

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 452**

21 Número de solicitud: 201231088

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

11.07.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.02.2014

71 Solicitantes:

ACCIONA WINDPOWER, S.A. (100.0%)
AVDA. CIUDAD DE LA INNOVACIÓN, N° 5
31621 SARRIGUREN (Navarra) ES

72 Inventor/es:

GARCIA BARACE, Alberto;
LUQUIN HERMOSO DE MENDOZA, Oscar;
EGAÑA SANTAMARINA, Igor;
ARLABAN GABEIRAS, Teresa;
TONKS, Stephen;
GARCIA SAYES, Jose Miguel y
NUÑEZ POLO, Miguel

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **MÉTODO DE CONTROL DE AEROGENERADOR**

57 Resumen:

Método de control de aerogenerador.

Se describe un método de control de aerogeneradores que comprende el detectar la presencia de anomalía en el perfil aerodinámico de las palas y actuar el aerogenerador en función no sólo de la determinación de dicha anomalía, sino también teniendo en cuenta las características de la misma.

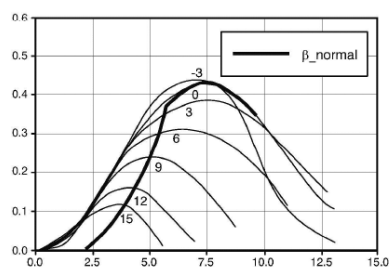


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

Método de control de aerogenerador.

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se enmarca en el campo de la generación de electricidad mediante la transformación de energía eólica.

El objeto de la invención consiste en un método de control de aerogeneradores que tiene en cuenta la condición aerodinámica de los perfiles de las palas para la modificación de al menos un parámetro de control, con la finalidad de aumentar la disponibilidad del mismo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La deposición de hielo u otro tipo de material no deseado en las palas de los aerogeneradores dañan el buen funcionamiento de los mismos, dicha deposición comportando, entre otras consecuencias, la modificación de la geometría del perfil aerodinámico de las palas y conllevando una mala distribución de cargas y esfuerzos tanto en el rotor como en otros componentes del aerogenerador. Dicho problema es bien conocido y se encuentran en el estado de la técnica múltiples soluciones para detectar, determinar o monitorizar cambios en el perfil aerodinámico de las palas, o para detectar directamente la formación de hielo.

Para intentar aportar una solución a dicho problema se encuentran a día de hoy soluciones como la descrita en el documento US7086834B2 que describe cómo se detecta el hielo en las palas de un aerogenerador.

Asimismo se conoce el documento US2011042950 (A1), el cual detalla un sistema para cuantificar la cantidad de hielo formado en las palas y continuar operando en caso de que el hielo depositado sea menor que una cierta cantidad predeterminada; si esa cantidad se supera, el aerogenerador pasa a un modo de funcionamiento sin carga en que se sigue cuantificando el hielo de las palas.

En el documento ES2293269T3 se detalla un método para detectar hielo en un aerogenerador, en el que se cambia el modo de funcionamiento del aerogenerador si se determinan ciertos valores mediante sensores cuyo resultado se compara con unos valores de parámetros de funcionamiento predefinidos de la instalación de energía eólica; si la comparación determina un valor de diferencia estimado previamente, se hace efectivo el cambio

En el documento US8096761B2 se describe un método de gestión de una turbina de viento, el cual detalla un método para determinar el valor de paso de pala mínimo dependiendo del valor que toma la eficiencia de la pala calculada en función de la velocidad de viento y la velocidad de rotor y mantener el ángulo de inclinación de pala en un valor mayor o igual que el valor de paso de pala mínimo determinado en respuesta al parámetro eficiencia de pala independiente de la programación de parámetros operativos.

Ninguno de dichos documentos aporta una solución válida al problema de aumentar la disponibilidad del aerogenerador en situaciones en las cuales se determina alguna variación en el perfil aerodinámico de las palas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

A la vista del problema anteriormente planteado se aporta una solución válida al problema de aumentar la disponibilidad del aerogenerador, adecuando para ello el control al tipo de condición aerodinámica y másica para incrementar la producción de energía. Dicha solución toma forma en el método objeto de la invención, el cual aporta un procedimiento de control del aerogenerador en situaciones en las que se produce una variación de los perfiles aerodinámicos de las palas. Dicho procedimiento de control comprende dos fases o etapas principales:

- Una primera fase de detección y diagnóstico de las características de la variación en la geometría de los perfiles (discriminando si esta variación se realiza de manera equilibrada entre las palas, normalmente tres palas).
- Una segunda fase de, sabiendo cómo es dicha variación, llevar a cabo una modificación de los parámetros de control del aerogenerador.

Tal y como se indica en el párrafo anterior el método de control de aerogenerador aquí descrito comienza con una determinación de variaciones en el perfil dinámico de al menos una de las palas. Dicha determinación se basa en la obtención, mediante una serie de sensores, de al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador, y el cálculo de una primera señal sensible a variaciones desequilibradas del perfil aerodinámico entre las palas, mediante la aplicación de un cálculo del armónico 1p a la frecuencia de giro del rotor a partir del al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador. Dicho dato representativo del estado de operación del aerogenerador puede ser un dato de velocidad de giro y/o par y/o cargas sobre el aerogenerador, o bien una medición de una variable eléctrica como la potencia generada; siendo estos datos captados por lo sensores con una determinada frecuencia de muestreo superior a 10 veces la frecuencia de giro del rotor.

Dicha primera señal obtenible a partir de los datos captados, independientemente del sistema que se utilice para dicha captación, es sensible a variaciones desequilibradas del perfil aerodinámico entre las palas; es decir cualquier variación desequilibrada influye en dicha primera señal, al igual que cualquier segunda o tercera señal que se calcule o determine a partir de al menos un dato captado por los sensores, de tal manera que la presencia de variaciones desequilibradas repercute directamente en el valor o forma de dicha primera señal.

Para determinar si existe variación desequilibrada entre todas las palas del aerogenerador o no se realiza una comparación de la primera señal con un primer valor umbral que va a determinar una posible amplificación de dicho armónico 1p a la frecuencia de trabajo del rotor en ese momento.

Si se determina que la variación se lleva a cabo de forma desequilibrada, dado que al realizar la comparación entre la primera señal calculada y el primer valor umbral se ve que la primera señal rebasa dicho primer umbral, se procede a modificar al menos un lazo de control de par. El hecho de que la primera señal rebase el primer umbral indica un incremento del armónico 1p (resultado del cálculo aplicado a los datos captados por los sensores) por encima del valor de armónico 1p predeterminado como primer valor umbral.

Dicha modificación en el lazo de control de par conlleva incluir un primer filtro a la frecuencia 1p a la salida del regulador del lazo de control de par, si bien la citada modificación puede incluir también la alteración del lazo de control de paso de pala incluyendo un segundo filtro a la correspondiente frecuencia 1p, en el caso de determinar una variación desequilibrada en el perfil aerodinámico de las palas.

Cabe destacar que el método aquí descrito tiene en cuenta que el hecho de que no se detecte que existe una variación desequilibrada, no implica que no exista variación equilibrada (es decir una variación aerodinámica y/ o másica de los perfiles de las palas aproximadamente igual en todas las palas). Ésta puede existir y genera una serie de cargas que son perjudiciales para el rotor del aerogenerador; es por ello que se contempla asimismo un paso adicional en el método de control para determinar dicha circunstancia que puede requerir de datos no comprendidos en la primera señal. Para ello se puede hacer necesario llevar a cabo la determinación de una variación equilibrada con respecto a un estado de operación normal, para lo cual se realiza una comparación de una segunda señal relacionada con el pitch actual, con un cuarto valor umbral correspondiente a un valor de paso de pala superior a un paso de pala de entrada en pérdida.

Con el fin de aumentar la disponibilidad del aerogenerador en este evento, se incluye el paso de modificar transitoriamente el límite mínimo de ángulo de pala en el lazo de control de pitch para igualarlo a un valor mayor o igual que el valor del cuarto umbral. El cuarto umbral puede ser un valor constante y predeterminado o puede ser dependiente de la velocidad del viento.

En una realización alternativa del objeto de la invención se puede realizar, de forma adicional o no, una comparación de la señal con un tercer valor umbral, donde dicho tercer valor umbral es mayor que el primer valor umbral y es un valor correspondiente una valor a partir del cual se procede a la desconexión del aerogenerador. Adicionalmente se puede realizar la comparación de la segunda señal con un quinto valor umbral para proceder a la desconexión del aerogenerador.

En cualquiera de las posibles realizaciones en las cuales se usan distintos umbrales, parámetro y valores se consigue aumentar la disponibilidad del aerogenerador y por tanto la energía producida por el mismo, a partir de la adecuación del control ante la detección de anomalías en el rotor del mismo.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una gráfica donde se aprecian las curvas de potencia en función de λ y β y la evolución del ángulo de pitch en operación normal.

Figura 2a.- Muestra un diagrama del lazo de control de pitch según la invención.

Figura 2b.- Muestra un diagrama del lazo de control de par del método objeto de la invención.

Figura 2c.- Muestra un diagrama de flujo donde se aprecia la secuencia que determina la activación del primer y / o segundo filtro en los lazos de control de par y pitch.

Figura 3.- Muestra una gráfica donde se aprecia la evolución de E1p y S1p.

Figura 4.- Muestra un diagrama de bloque donde se ilustra el proceso de cálculo de E1p (energía 1p).

Figura 5.- Muestra una gráfica donde se aprecia la evolución de los parámetros de control de pitch en función del viento donde se observa la zona de entrada en pérdida aerodinámica y la zona de operación normal a ambos lados de la línea discontinua.

Figura 6.- Muestra una gráfica donde se aprecia la evolución de los parámetros de control de pitch en función del viento donde la curva central representa la evolución de valores de umbral.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A la vista de las figuras se describe a continuación un modo de realización preferente del objeto de esta invención.

La presente idea permite continuar operando el aerogenerador en situaciones en las que el rotor presenta una anomalía aerodinámica o másica haciendo uso del método aquí descrito ilustrado en la Figura 2c.

- Una primera fase de detección y diagnóstico de una variación de las propiedades físicas de las palas con respecto a las de diseño (discriminando si esta variación se realiza de manera equilibrada entre las tres palas).
- Una segunda fase de, sabiendo cómo es, modificación de los parámetros de control del aerogenerador.

Tal y como se conoce actualmente un tipo de variación de las propiedades físicas de las palas es la variación aerodinámica y/o másica asociada a la deposición de hielo o suciedad en palas, cuyo efecto es, entre otros, la modificación de las curvas $C_p(\lambda, \beta)$ que definen los coeficientes de potencia de las palas para cada punto de trabajo (λ se define como el cociente entre la velocidad lineal de la punta de la pala y la velocidad de viento y β corresponde al ángulo de paso de la pala o ángulo de pitch).

En la Figura 1 se muestran las curvas de potencia típicas de un aerogenerador para diferentes ángulos de paso de pala, que determinan la potencia captada por el rotor del aerogenerador dependiendo de la velocidad de giro y del área barrida, tal y como se indica en la siguiente fórmula.

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p(\lambda, \Omega, \beta) \cdot A \cdot V^3 \cdot \rho$$

En dicha Figura 1 también se puede observar una curva estática que sigue el ángulo de paso de pala comandada por el controlador del aerogenerador en situación normal según el estado de la técnica: generalmente la posición de 0° se selecciona para trabajar en las proximidades del C_p máximo en la zona de velocidad variable del aerogenerador; una vez se alcanza potencia nominal, el controlador aumenta el ángulo de paso de pala de consigna con el fin de controlar la velocidad de giro del rotor en torno a la velocidad de giro nominal (ω_{ref}). Las curvas $C_p(\lambda, \beta)$ son muy sensibles a cambios en la forma de los perfiles, que suceden cuando hay hielo o suciedad en las palas. El hielo puede depositarse sobre las palas de manera equilibrada, es decir, en la misma forma y cantidad en todas las palas cuando el aerogenerador está girando; o de manera desequilibrada, es decir, en distinta forma y cantidad entre al menos dos palas del aerogenerador, situación que se da habitualmente cuando el aerogenerador está parado o al desprenderse el hielo de una de las palas.

Una modificación desequilibrada (o no equilibrada) de forma o masa de los perfiles de las palas, provoca la aparición de valores del armónico 1p (a la frecuencia de giro del rotor) en determinados datos representativos del estado del aerogenerador, como la velocidad de giro del rotor, el par y las cargas sobre el aerogenerador, que son superiores a la operación sin desequilibrio en el rotor. Esto puede resultar perjudicial en cargas para el aerogenerador pues empeora el comportamiento a fatiga del mismo, por lo que una vez superado un nivel de energía en el armónico 1p, es decir, una vez detectado un desequilibrio en las palas, un controlador según el estado de la técnica parará el aerogenerador, provocando la no disponibilidad del mismo y una disminución de la energía producida.

Alternativamente a la detección de un valor de energía 1p superior a un valor límite, podría llevarse a cabo una inspección óptica mediante sensores que captan la forma de los perfiles de las palas para la detección de un desequilibrio en las palas.

Con el fin de discriminar la existencia de una variación desequilibrada de la geometría de los perfiles de las palas del aerogenerador y limitar la no disponibilidad del aerogenerador, según el método de control propuesto en la presente invención, se llevan a cabo los siguientes pasos, tal y como se muestra en las Figuras 2c, 3 y 4:

- Se determina, mediante una serie de sensores, al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador, que puede ser, por ejemplo, la velocidad de giro del generador (ω_{med}), aunque también puede ser un dato de par, cargas sobre el aerogenerador o cualquier variable eléctrica.

- Se calcula una primera señal indicativa de una variación desequilibrada del perfil aerodinámico de las palas, por ejemplo, una señal indicativa de la energía del armónico 1p obtenida a partir de dicho dato de operación del aerogenerador.
- Se compara la señal indicativa de la energía del armónico 1p con un primer valor umbral ($Lim1_E1p$), que en una realización preferente será menor que el valor límite para el cual se ha diseñado el aerogenerador.
- Si la señal indicativa de la energía del armónico 1p es mayor que el primer valor umbral ($Lim1_E1p$) se modifica el controlador de par y/o el controlador de pitch, conmutando la señal proveniente del regulador correspondiente para su paso a través de un filtro a la frecuencia 1p, es decir, activando un primer y/o un segundo filtro ($F2(1p)$, $F1(1p)$) a la frecuencia 1p, que impide que los reguladores de par y pitch actúen a esa frecuencia ($S1p=1$). Esto consigue evitar que las acciones de control amplifiquen el nivel de vibraciones y cargas a esa frecuencia (indicadas por el nivel de energía 1p) y la señal indicativa de la energía 1p disminuye por debajo de valores críticos.

En una realización del objeto de la invención adicionalmente, la primera señal indicativa del armónico 1p ($E1p$) se compara con un segundo valor umbral ($Lim2_E1p$) superior al primer valor umbral ($Lim1_E1p$) por encima del cual se desconecta el aerogenerador.

Para evitar que el lazo de control, lazo de control de pitch como el mostrado en la figura 2a o lazo de control de par como el mostrado en la figura 2b, esté conmutando continuamente entre la rama en que se aplica un filtro y la que no, es decir, que el primer filtro $F2(1p)$ esté continuamente activándose y desactivándose, la señal indicativa del armónico 1p ($E1p$) se compara con un tercer valor umbral ($Lim3_E1p$) inferior al primer valor umbral ($Lim1_E1p$) y cuando la señal indicativa del armónico 1p ($E1p$) vuelve a estar en valores inferiores al tercer valor umbral, se vuelve a conmutar la señal proveniente del regulador para impedir su paso a través del filtro a la frecuencia 1p ($S1p=0$).

Si estos filtros ($F1(1p)$ y $F2(1p)$) estuvieran actuando en operación normal, las prestaciones dinámicas de los reguladores se verían modificadas, no siendo óptimas para el control del aerogenerador. Sin embargo, mediante su actuación únicamente cuando se detecta una anomalía en el rotor desequilibrada (cuando el nivel de energía 1p es mayor que el primer valor umbral), los reguladores no pierden prestaciones en operación normal y no actúan amplificando el nivel de cargas a la frecuencia 1p.

La modificación equilibrada de la aerodinámica de los perfiles de las palas, y por tanto, de las curvas $Cp(\lambda, \beta)$, puede suponer incluso que se entre en una zona de pérdida de la pala (delimitada por la curva definida por la línea discontinua que pasa por los puntos $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ de la Figura 5 y la curva central de la Figura 6), en la que un incremento en la velocidad de viento se traduce en una disminución de potencia captada.

En esta situación, un control del aerogenerador según el estado de la técnica tenderá a moverse hacia ángulos de ataque menores con el fin de incrementar la potencia hasta la zona nominal, siendo esto perjudicial en cargas para la pala. En esta situación las palas se encuentran en una zona aerodinámica que no está prevista en un control según el estado de la técnica y se está más expuesto al viento, de manera que si se desprende hielo o se produce una ráfaga de viento, se pueden dar cargas elevadas que dañen componentes del aerogenerador como las palas o el buje.

Por ello, el método de control propuesto comprende el paso de comparar una segunda señal con un cuarto valor umbral, donde dicha segunda señal es una señal de paso de pala actual y dicho cuarto valor umbral (β_umbral) es un valor de paso de pala superior a un valor de paso de pala de entrada en pérdida (β_lim_perd) para determinar variaciones equilibradas en el perfil aerodinámico de al menos una pala del aerogenerador.

Para ello, en una realización preferente, se llevan a cabo los siguientes pasos:

- Se toma una señal indicativa de la velocidad de viento (que habitualmente será una señal filtrada de la medida del anemómetro);
- Se compara la medida del ángulo de paso de pala con un umbral de paso de pala (β_umbral) determinado, que corresponde a un valor de paso de pala mayor o igual que un valor de paso de pala de entrada en pérdida a la velocidad de viento indicada por la señal indicativa de viento (alternativamente puede compararse la potencia generada con la correspondiente a ese nivel de viento). Preferentemente el valor de pitch umbral es mayor que el de entrada en pérdida (β_lim_perd) y menor que el de operación normal (β_normal);
- Si la medida de paso de pala es menor que el valor umbral se modifica el controlador de pitch estableciendo un nuevo valor de pitch mínimo β_min_mod . Preferentemente, el valor de pitch mínimo modificado β_min_mod es mayor que el valor de pitch límite de entrada en pérdida β_lim_perd (en el

estado de la técnica, el límite mínimo del regulador de pitch β_{min_ET} es predeterminado e independiente de la velocidad de viento; generalmente igual a cero o el ángulo de máxima producción).

El efecto técnico de esta característica del método de control propuesto cuando la anomalía existente en las palas es equilibrada es evitar que el ángulo de pitch sea muy bajo (aproximadamente igual a cero o el ángulo de máxima producción) como consecuencia de la modificación en las características aerodinámicas de las palas que provoquen la entrada en pérdida de los perfiles. Un controlador según el estado de la técnica, cuando esto suceda, tenderá a disminuir el ángulo de pitch de las palas para tratar de corregir la pérdida de potencia asociada a la pérdida aerodinámica, incluso aunque aumente la velocidad de viento. Esto provoca un incremento de las cargas sobre el aerogenerador. Para evitar esto, un controlador según el estado de la técnica, tras detectar la anomalía en las palas desconecta el aerogenerador produciéndose una reducción en la disponibilidad de la máquina y en la energía producida.

REIVINDICACIONES

1. Método de control de un aerogenerador que comprende una serie de palas, método que comprende los siguientes pasos:
 - determinar mediante una serie de sensores al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador,
 - calcular una primera señal sensible a variaciones desequilibradas del perfil aerodinámico entre las palas a partir del al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador,
 - comparar dicha primera señal con un primer valor umbral,
 - determinar la existencia de una variación desequilibrada del perfil aerodinámico entre las palas si la primera señal rebasa el primer valor umbral, y
 - modificar al menos un lazo de control de par si se determina en el paso anterior la existencia de una variación desequilibrada del perfil aerodinámico entre las palas.
2. Método de control según la reivindicación 1 en que la primera señal es resultante del cálculo de un armónico 1p a la frecuencia de giro del rotor en el al menos un dato representativo del estado de operación del aerogenerador.
3. Método según reivindicación 2 caracterizado porque el dato representativo del estado de operación del aerogenerador se selecciona de entre: velocidad, par, cargas sobre el aerogenerador o variables eléctricas.
4. Método según reivindicación 1 ó 2 caracterizado porque el modificar al menos un lazo de control de par comprende activar un primer filtro a la frecuencia 1 p en el lazo de control de par.
5. Método según reivindicación 4 caracterizado porque adicionalmente comprende modificar un lazo de control de paso de pala mediante la inclusión de un segundo filtro a la frecuencia 1p en el citado lazo de control de paso de pala.
6. Método según reivindicación 4 caracterizado porque adicionalmente comprende comparar la primera señal con un segundo valor umbral, donde dicho segundo valor umbral es un valor a partir del cual se desconecta el aerogenerador, siendo dicho segundo valor umbral mayor que el primer valor umbral.
7. Método según reivindicación 6 caracterizado porque adicionalmente comprende comparar la primera señal con un tercer valor umbral, donde dicho tercer valor umbral es un valor menor que el primer valor umbral y, proceder a desactivar el primer filtro a la frecuencia 1 p en el lazo de control de par si la primera señal es inferior que el tercer valor umbral y el primer filtro estaba activo.
8. Método según reivindicación 1 caracterizado porque adicionalmente comprende el paso de comparar una segunda señal con un cuarto valor umbral, donde dicha segunda señal es una señal de paso de pala actual y dicho cuarto valor umbral es un valor de paso de pala superior a un valor de paso de pala de entrada en pérdida.
9. Método según reivindicación 8 caracterizado porque adicionalmente comprende modificar el lazo de control de paso de pala cuando el valor de la segunda señal es inferior al valor del cuarto valor umbral.
10. Método según reivindicación 9 caracterizado porque el modificar el lazo de control de paso de pala comprende modificar transitoriamente el límite mínimo de ángulo de pala e igualarlo a un valor mayor o igual que el del cuarto valor umbral.
11. Método según reivindicación 10 caracterizado porque el cuarto valor umbral es constante y predeterminado.
12. Método según reivindicación 10 caracterizado porque el cuarto valor umbral es dependiente de la velocidad de viento.
13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12 caracterizado porque comprende adicionalmente comparar la segunda señal con un quinto valor umbral, donde dicho quinto valor umbral es un valor a partir del cual se desconecta el aerogenerador, siendo dicho quinto valor umbral mayor que el cuarto valor umbral.

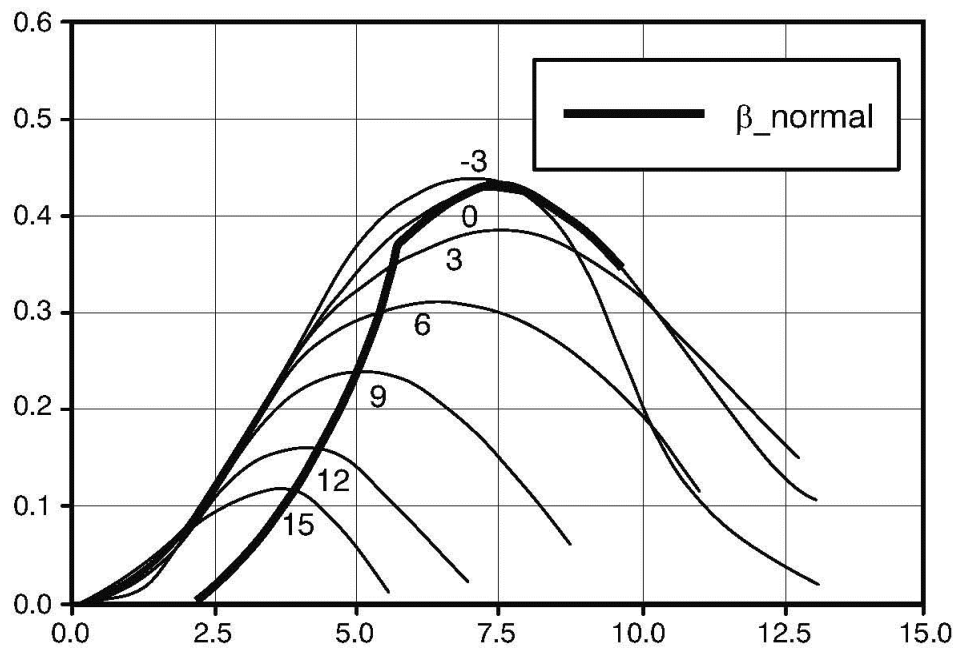


FIG. 1

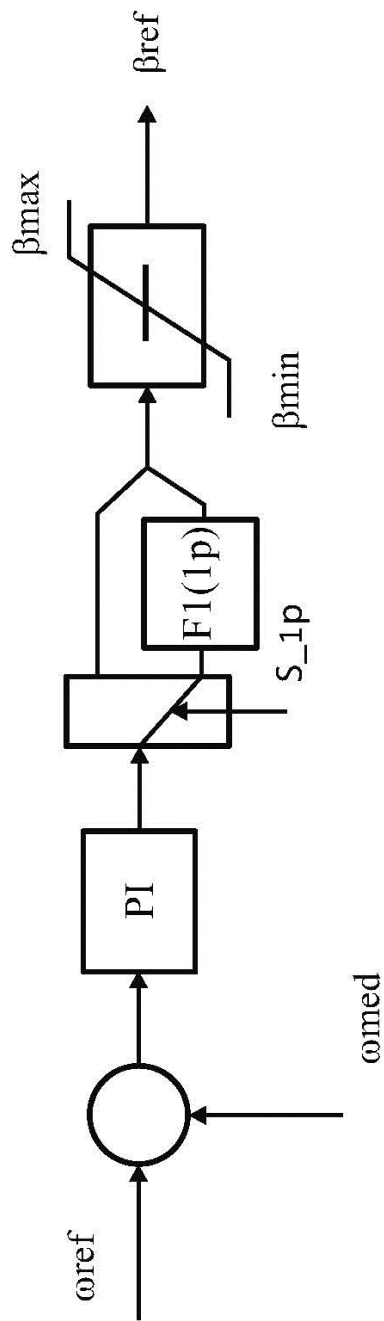


FIG. 2a

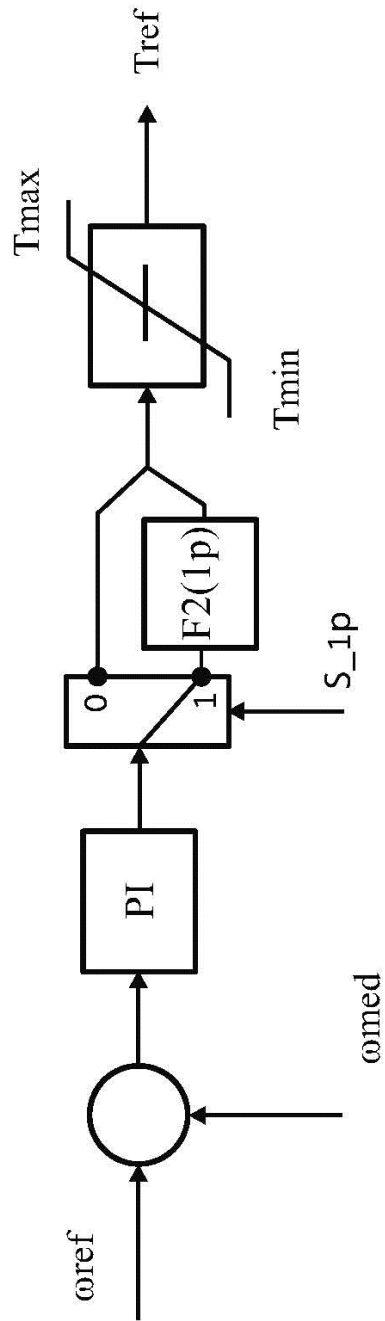


FIG. 2b

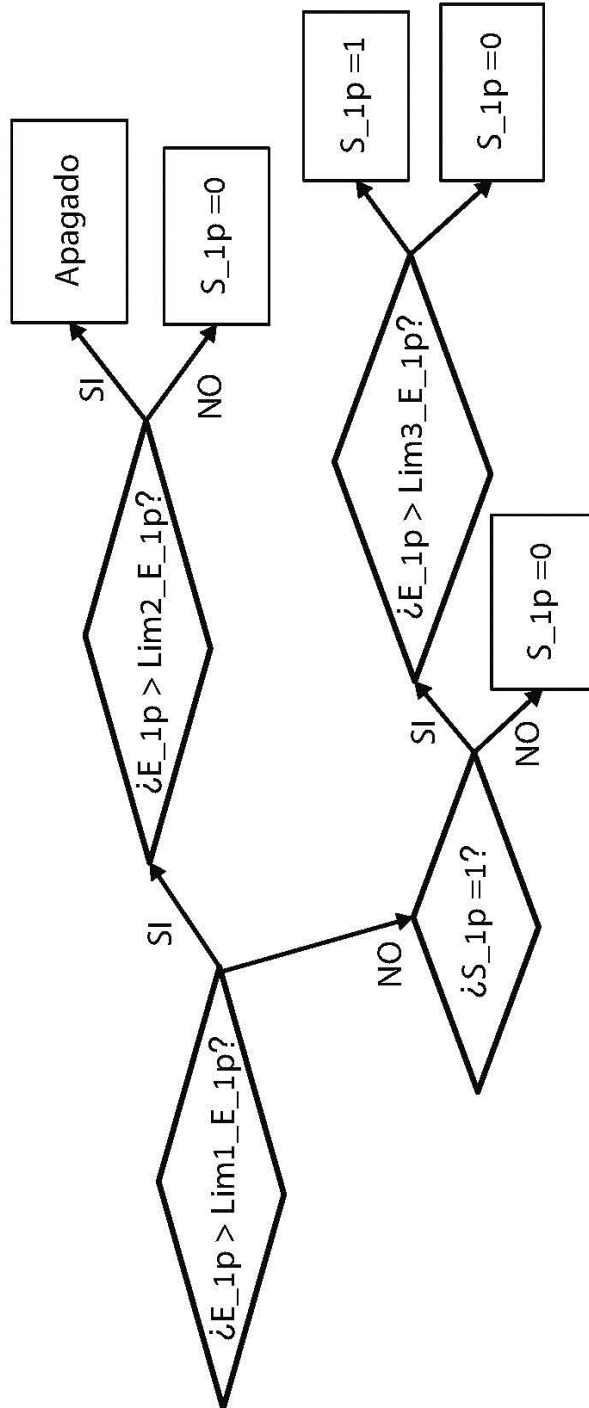


FIG. 2C

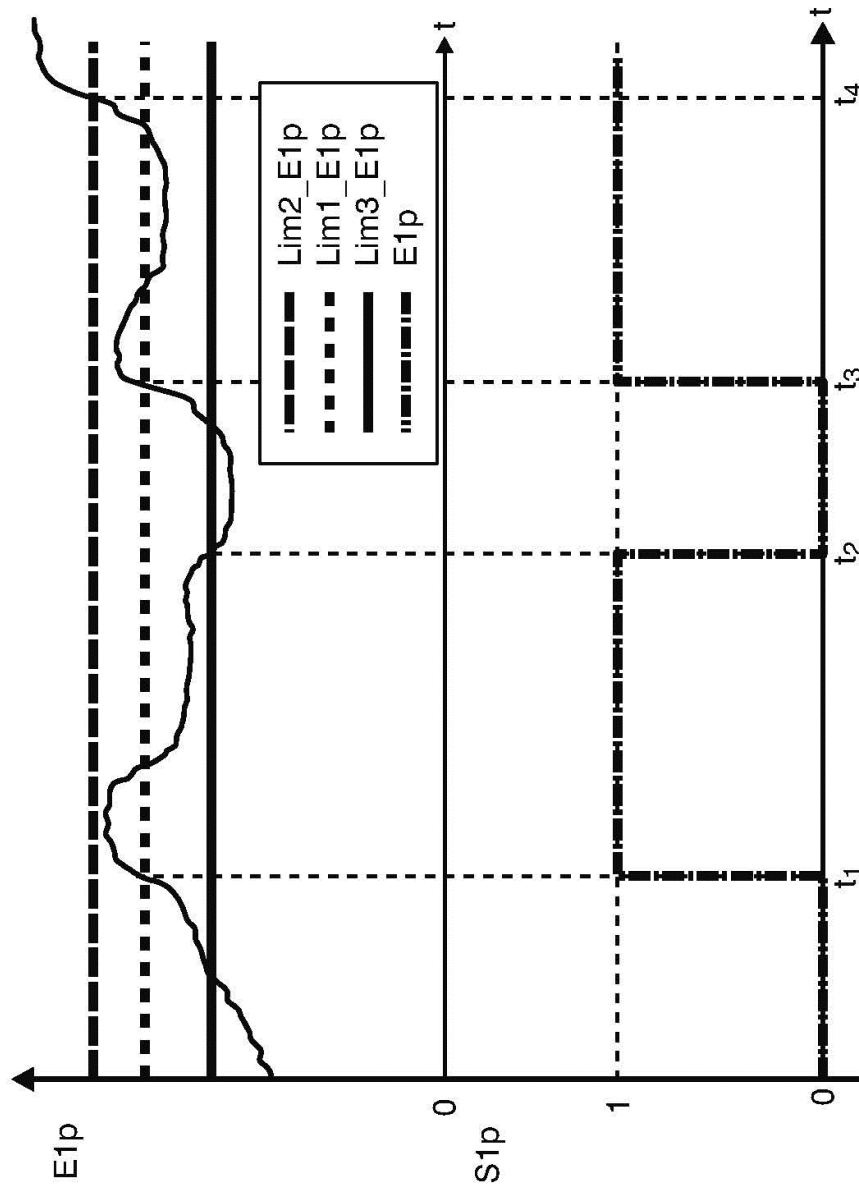


FIG. 3

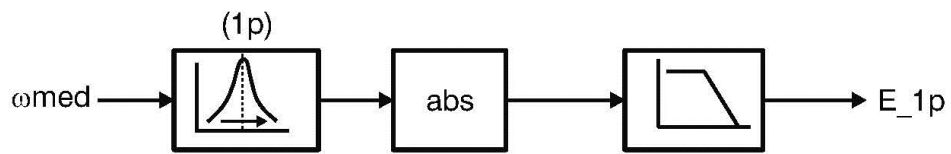


FIG. 4

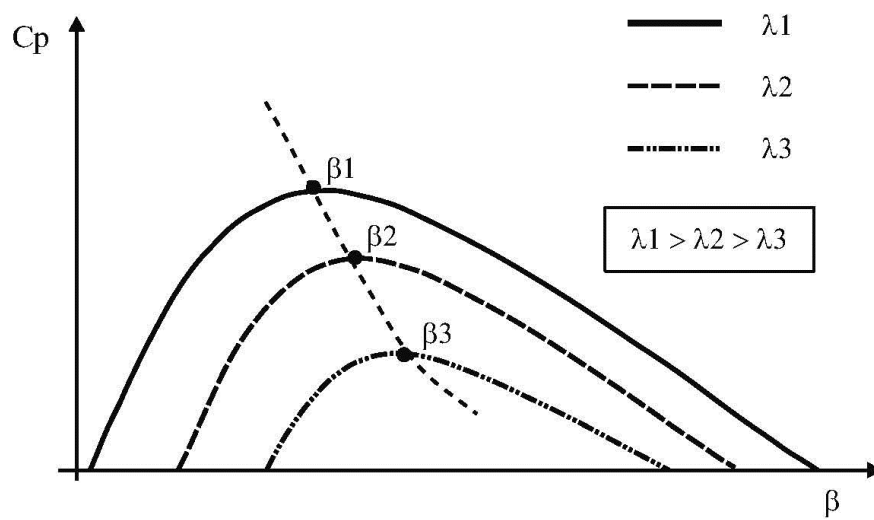


FIG. 5

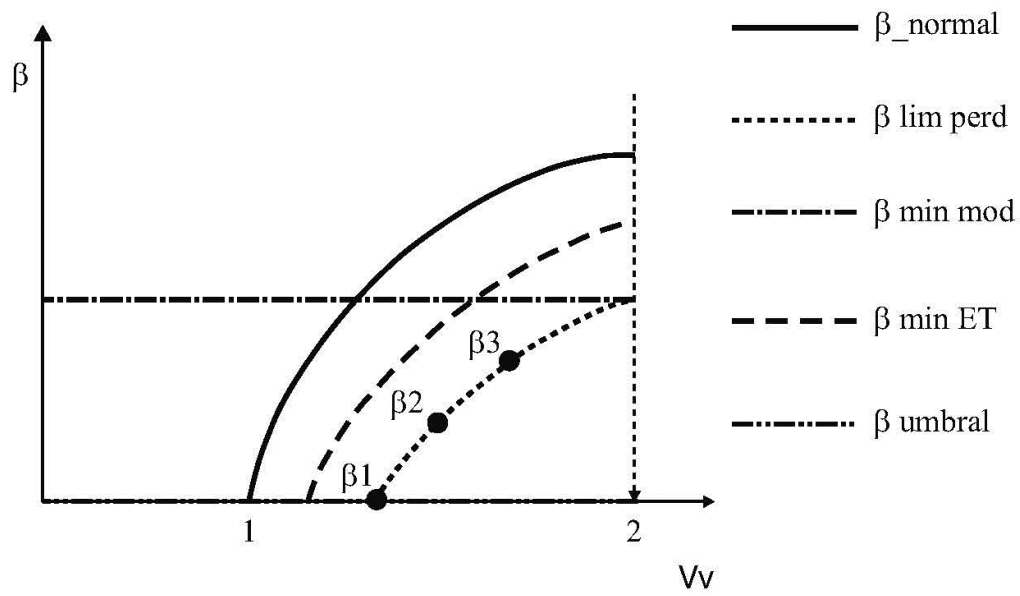


FIG. 6