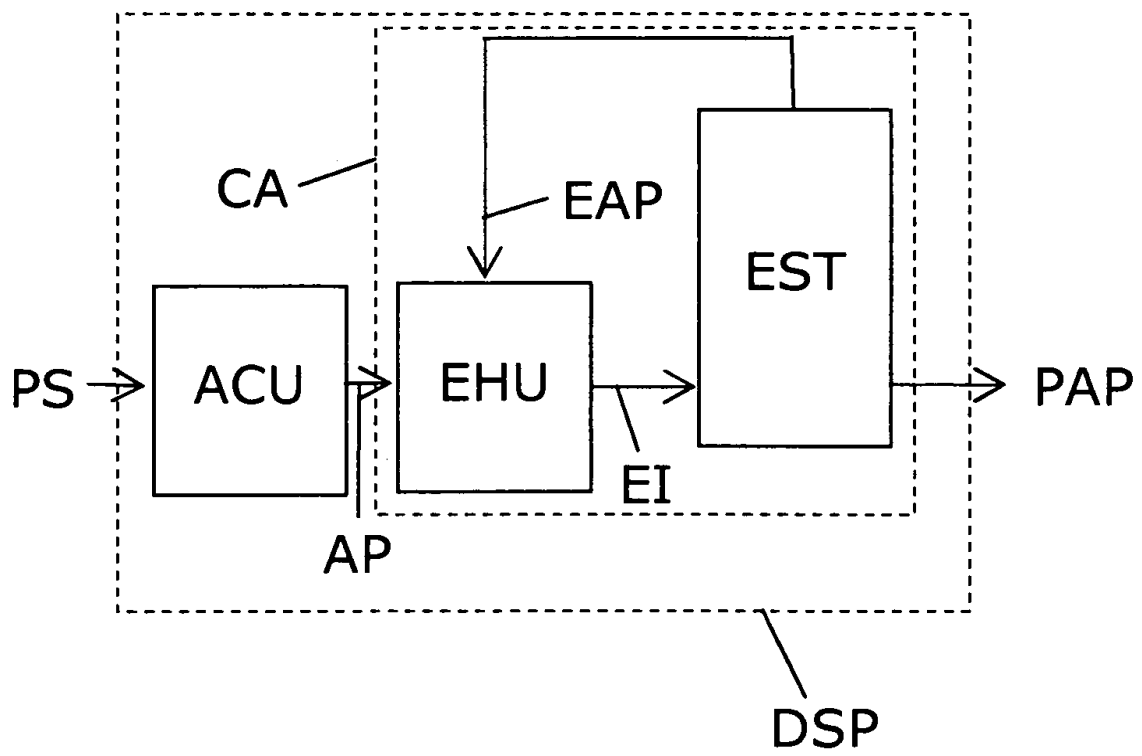


Fig. 2

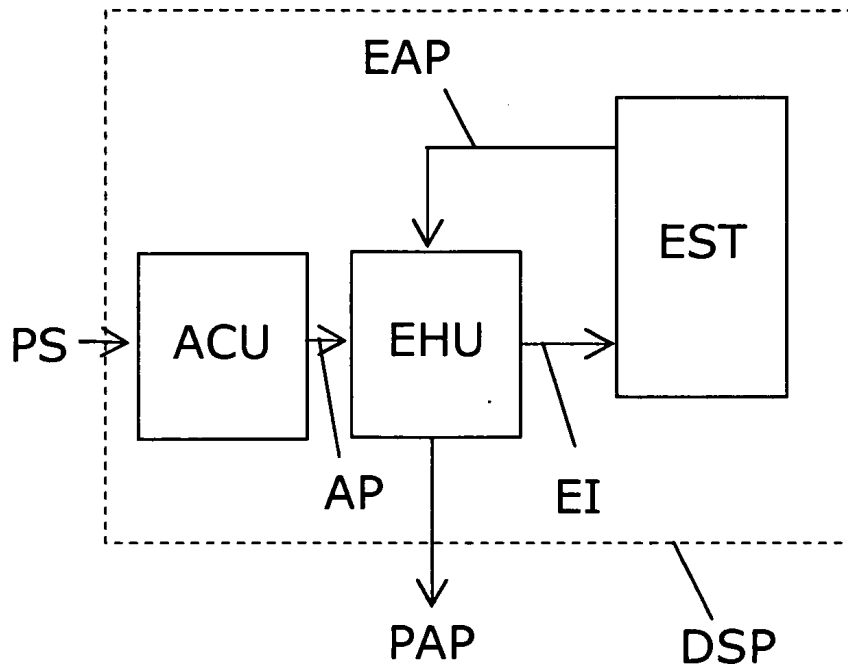


Fig. 3

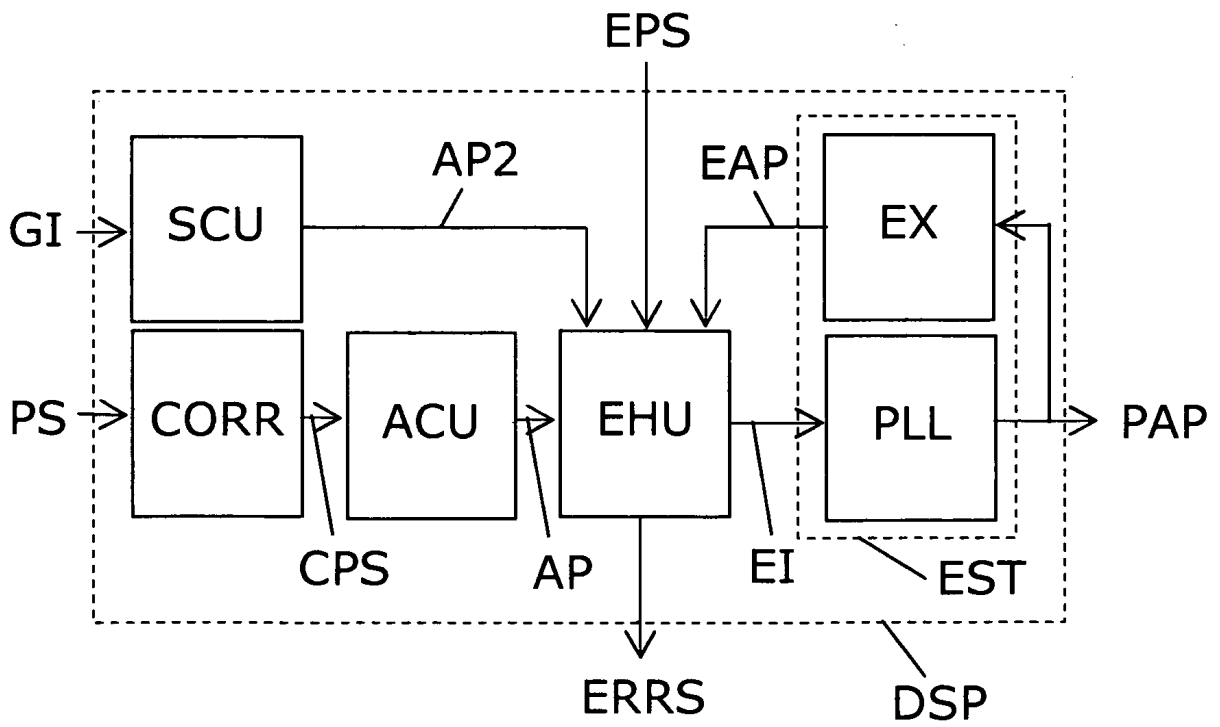


Fig. 4

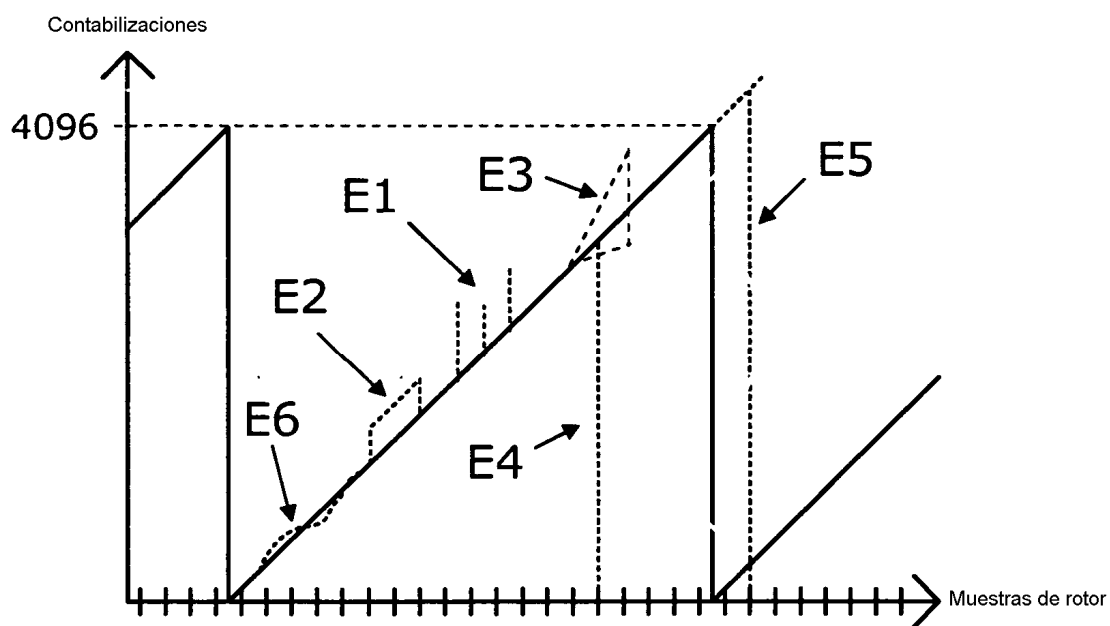


Fig. 5

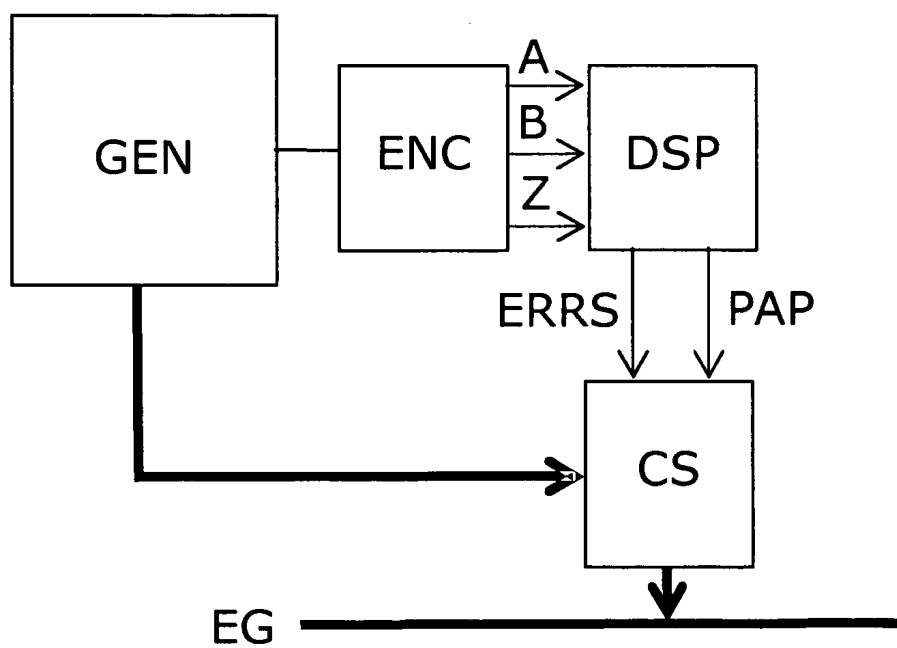


Fig. 6