

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 521**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2012** **E 12000563 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018** **EP 2481921**

54 Título: **Métodos y sistemas de control de aerogeneradores mejorados**

30 Prioridad:

31.01.2011 ES 201100090

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.09.2018

73 Titular/es:

GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
(100.0%)

Avenida Ciudad de la Innovación 9-11
31621 Sarriena, Navarra, ES

72 Inventor/es:

LOPEZ RUBIO, JOSE MARIA y
HERNANDEZ MASCARELL, OCTAVIO

ES 2 681 521 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

MÉTODOS Y SISTEMAS DE CONTROL DE AEROGENERADORES MEJORADOS

5

CAMPO DE LA INVENCION

10

La invención se refiere a métodos y sistemas de control de aerogeneradores mejorados y, en particular, a métodos y sistemas de control de aerogeneradores mejorados para limitar sobre velocidades causadas por ráfagas de viento.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

Los efectos dañinos de las ráfagas de viento en los aerogeneradores son bien conocidos en la técnica. Si la velocidad del viento aumenta en un pequeño intervalo de tiempo la velocidad del generador puede sobrepasar sus límites permitidos porque el controlador del aerogenerador no es capaz de generar una reacción suficientemente rápida y esto puede causar efectos dañinos en el generador y en otros componentes del aerogenerador.

20

En el caso de una ráfaga operativa extrema que también produce cargas extremas en los principales componentes estructurales tales como la raíz de la pala y el extremo inferior de la torre una solución típica es parar el aerogenerador. En este sentido WO 2004/077068 describe el uso de sistemas de radar óptico para detectar ráfagas mucho antes de que el cambio de viento alcance la torre del aerogenerador, de manera que las palas puedan posicionarse en bandera utilizando los medios de orientación de las palas.

25

Un enfoque conocido para afrontar las ráfagas de viento es usar los medios de control del par del generador para evitar problemas de sobre velocidad. Sin embargo, esta técnica implica riesgos de causar grandes cargas en varios componentes del aerogenerador.

30

Otro enfoque descrito por ejemplo en US 7,342,323 está basado en la medición de la velocidad del viento a una distancia deseada del aerogenerador

35

y controlar el ángulo de paso de las palas del aerogenerador utilizando dicha información "avanzada" de la velocidad del viento. Sin embargo, la complejidad y la falta de robustez de esta técnica implica problemas de confiabilidad.

US4193005A divulga un sistema de control del ángulo de paso de un aerogenerador.

WO 2007/138138 a nombre del solicitante describe una solución para una ráfaga extrema de viento que mantiene operativo el aerogenerador y minimiza los momentos de flexión realizando un aumento súbito del ángulo de paso de las palas saturando la tasa mínima de variación del ángulo de paso de las palas cuando se detecta la ráfaga extrema de viento. Esta técnica es aplicable a un caso muy particular de ráfaga de viento.

La presente invención está enfocada a encontrar una solución para esos inconvenientes.

SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos y sistemas de control de aerogeneradores confiables para limitar sobre velocidades causadas por ráfagas de viento.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar métodos y sistemas de control de aerogeneradores para limitar sobre velocidades causadas por ráfagas de viento capaces de reaccionar rápidamente a ellas sin mediciones avanzadas de la velocidad del viento y manteniendo al aerogenerador produciendo energía.

En un aspecto estos y otros objetos se consiguen mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1.

En realizaciones de la presente invención se proporciona/retira dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ a/de los medios de control del ángulo de paso de las palas dependiendo del valor de un interruptor que indica la presencia/ausencia de una ráfaga de viento

dependiendo de, al menos, los valores de la aceleración del generador A y la velocidad del generador Ω . Por tanto el método incluye pasos separados para calcular el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ necesario para contrarrestar el exceso de par aerodinámico debido a una "posible" ráfaga de viento y para detectar la presencia/ausencia de una ráfaga de viento según unas condiciones predeterminadas de la aceleración del generador y la velocidad del generador (e incluso un condición adicional definida por el usuario) de manera que el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ calculado se aplica únicamente cuando dicho interruptor está "On". Esto permite por un lado una reacción rápida a las ráfagas de viento y por otro lado evita reacciones innecesarias en ciertas condiciones de viento turbulento.

En realizaciones de la presente invención dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ se determina como una función de, al menos, el exceso de par aerodinámico T_{exc} debido a la ráfaga de viento (el producto de la aceleración del generador y el momento de inercia total) y la sensibilidad del par al ángulo de paso de las palas T_{sens} (calculado a partir de una tabla determinada obtenida de simulaciones estáticas porque es una variable dependiente de muchas características físicas del aerogenerador). Por tanto, la acción de variación del ángulo de paso de las palas para reaccionar a las ráfagas de viento, se hace dependiente no solo de una variable dependiente de la ráfaga de viento (la aceleración del generador) sino también de una características físicas del aerogenerador con lo que se consigue una reacción más controlada a las ráfagas de viento.

En realizaciones de la presente invención dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ se determina también teniendo en cuenta el incremento esperado de la velocidad del generador $\Delta\Omega$ debido a la ráfaga de viento y a la cercanía de la velocidad del generador Ω a un umbral predeterminado. Por tanto, se usan variables adicionales para controlar la

acción de variación del ángulo de paso de las palas que puede llevar al aerogenerador cerca de sus límites operativos.

En otro aspecto, los objetos mencionados anteriormente se consiguen con un aerogenerador de acuerdo a la reivindicación 4.

En realizaciones de la presente invención la disposición del sistema de control para llevar a cabo dicha regulación adicional comprende un módulo para obtener dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ y un interruptor Sw para habilitar/deshabilitar dicha regulación adicional que tiene: un primer sub-módulo para calcular la aceleración del generador A y la referencia de la aceleración del generador A_{ref} dependiendo respectivamente de la velocidad filtrada del generador Ω y de la referencia de la velocidad del generador Ω_{ref} usada por los medios de control del ángulo de paso de las palas; un segundo sub-módulo para calcular el exceso del par aerodinámico T_{exc} añadido por la ráfaga de viento y el incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ para salvar dicho exceso dependiendo al menos del valor medio θ_{mean} del ángulo de paso de las palas medido y de la inercia del aerogenerador; un tercer sub-módulo para calcular el incremento esperado de la velocidad del generador $\Delta\Omega$ asumiendo que las palas variarán su ángulo de paso a la máxima velocidad permitida; un cuarto sub-módulo para calcular un factor de ponderación G a ser aplicado al incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ dependiendo del incremento esperado de la velocidad del generador $\Delta\Omega$ y de la cercanía de la velocidad del generador Ω a un valor umbral; un quinto submódulo para calcular el interruptor de habilitación/deshabilitación dependiendo al menos de la velocidad del generador Ω y de la aceleración del generador A ; un sexto sub-módulo para calcular el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ para ser proporcionado a los medios de control del ángulo de paso.

Por tanto, la implementación de la regulación adicional según la presente invención se realiza usando, por un lado, señales disponibles en el sistema de

control de aerogenerador y, por otro lado, variables dependientes de dichas señales fáciles de calcular y parámetros de configuración relativos a características físicas relevantes del aerogenerador. Esto permite una implementación simple y robusta de dicha regulación adicional.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción detallada de una realización ilustrativa y no limitativa de su objeto en relación con las figuras que se acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un aerogenerador.

La Figura 2 muestra una típica curva de producción de un aerogenerador.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de bloques de la regulación adicional según la presente invención.

Las Figuras 4-9 son diagramas esquemáticos de bloques de una realización de la regulación adicional según la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Un aerogenerador 11 convencional comprende una torre 13 soportando una góndola 21 que alberga un generador 19 para convertir la energía rotacional del rotor del aerogenerador en energía eléctrica. El rotor del aerogenerador comprende un buje de rotor 15 y, normalmente, tres palas 17. El buje del rotor 15 está conectado bien directamente o a través de una multiplicadora al generador 19 del aerogenerador para transferir el par generado por el rotor 15 al generador 19 incrementando la velocidad del eje a fin de alcanzar una velocidad rotacional apropiada del rotor del generador.

La energía producida por un aerogenerador moderno está controlada normalmente por medios de un sistema de control para regular el ángulo de paso de las palas del rotor y el par motor del generador. La velocidad rotacional

del rotor y la producción de energía de un aerogenerador pueden ser pues controladas inicialmente.

Por debajo de la velocidad de corte V_{out} el sistema de control del aerogenerador está dispuesto para regular la producción de energía según una curva que define la relación funcional deseada entre potencia y velocidad para alcanzar una producción ideal. Una curva de ese tipo es la curva 25 de la Figura 2 que muestra que la producción de energía P se incrementa desde una mínima velocidad del viento V_{min} hasta la velocidad nominal del viento V_n y entonces permanece constante en el valor nominal de producción de energía hasta la velocidad de corte del viento V_{out} donde decrece hasta 0.

Para implementar esa regulación una unidad de control recibe datos de entrada tales como la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso de las palas θ , la producción de energía P desde bien conocidos dispositivos de medida y envía datos de salida θ_{ref} , T_{ref} a, respectivamente, el sistema actuador el ángulo de paso de las palas para cambiar la posición angular de las palas 17 y a una unidad de comando del generador para cambiar la referencia para la producción de energía.

Según la presente invención el sistema de control también está dispuesto para aplicar una regulación adicional en caso de ráfagas de viento (es decir, una regulación que se habilita cuando se detecta una ráfaga de viento y que se deshabilita cuando termina la ráfaga de viento) que incrementa la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ proporcionada al actuador del ángulo de paso de las palas en la magnitud necesaria para evitar que el par aerodinámico añadido por la ráfaga de viento sobrepasa un límite predeterminado.

Como se muestra en la Figura 3 las entradas básicas a la unidad de control que implementa dicha regulación son las siguientes: la velocidad del generador Ω , la velocidad filtrada del generador Ω_{fil} usada en el controlador el ángulo de paso de las palas, la referencia de la velocidad del generador Ω_{ref} generada por dicho controlador el ángulo de paso de las palas y el valor medio

θ_{mean} del ángulo de paso de las palas (un valor no filtrado de los ángulos de paso de las palas medidos). Las salidas son el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ a ser proporcionado al sistema actuador del ángulo de paso de las palas y un interruptor Sw para habilitar/deshabilitar la regulación adicional del ángulo de paso de las palas.

Dicha unidad de control 31 comprende un módulo implementando un algoritmo apropiado para determinar el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ en la magnitud necesaria para evitar que el par aerodinámico añadido por la ráfaga de viento sobrepase un límite predeterminado

En una realización preferente dicho algoritmo se implementa por medio de los sub-módulos mostrados en las Figuras 4 a 9.

En el primer sub-módulo mostrado en la Figura 4 la aceleración del generador A se calcula en el bloque 33 como la derivada de la velocidad del generador Ω_{fil} . La referencia de la aceleración del generador A_{ref} también se calcula en el bloque 35 como la derivada de la referencia de la velocidad del generador Ω_{ref} .

En el segundo sub-módulo mostrado en la Figura 5 se calculan el exceso del par aerodinámico T_{exc} y el incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ para limitar dicho exceso.

El exceso del par aerodinámico T_{exc} se calcula (bloque 43) como el producto de la aceleración del rotor A_{rot} y el momento de inercia total P2. La aceleración del rotor A_{rot} se calcula (bloque 41) a partir de la aceleración del generador aceleración A y de la relación de multiplicación del tren de potencia P1.

La sensibilidad del par T_{sens} para el valor medio θ_{mean} de los ángulos de paso de las palas medidos se calcula (bloque 47) a partir de un parámetro de referencia de la sensibilidad P3 y de un factor adicional (bloque 45) dependiente de θ_{mean} que corrige la sensibilidad no lineal de la sensibilidad del par al ángulo de paso de las palas.

A partir del exceso del par aerodinámico T_{exc} y de la sensibilidad del par T_{sens} se calcula el incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ (bloque 49). Este es pues el incremento necesario del ángulo de paso de las palas para mantener el valor actual del par aerodinámico.

En el tercer módulo mostrado en la Figura 6 se calculan los incrementos de sobre-velocidad ΔV_{rot} , $\Delta\Omega$ debidos a la ráfaga de viento asumiendo que las palas variarán el ángulo de paso de las palas a la máxima velocidad permitida $P4$. Esos incrementos se calculan (bloques 53, 55) a partir de la aceleración del rotor A_{rot} y la derivada de la deceleración impuesta por la máxima velocidad permitida $P4$ cuyo valor (bloque 51) es directamente proporcional a la sensibilidad del par T_{sens} a la máxima velocidad permitida $P4$ e inversamente proporcional al momento de inercia total del rotor $P2$.

En el cuarto sub-módulo mostrado en la Figura 7 se calcula un factor de ponderación G del incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ dependiendo del incremento de la sobre-velocidad del generador $\Delta\Omega$ debido a la ráfaga de viento y a la cercanía de la velocidad del generador Ω a un umbral de sobre-velocidad del generador de parada $P4$ (bloques 61, 63, 65). El factor de ponderación G es tanto mayor cuando mayor sea el incremento esperado de la sobre-velocidad del generador $\Delta\Omega$. El factor de ponderación G también es tanto mayor cuando más cercana esté la velocidad del generador al umbral de sobre-velocidad del generador de parada $P4$.

En el quinto sub-módulo mostrado en la Figura 8 se calcula (bloque 75) un interruptor para habilitar/deshabilitar el algoritmo de cara a limitar su actuación. En este sentido se tienen en cuenta tres condiciones.

La primera condición (bloque 71) es que la velocidad del generador Ω sea mayor que un valor umbral $P6$ por debajo del valor de la velocidad nominal del generador $P5$ para habilitar el algoritmo.

La segunda condición (bloque 73) es que la aceleración del generador A sea mayor que un valor umbral $P7$ para evitar la habilitación del algoritmo en

procesos de arranque. La referencia de la aceleración del generador A_{ref} también se tiene en consideración.

La tercera condición es un parámetro definido por el usuario $P8$ para habilitar/deshabilitar el algoritmo.

Finalmente en el sexto sub-módulo mostrado en la Figura 8 se calcula el incremento del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ (bloque 81) aplicando el factor de ponderación G un factor de ponderación definido por el usuario al incremento requerido del ángulo de paso de las palas. Si el interruptor para habilitar/deshabilitar el algoritmo está On, entonces se proporciona el incremento del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ al controlador del ángulo de paso de las palas.

Las principales características diferenciales de la regulación de ráfagas de viento según la presente invención respecto a la técnica anterior son las siguientes:

- Solo se usan valores medios de la velocidad del generador Ω y del ángulo de paso de las palas θ que son señales confiables y disponibles en el aerogenerador. No se usan medidas de la velocidad del viento proporcionadas por el anemómetro del aerogenerador o por otros dispositivos situados bien en el aerogenerador o fuera de él para medir la velocidad del viento porque proporcionan mediciones atrasadas o mediciones poco robustas.

- Tiene en cuenta la física del aerogenerador, es decir, la aerodinámica y la mecánica del aerogenerador. El par aerodinámico recibido por el aerogenerador depende de la aerodinámica del rotor. Análogamente, la aceleración del aerogenerador y por tanto la sobre-velocidad es inversamente proporcional a la inercia del aerogenerador.

- Permite que los medios de control puedan reaccionar rápidamente a las ráfagas de viento y mantener el aerogenerador produciendo energía de un modo seguro.

Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas

modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1.- Un método de operación de un aerogenerador de velocidad variable con medios de control del par y del ángulo de paso de las palas, caracterizado porque incluye pasos adicionales para proporcionar a los medios de control del ángulo de paso de las palas en caso de una ráfaga de viento un incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ en la magnitud necesaria para evitar que el par aerodinámico añadido por la ráfaga de viento sobrepase un límite predeterminado, siendo ese incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ se determina como una función de, al menos, el exceso de par aerodinámico T_{exc} debido a la ráfaga de viento y la sensibilidad del par al ángulo de paso de las palas T_{sens} y siendo esos pasos adicionales habilitados cuando se detecta una ráfaga de viento en las condiciones predefinidas y se deshabilita cuando dicha ráfaga de viento termina.

2.- Un método según la reivindicación 1, en el que se proporciona/retira dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ a/de los medios de control del ángulo de paso de las palas dependiendo del valor de un interruptor que indica la presencia/ausencia de una ráfaga de viento dependiendo de, al menos, los valores de la aceleración del generador A y la velocidad del generador Ω .

3.- Un método según la reivindicación 1, en el que dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ se determina como función del valor esperado del incremento de velocidad del generador $\Delta\Omega$ debido a la ráfaga de viento y a la cercanía de la velocidad del generador Ω a un umbral predeterminado.

4.- Aerogenerador que comprende:

- una torre (13) y una góndola (21) que aloja un generador (19) accionado por un rotor eólico formado por un buje de rotor (15) y una o más palas (17);

- dispositivos de medida de, al menos, la velocidad del generador Ω y el ángulo de paso θ de cada pala;

- un sistema de control conectado a dichos dispositivos de medida y a, al menos, los actuadores de control del ángulo de paso de las palas y del par motor, estando dispuesto el sistema de control para llevar a cabo una regulación del aerogenerador de acuerdo con una determinada curva de potencia (25) para velocidades de viento por debajo de la velocidad de corte V_{out} ,

caracterizado porque el sistema de control también está dispuesto para llevar a cabo una regulación adicional para ráfagas de vientos proporcionando a los medios de control del ángulo de paso de las palas un incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ en la magnitud necesaria para evitar que el par aerodinámico añadido por la ráfaga de viento sobrepase un límite predeterminado, dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ estando determinado como una función de al menos el exceso de par aerodinámico T_{exc} debido a la ráfaga de viento y la sensibilidad del par al ángulo de paso de las palas T_{sens}

estando habilitada dicha regulación adicional cuando tiene lugar una ráfaga de viento que cumpla unas condiciones predefinidas y deshabilitada cuando dicha ráfaga de viento termina.

5.- Aerogenerador según la reivindicación 5, en el que la disposición del sistema de control para llevar a cabo dicha regulación adicional comprende un módulo (31) para obtener dicho incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ y un interruptor Sw para habilitar/deshabilitar dicha regulación adicional, comprendiendo dicho módulo:

- un primer sub-módulo para calcular la aceleración del generador A y la referencia de la aceleración del generador A_{ref} dependiendo respectivamente de

la velocidad filtrada del generador Ω y de la referencia de la velocidad del generador Ω_{ref} usada por los medios de control del ángulo de paso de las palas;

- un segundo sub-módulo para calcular el exceso del par aerodinámico T_{exc} añadido por la ráfaga de viento y el incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ para salvar dicho exceso dependiendo al menos del valor medio θ_{mean} del ángulo de paso de las palas medido y de la inercia del aerogenerador;

- un tercer sub-módulo para calcular el incremento esperado de la velocidad del generador $\Delta\Omega$ asumiendo que las palas variarán su ángulo de paso a la máxima velocidad permitida;

- un cuarto sub-módulo para calcular un factor de ponderación G a ser aplicado al incremento requerido de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{req}$ dependiendo del incremento esperado de la velocidad del generador $\Delta\Omega$ y de la cercanía de la velocidad del generador Ω a un valor umbral;

- un quinto sub-módulo para calcular el interruptor de habilitación/deshabilitación dependiendo al menos de la velocidad del generador Ω y de la aceleración del generador A ;

- un sexto sub-módulo para calcular el incremento de la referencia del ángulo de paso de las palas $\Delta\theta_{ref}$ a ser proporcionado a los medios de control del ángulo de paso.

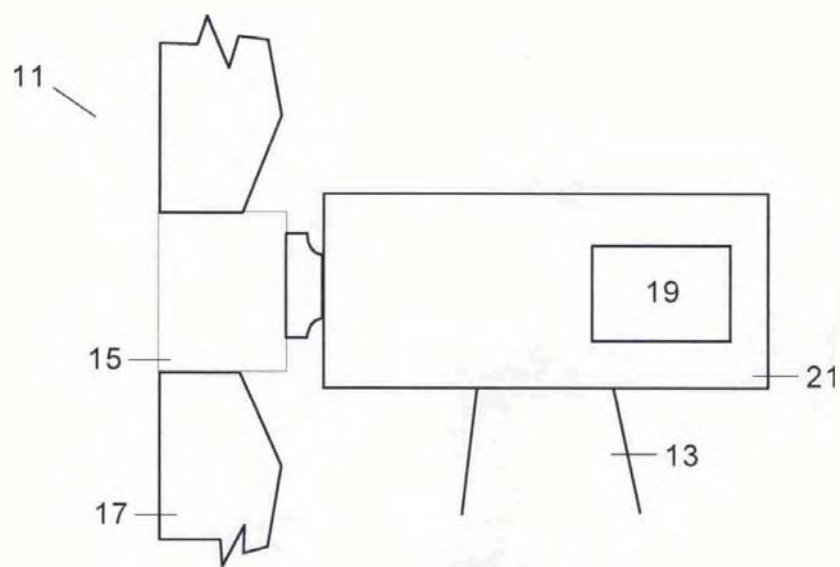


FIG. 1

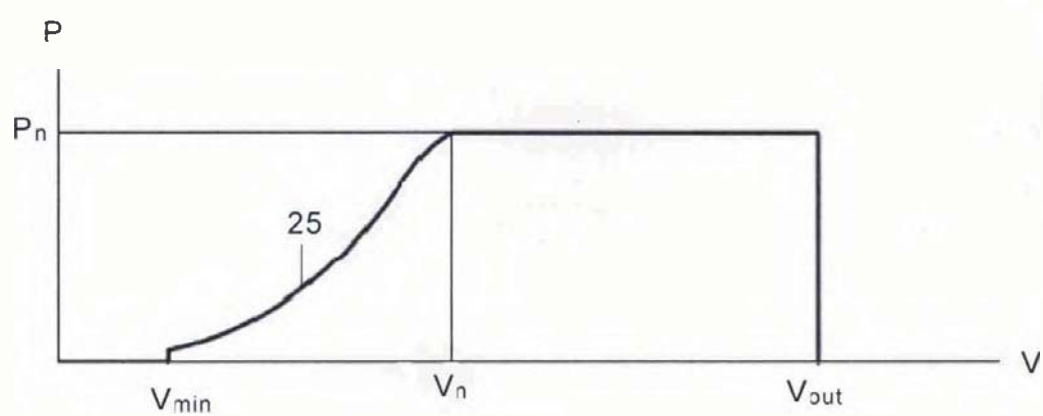


FIG. 2

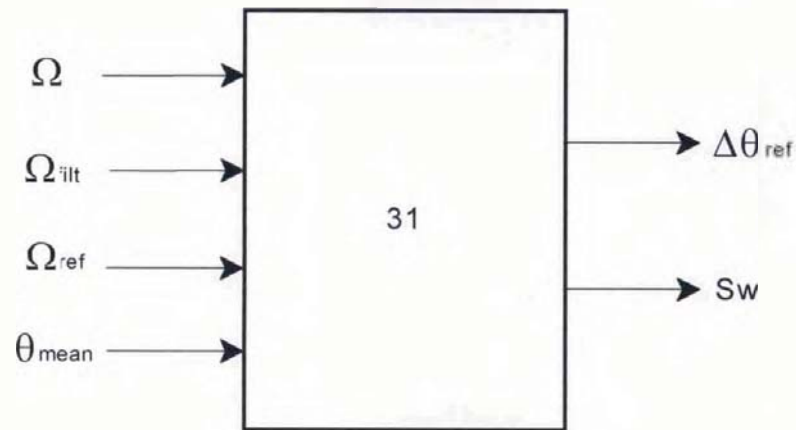


FIG. 3

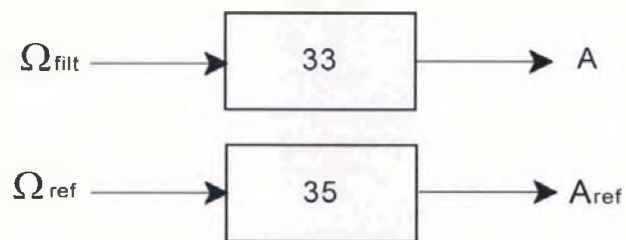


FIG. 4

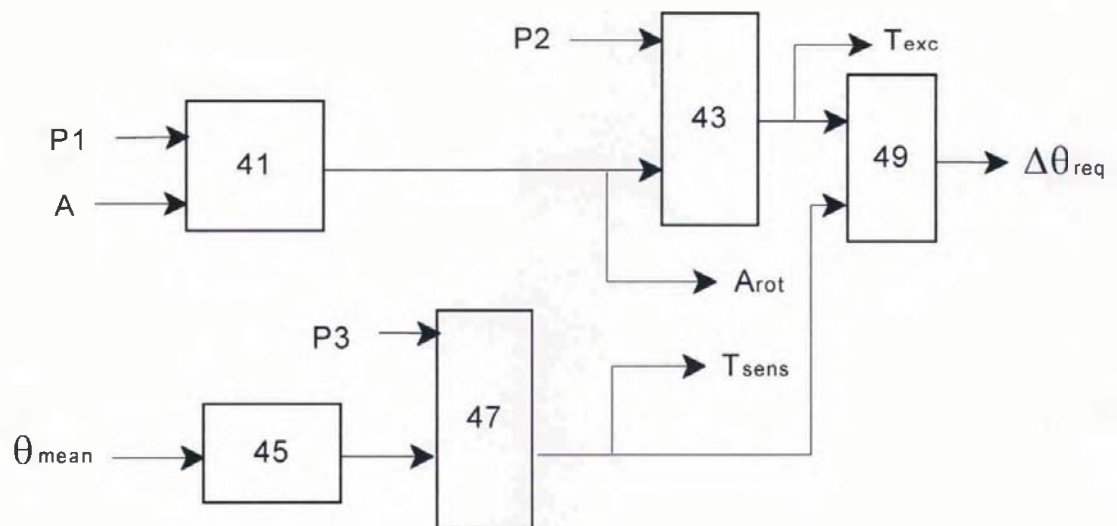


FIG. 5

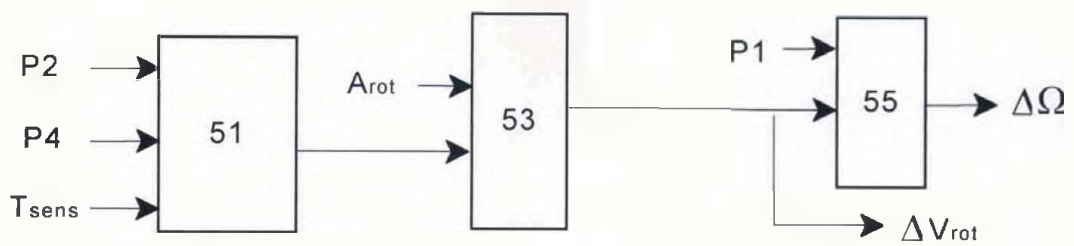


FIG. 6

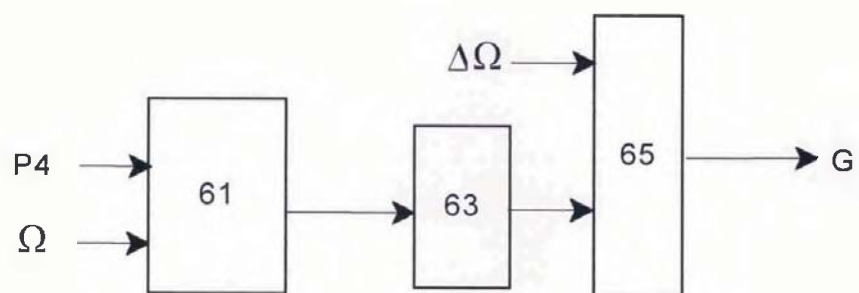


FIG. 7

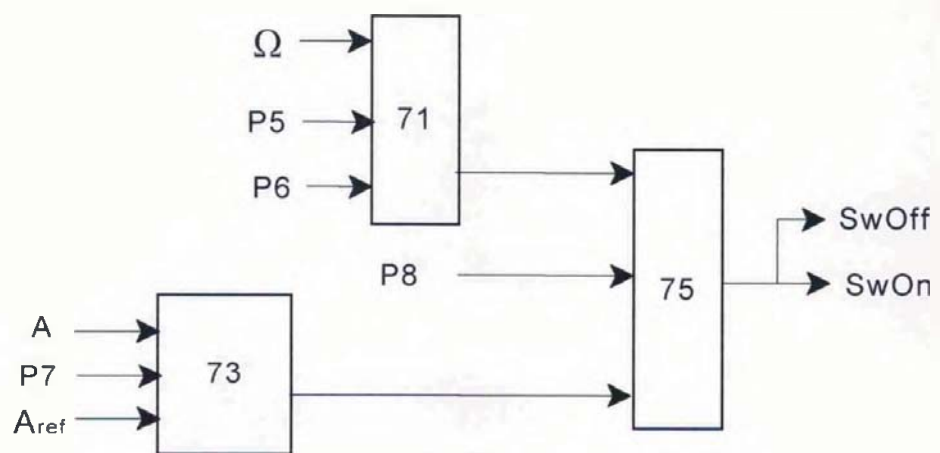


FIG. 8

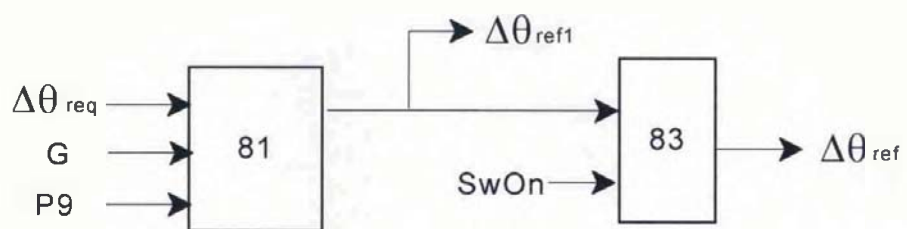


FIG. 9