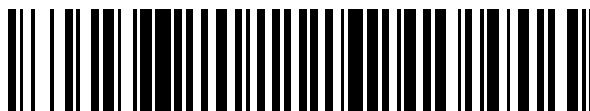


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 801 003**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 9/00** (2006.01)

**F16H 57/12** (2006.01)

**F03D 15/00** (2006.01)

**F03D 9/25** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2008** **E 08001671 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 1959135**

54 Título: **Un método para eliminar el impacto de los retrocesos en la multiplicadora de un aerogenerador**

30 Prioridad:

**31.01.2007 ES 200700248**

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

**07.01.2021**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L. (100.0%)  
Avenida de la Innovación 9-11  
31621 Sarriguren (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

**REBSDORF, ANDERS**

**ES 2 801 003 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

Un método para eliminar el impacto de los retrocesos en la multiplicadora de un aerogenerador

### 5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un método para eliminar el impacto de los retrocesos en la multiplicadora de un aerogenerador y a un aerogenerador con medios para implementar dicho método.

10

### **Antecedentes**

Las multiplicadoras de los aerogeneradores necesitan tener cierto espacio entre sus componentes para distintas finalidades como evitar interferencias, desgaste, y excesiva generación de calor, asegurar una buena lubricación o compensar tolerancias de fabricación. Dichos espacios causan que en una inversión de la carga el eje de salida gire un cierto ángulo, aunque el eje de entrada no esté rotando. El valor del "ángulo de rotación con carga cero" del eje recibe el nombre de un retroceso rotacional de la multiplicadora.

20 Si el par de rotación del eje principal en la multiplicadora es cero, entonces las fuerzas actuantes en los engranajes serán de aproximadamente cero. No habrá pues tensión en el tren de potencia y habrá un cierto retroceso.

25 Si el par de rotación del eje principal en la multiplicadora se incrementa por encima de aproximadamente cero, entonces las fuerzas actuantes en los engranajes actuarán solamente en una dirección y el tren de potencia estará alineado y su tensión aumentará.

30 Si el par de rotación del eje principal en la multiplicadora se reduce por debajo de aproximadamente cero, entonces las fuerzas actuantes en los engranajes actuarán solamente en una dirección, pero ahora en una dirección opuesta y el tren de potencia estará alineado y su tensión aumentará.

35 En los aerogeneradores es conocido que los impactos dinámicos causados por inversiones de carga periódicas, es decir, fenómenos de retroceso, se propagan por todo el tren de potencia y pueden ser amplificadas a causa de las excitaciones introducidas por las variaciones del par de rotación del rotor y del generador pudiendo causar el fallo del tren de potencia del aerogenerador.

40 A causa de las variaciones del par de rotación del rotor y del generador, el tren de potencia se excita dinámicamente produciendo una pretensión variable permanentemente. En ciertos estados la pretensión del tren de potencia se pierde totalmente o incluso se invierte. La inversión de la pretensión produce retrocesos que pueden amplificarse a causa de las excitaciones introducidas por las variaciones del par de rotación del rotor y del generador.

45 Otro inconveniente de dichos retrocesos es que son una fuente importante de ruido.

No es del conocimiento del solicitante el estado de la técnica específicamente dirigido a la resolución de los problemas planteados por dichos retrocesos en los aerogeneradores. Existe ciertamente estado de la técnica que enseña el uso de medios de control del par de rotación del generador y medios de regulación de paso de las palas para reducir las cargas del tren de potencia en estados normales de operación y también técnica anterior que enseña el uso de

50

dispositivos limitadores del par de rotación en condiciones especiales del viento como en los casos de ráfagas, pero no se conoce estado de la técnica orientado a evitar situaciones anormales en las que el valor del par de rotación es aleatorio y de dirección cambiante con consecuencias potenciales indeseables diferentes, incluyendo la producción de ruido. Ejemplos relevantes del estado de la técnica están dadas por las solicitudes de patentes DE 10 2004007461 A1 (2005-09-01), FR 1 433 859 A (1966-04-01) y US 2005/116476 A1 (2005-06-02).

### Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método de operación de un aerogenerador para eliminar el impacto de los retrocesos en la multiplicadora de acuerdo con la reivindicación 1 y al aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 9.

Este y otros objetos se consiguen proporcionando un método de operación de un aerogenerador que comprende un tren de potencia accionando uno o más generadores eléctricos que proporcionan potencia a una red eléctrica, incluyendo dicho tren de potencia un buje de rotor, al cual una o más palas están acopladas, un eje principal, una multiplicadora y ejes de conexión con dichos uno o más generadores eléctricos que. en eventos que pueden crear una inversión de carga en la multiplicadora, se activa una carga de reserva del tren de potencia para asegurar que el par de rotación del tren de potencia tiene una dirección constante, evitando el impacto de retrocesos en la multiplicadora, consistiendo dicha carga de reserva en energía absorbida por uno o más medios elegidos entre medios dedicados específicamente a la absorción de dicha carga de reserva y medios presentes en el aerogenerador para otras finalidades.

Una ventaja de este método es que si la multiplicadora contiene una etapa planetaria o más etapas planetarias resulta ventajoso mantener una dirección constante de la tensión, ya que entonces el posicionamiento del piñón solar se corresponde con una condición operativa normal lo que mejora la duración de la multiplicadora y permite diseños optimizados de la misma. Para otro tipo de configuraciones de etapas de engranajes de la multiplicadora, como las de ejes paralelos, especialmente los helicoidales, la ventaja no radica solo en la reducción de la fatiga de los dientes, sino también en la reducción de las variaciones de las fuerzas axiales sobre los cojinetes, ya que esas fuerzas axiales son generadas por cambios del par de rotación en la etapa helicoidal.

Otra ventaja de este método es que la emisión acústica será menor ya que el traqueteo derivado del retroceso no emitirá ningún sonido.

En una realización de esta invención la carga de reserva se activa en el evento de una puesta en marcha del aerogenerador evitando inversiones de carga en el tren de potencia durante esta operación.

En otra realización de esta invención, la carga de reserva se activa en el evento de una desconexión del aerogenerador de la red, facilitando un procedimiento de desconexión fluido.

En otras realizaciones de esta invención, la carga de reserva se activa en diferentes eventos en los que el estado operacional del aerogenerador es un estado transitorio facilitando que el aerogenerador puede seguir funcionando durante el mismo y consecuentemente aumentando la producción de energía.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un aerogenerador para implementar el método descrito anteriormente.

5 Este y otros objetos se consiguen con un aerogenerador que comprende un tren de potencia accionando uno o más generadores eléctricos que proporcionan potencia a una red eléctrica, incluyendo dicho tren de potencia un buje de rotor, con una o más palas acopladas, un eje principal, una multiplicadora y ejes de conexión con dichos uno o más generadores eléctricos, que también comprende medios de absorción de energía para generar una carga de reserva del tren de potencia que se usa para asegurar que el par de rotación del tren de potencia tiene  
10 una dirección constante, evitando el impacto de retrocesos en la multiplicadora, dichos medios de absorción de energía siendo escogidos entre medios dedicados específicamente a la absorción de dicha carga de reserva y medios presentes en el aerogenerador para otras finalidades.

15 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**

20 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra el método de esta invención en dos eventos: la puesta en marcha del aerogenerador y una situación de poco viento.

25 La Figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra el método de esta invención en el evento de un cambio de estrella a triángulo o, por el contrario, la conexión del generador a la red.

La Figura 3 es un diagrama de bloques de un aerogenerador para implementar el método de esta invención con un convertidor doblemente alimentado.

30 La Figura 4 es un diagrama de bloques de un aerogenerador para implementar el método de esta invención con un convertidor completo.

### **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

35 La Figura 1 (Tiempo T en el eje x, Par de Rotación L del Tren de Potencia en el eje y) muestra una evolución típica de la carga 3 en la multiplicadora de un aerogenerador en dos eventos que pueden presentar problemas de retrocesos: la puesta en marcha del aerogenerador, que tiene lugar desde el tipo T0 hasta el tiempo T1, y una situación de poco viento, que comienza en el tiempo T2.  
40

De acuerdo con esta invención una carga de reserva 5 apropiada se activa parcialmente o, completamente dependiendo del tipo de carga que se use, en ambos eventos.

45 En la puesta en marcha la carga de reserva 5 se activa para cargar el tren de potencia en el lado del generador de la multiplicadora. Cuando el eje principal comienza a rotar estará cargado en cierta medida por la carga de reserva 5. el tren de potencia estará alineado y existirá una tensión bien definida en él. En otro caso, tendrían lugar alteraciones del par de rotación como se muestra en la Figura 1.

50 Cuando las condiciones son adecuadas el generador comienza a proporcionar potencia eléctrica activa a la red, y la carga de reserva 5 todavía estará activada en cierta medida.

Cuando el par de rotación del eje principal está por encima de un predeterminado nivel L2, la carga de reserva 5 se desactiva parcialmente, o completamente, dependiendo del tipo de carga que se use, y ya no se produce ninguna pérdida de rendimiento energético relacionada con la carga de reserva.

5 En una situación de poco viento, el par de rotación del eje principal puede estar por debajo de un cierto nivel, lo que puede causar problemas. En tal evento, cuando el par de rotación del eje principal está debajo de un cierto nivel predeterminado L1, la carga de reserva 5 se activa parcialmente, o completamente, lo que asegura una correcta tensión y unas buenas condiciones de trabajo para el tren de potencia y la multiplicadora.

10 La Figura 2 (Tiempo T en el eje x, Par de Rotación L del Tren de Potencia en el eje y) muestra una evolución típica de la carga 3 en la multiplicadora de un aerogenerador cuando el estado de acoplamiento del generador cambia, por ejemplo, de una conexión estrella a una conexión triángulo o viceversa, un evento que puede causar alteraciones del par de rotación. En este evento, de acuerdo con esta invención, cuando el par de rotación del eje principal está por debajo de un nivel predeterminado L1, se activa parcialmente o completamente la carga de reserva 5, y cuando el par de rotación del eje principal está por encima de un nivel predeterminado L2 se desactiva parcialmente o completamente la carga de reserva 5, y ya no se produce ninguna pérdida de rendimiento energético relacionada con la carga de reserva.

20 De acuerdo con la invención, la activación de una carga de reserva cuando el par de rotación del eje principal está por debajo de un nivel predeterminado L1 y, si se requiere, la desactivación de la carga de reserva cuando el par de rotación del eje principal está por encima de un nivel predeterminado L2 debe llevarse a cabo en cualquier evento que puede causar inversiones de carga en el tren de potencia, tal como los siguientes:

- Situaciones de fallo del aerogenerador en las que es necesaria una transición de un estado de operación normal a un estado de fallo.
- Situaciones de fallo de la red en las que es necesaria una transición de un estado de operación normal a un estado de fallo.
- Condiciones anormales de la red, en las que procede llevar a cabo una secuencia de continuación de operación para que el aerogenerador continúe proporcionando potencia a la red cuando se soluciona el fallo de la red.

30 Hay eventos en los que el método objeto de esta invención incluye una acción adicional a la activación de una carga de reserva. Uno de estos eventos es una desconexión del aerogenerador a una velocidad de viento mayor que la velocidad límite (llamada a veces velocidad de parada). En este caso, el controlador de velocidad se ocupará de parar el rotor y los ángulos de referencia del paso de pala se ponen a 90 grados. Haciendo eso, se deja que el rotor oscile en su dirección y la activación de la carga de reserva elegida puede ser insuficiente para asegurar la tensión del tren de potencia. En este caso, el método objeto de la presente invención incluye también una acción para mantener la velocidad del rotor por encima de un valor predeterminado, por ejemplo, poniendo los ángulos de referencia del paso de pala a menos de 90 grados.

40 Otro evento en el que el método objeto de la presente invención incluye una acción adicional a la activación de una carga de reserva es un cambio de una conexión estrella a una conexión

triángulo, o viceversa, de acoplamiento del generador a la red. En este evento el método objeto de la presente invención incluye una aceleración del tren de potencia como una manera de asegurar la tensión del tren de potencia. Consiguientemente justo antes de que el par de rotación llegue a cero, el controlador de velocidad debe asegurar cierta aceleración del tren de potencia y después de un breve intervalo -de segundos- se lleva a cabo el cambio de acoplamiento del generador, volviendo el controlador de velocidad a actuar normalmente.

Como ya se ha dicho, hay muchos tipos de cargas de reserva para implementar el método según la presente invención. Son apropiadas para cualquier tipo de aerogenerador las siguientes cargas de reserva:

- Calor resultante de la fricción del freno existente.
- Calor resultante de una fricción del eje, por ejemplo, de un ventilador montado en el eje.
- Potencia absorbida y transferida a un almacenamiento de energía de un tipo con el propósito de su recaptura posterior, usando medios tales como una batería y un cargador de batería, un volante y una máquina eléctrica, un tanque y una bomba y ciertos tanques de presión y un sistema de células de combustible.

Son apropiadas para cualquier tipo de aerogenerador, en estado conectado a la red, las siguientes cargas de reserva:

- Potencia entregada a la red.
- Energía calorífica resultante de pérdidas producidas en una resistencia conectada al generador o al convertidor.
- Energía calorífica resultante de pérdidas producidas por una extra activación de componentes auxiliares del aerogenerador tales como bombas y ventiladores.
- Energía calorífica en el generador causadas por pérdidas extra en el generador debido a la circulación de una corriente reactiva extra.

Las Figuras 3 y 4 muestran esquemáticamente dos tipos de aerogenerador ampliamente utilizados estos días: un aerogenerador con un convertidor doblemente alimentado y un aerogenerador con un convertidor completo (full converter). En ambos casos el aerogenerador comprende un tren de potencia accionando un generador eléctrico que proporciona potencia a una red eléctrica 11 a través de una unidad electrónica de potencia, incluyendo el tren de potencia un buje de rotor 13, con una o más palas acopladas, un eje principal 15, una multiplicadora 17 y un eje de conexión 19 con el generador eléctrico.

La invención también es aplicable a otro tipo de aerogeneradores, particularmente a aerogeneradores con uno o más generadores eléctricos.

La Figura 3 muestra un aerogenerador que tiene un generador de inducción de rotor bobinado 23, con un rotor 25 y un estator 27 que está conectado a la red 11 a través de un convertidor 29 basado en IGBT y en control electrónico PWM a través de anillos colectores 28.

Una carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado conectado a la red es potencia entregada a la red.

5 Otra carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado conectado a la red es energía calorífica resultante de pérdidas en el generador 23 producidas por la presencia de corriente reactiva adicional en el generador 23.

10 Otra carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado desconectado de la red en el evento de un cambio del estado de acoplamiento del generador 23 de una conexión estrella a una conexión triángulo o viceversa es en paralelo a la descarga de potencia activa del generador para permitir la aceleración de la velocidad del eje lo que producirá que el par de rotación en la multiplicadora tenga un valor positivo constante en base al par utilizado para compensar la inercia del generador.

15 La Figura 4 muestra un aerogenerador que tiene un generador síncrono, por ejemplo, un generador de imanes permanentes 31, con un rotor 33 y un estator 35 que está conectado a la red 11 a través de una unidad convertidora completa 37 (full converter unit).

20 Una carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado conectado a la red es potencia entregada a la red.

25 Otra carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado conectado a la red es energía calorífica resultante de pérdidas en el generador 31 producidas por la presencia de corriente reactiva adicional en el generador 31. Estas pérdidas pueden producirse por medios de un control de los módulos del convertidor 37 estableciendo que una mitad de los módulos del convertidor 37 (módulos 1, 2 y 3) tengan una referencia de potencia reactiva adicional de  $Q_{ref.sys1}$ , y el resto (módulos 4, 5 y 6) tengan una referencia de potencia reactiva adicional de  $-Q_{ref.sys1}$ , de manera que su influencia sobre la producción reactiva total no cambie respecto al funcionamiento normal, pero las pérdidas caloríficas en el generador se cambian radicalmente.  
30 Esto actúa justamente como una carga de reserva sin necesidad de ningún componente extra, sino mediante algunos cambios en el software de control del generador. Además, la reacción será muy rápida -unos pocos ms- y por tanto también resulta interesante para finalidades dinámicas de amortiguación del tren de potencia.

35 Otra carga de reserva apropiada para este tipo de aerogenerador en estado desconectado de la red es energía calorífica procedente del generador 31 disipada en una resistencia que también puede ser usada como una carga de reserva para absorber la producción del generador durante fallos de la red.

40 Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferentes, es evidente que se pueden introducir aquellas modificaciones dentro del alcance de la misma, no considerando éste como limitado por estas realizaciones, pero por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

45

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Método de operación de un aerogenerador que comprende un tren de potencia accionando uno o más generadores eléctricos (23, 31) que proporcionan potencia a una red eléctrica (11), el tren de potencia incluyendo un buje de rotor (13), al cual una o más palas están acopladas, un eje principal (15), una multiplicadora (17) y ejes de conexión (19) con dichos uno o más generadores eléctricos (23, 31), donde en eventos que pueden crear una inversión de carga en la multiplicadora (17), una carga de reserva (5) del tren de potencia se activa por un controlador para asegurar que el par de rotación del tren de potencia tiene una dirección constante, evitando los retrocesos en la multiplicadora (17), dicha carga de reserva (5) consistiendo en potencia absorbida por uno o más medios elegidos entre medios dedicados específicamente a la absorción de dicha carga de reserva (5) y medios presentes en el aerogenerador para otras finalidades, y caracterizado porque cuando el par de rotación del tren de potencia está por encima de un valor predeterminado (L2), la carga de reserva (5) del tren de potencia se desactiva por el controlador.  
10
- 15 2. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado porque uno de dichos eventos es la puesta en marcha del aerogenerador y porque dicha carga de reserva (5) es activada al inicio de la puesta en marcha.  
20
- 25 3. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado porque uno de dichos eventos es una situación de poco viento y porque dicha carga de reserva (5) es activada cuando el par de rotación del tren de potencia está por debajo de un valor predeterminado (L1).  
30
- 35 4. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado porque uno de dichos eventos es un cambio de estado de acoplamiento del generador y porque dicha carga de reserva (5) es activada cuando el par de rotación del tren de potencia está por debajo de un valor predeterminado (L1).  
40
- 45 5. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 4, caracterizado porque, una aceleración del rotor (13) se lleva a cabo justo antes de que el valor del par de rotación del tren de potencia sea cero.  
50
- 55 6. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado porque uno de dichos eventos es cualquier evento en el que el estado operacional del aerogenerador sea un estado transitorio debido a un fallo de la red o a un fallo del aerogenerador y porque dicha carga de reserva (5) es activada cuando el par de rotación del tren de potencia está por debajo de un valor predeterminado (L1).  
60
- 65 7. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado porque uno de dichos eventos es una desconexión del generador (23, 31) de la red (11) y porque dicha carga de reserva (5) es activada cuando el par de rotación del tren de potencia está por debajo de un valor predeterminado (L1).  
70
- 75 8. Método de operación de un aerogenerador según la reivindicación 7, caracterizado porque en el evento de una desconexión de la red (11) con una alta velocidad de viento  
80



en adición a la activación de la carga de reserva (5), se mantiene la velocidad del rotor (13) por encima de un valor predeterminado R1.

5 9. Aerogenerador para implementar un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-  
8, que comprende un tren de potencia accionando uno o más generadores eléctricos  
(23, 31) que proporcionan energía a la red eléctrica (11), incluyendo dicho tren de  
potencia un buje de rotor (13), al cual una o más palas están acopladas, un eje principal  
(15), una multiplicadora (17) y ejes de conexión (19) con dichos uno o más generadores  
10 eléctricos (23, 31), medios de absorción de potencia para generar una carga de reserva  
(5) del tren de potencia activada por un controlador que se usa para asegurar que el par  
de rotación del tren de potencia tiene una dirección constante, evitando el impacto de  
retrocesos en la multiplicadora, siendo dichos medios de absorción de potencia los  
15 elegidos entre otros medios dedicados específicamente a la absorción de dicha carga  
de reserva (5) y medios presentes en el aerogenerador para otras finalidades,  
caracterizado porque el controlador está configurado para desactivar la carga de  
reserva (5) del tren de potencia cuando el par de rotación del tren de potencia está por  
encima de un valor predeterminado (L2).

20 10. Aerogenerador según la reivindicación 9, caracterizado porque dichos medios de  
absorción de potencia incluyen uno o más de los siguientes:

- cualquier medio apropiado para transferir dicha energía a un dispositivo de  
almacenamiento;
- 25 • el freno del aerogenerador, una bomba del aerogenerador y un ventilador del  
aerogenerador;
- una resistencia conectada al generador.

30 11. Aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 9-10, caracterizado porque  
dichos uno o más generadores eléctricos son generadores de inducción de rotor  
bobinado (23) que están conectados a la red a través de un convertidor (29) basado en  
IGBT's y control electrónico PWM y porque dichos medios de absorción de potencia  
además incluyen uno o más de los siguientes:

- 35 • una configuración del generador (23) que produce potencia adicional cuando el  
generador (23) está conectado a la red (11);
- una resistencia conectada al convertidor (29) o al generador (23);
- un circuito paralelo conectado al generador (23), cuando el generador (23) no  
está conectado a la red (11).

40 12. Aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 9-10, caracterizado porque  
dichos uno o más generadores eléctricos son generadores síncronos (31) conectados a  
la red a través de una unidad convertidora completa (37) y porque dichos medios de  
absorción de potencia incluyen uno o más de los siguientes:

- 45 • una configuración del convertidor (37) que produce potencia adicional, o  
pérdidas adicionales en el generador (31) cuando el generador (31) está  
conectado a la red (11);
- una resistencia conectada al generador (31), cuando el generador (31) no está  
conectado a la red.

50

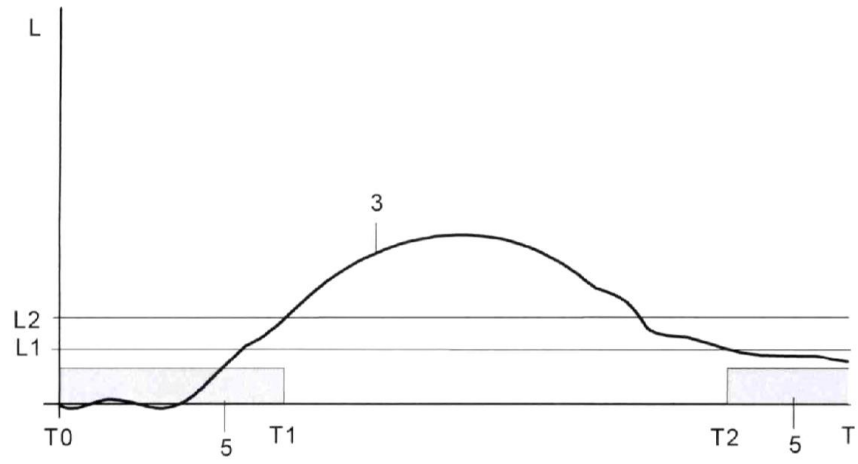


FIG. 1

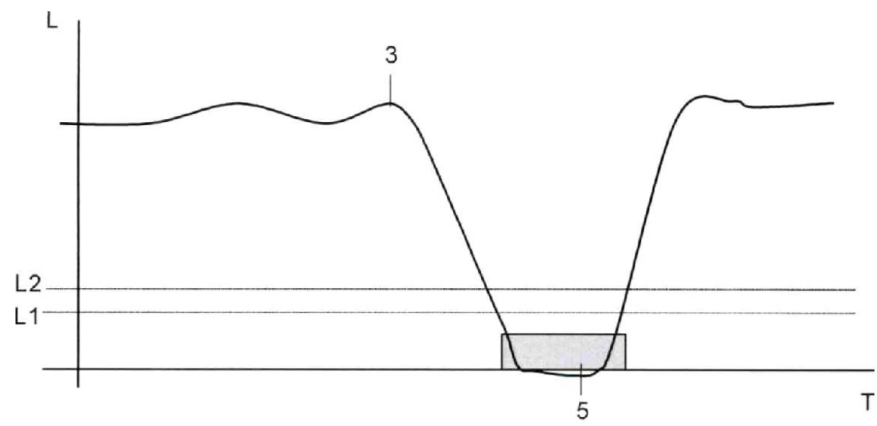


FIG. 2

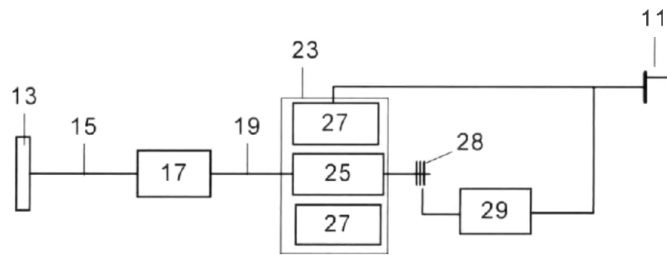


FIG. 3

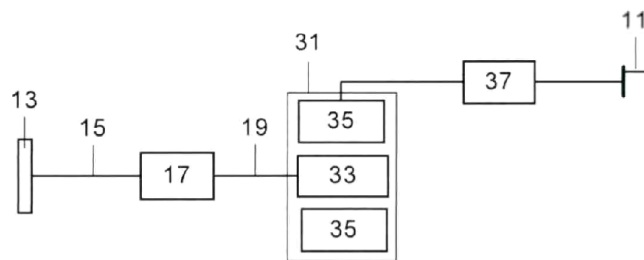


FIG. 4