

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 768 227**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2010 E 10177917 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2302209**

54 Título: **Sistema de frenado híbrido para un aerogenerador y procedimiento**

30 Prioridad:

**25.09.2009 US 566734**

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

**22.06.2020**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**SCHRAMM, SIMON HERBERT y  
SIHLER, CHRISTOF MARTIN**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 768 227 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**

Sistema de frenado híbrido para un aerogenerador y procedimiento

5 La invención se refiere, en general, al frenado en turbinas y, en particular, al frenado híbrido en aerogeneradores.

Los aerogeneradores se han utilizado como fuente de energía durante muchos años. Entre los diversos parámetros operativos, el control de velocidad y la capacidad de frenado de emergencia tienen influencias particularmente importantes en la estabilidad estructural y la longevidad de los componentes dentro del aerogenerador. Es necesario controlar la velocidad de un rotor de un aerogenerador por debajo de su límite máximo para evitar los efectos dañinos de vientos de alta velocidad en el aerogenerador y su estructura de soporte. Si se permite que la velocidad de rotación del aerogenerador aumente sin límite pueden producirse daños estructurales debido al sobreesfuerzo de las palas de la turbina y el rotor.

15 Típicamente, los sistemas de frenado mecánico en los aerogeneradores están configurados para detener las turbinas durante una emergencia o cualquier otro evento que requiera detener la turbina. Sin embargo, el control dinámico y la respuesta rápida son difíciles de lograr en el frenado mecánico durante el funcionamiento de la turbina. Otra solución incluye implantar sistemas hidráulicos en dispositivos de frenado aerodinámico en los que las puntas de las palas se mueven para contrarrestar la fuerza del viento durante el frenado. En otra solución, se implementa un esquema de frenado mecánico que permite que las palas del rotor se desvíen hacia atrás y en la dirección del flujo del viento en condiciones de ráfagas de viento. Esto, a su vez, altera la inclinación de la pala del rotor o el ángulo de incidencia para responder a las condiciones del viento. Para evitar daños o la destrucción del aerogenerador y otros aerogeneradores dentro de un parque eólico, un sistema de frenado debe proporcionar un frenado fiable y sistemas de frenado de respaldo.

25 Sin embargo, dichas soluciones de frenado mecánico como las que se han descrito anteriormente presentan ciertos inconvenientes. Todos estos dispositivos añaden un coste y un peso significativos a las palas del rotor y al tren de transmisión general. Los frenos aerodinámicos que implementan frenos dinámicos de la punta del ala y el equipo asociado tienen bajos límites de tolerancia y aumentan los costes de diseño, fabricación y mantenimiento. Además, el peso adicional aumenta la tensión sobre el sistema de frenado. Implementando solamente el frenado mecánico durante una parada de emergencia, no pueden evitarse las componentes de par dinámico. Para manejar dicho par dinámico, el tren de transmisión mecánica debe diseñarse con unos márgenes de seguridad adecuados, que añaden peso a la estructura del aerogenerador. Además, estos frenos mecánicos inducen fatiga en los multiplicadores debido a la sobrecarga transitoria y las componentes de par dinámico durante las paradas de emergencia.

35 Pueden encontrarse varios sistemas de frenado convencionales para aerogeneradores, por ejemplo, en EP 1 863 162 y US 2007/0216164.

40 Existe, por lo tanto, la necesidad de un sistema de frenado mejorado.

Por lo tanto, se presentan varios aspectos y realizaciones de la presente invención, tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

45 Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor al leer la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los cuales:

50 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de aerogenerador de ejemplo que implementa un sistema de frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 2 es una realización de un circuito de frenado eléctrico para utilizarse en la realización de la figura 1;

55 La figura 3 es una gráfica simulada de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa solamente frenado mecánico;

La figura 4 es una gráfica simulada de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención;

60 La figura 5 es otra gráfica de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención; y

La figura 6 ilustra un procedimiento de ejemplo para aplicar frenado híbrido.

Durante el funcionamiento de un aerogenerador, sobre el eje del rotor de la turbina actúan varias fuerzas y pares inducidos por el viento. Por ejemplo, cargas máximas, inversión repentina de una carga, paradas de emergencia, cambio de dirección del viento, y vibraciones contribuyen al efecto dinámico. Uno de los desafíos en el diseño de aerogeneradores incluye la estabilidad dinámica general de la turbina. Considerando solamente las condiciones estáticas durante el diseño, puede subestimarse la vida útil del tren de transmisión, el multiplicador y los cojinetes en los aerogeneradores. Muchos fallos técnicos o eventos en la red tienden a desencadenar una parada de emergencia que resulta en una desaceleración repentina del rotor que induce una gran carga en el aerogenerador. Tradicionalmente, se aplican frenos mecánicos en respuesta a paradas de emergencia. Dichos frenos inducen un par de frenado al sistema con capacidad de control y retardo de tiempo limitados, lo que induce grandes componentes de par dinámico y sobrecargas durante eventos de parada de emergencia. Además, se inducen oscilaciones torsionales de gran amplitud de par en el eje del rotor. Ciertas realizaciones de la invención proponen un sistema de frenado híbrido para amortiguar las componentes de par dinámico y mejorar la respuesta dinámica del sistema de frenado global.

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de aerogenerador de ejemplo que implementa un sistema de frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención. El aerogenerador 10 incluye unas palas 12, 14 acopladas a un eje principal 16. Además, el multiplicador 18, el freno mecánico 20 y el generador 22 están acoplados al eje principal. Un rectificador 24, un inversor 26, y un transformador 28 están conectados eléctricamente al generador 22. El transformador 28 está configurado para transmitir energía del generador 22 a una red 30. Opcionalmente, uno o más sensores 34, 35 están conectados al eje principal 16. Un circuito de frenado eléctrico 32 está conectado a un lado de salida del generador 22. Un controlador (o sistema de control) 36 está conectado al freno mecánico 20 y al circuito de frenado eléctrico 32.

En un funcionamiento de ejemplo del sistema de aerogenerador 10, el viento ejerce fuerza sobre las palas 12, 14 las cuales, a su vez, hacen girar el eje principal 16. El multiplicador 18 está configurado para regular la velocidad del eje principal para que coincida con la velocidad operativa del generador 22. El freno mecánico 20 está acoplado al eje del rotor y configurado para aplicar un par de reacción durante el frenado. Tal como se utiliza aquí, los términos "eje del rotor" y "eje principal" son intercambiables. El generador 22 está configurado para generar energía de CA que se convierte en energía de CC a través del rectificador 24. El inversor 26 está configurado para convertir la energía de CC nuevamente en energía de CA compatible con la red. El transformador 28 está configurado para alimentar la red 30 a unos niveles de tensión apropiados. El sensor 34, 35 está configurado para medir uno o más parámetros mecánicos del eje, tales como velocidad de rotación y/o par. En una realización de ejemplo, el controlador 36 está configurado para que, al recibir una señal de parada de emergencia, active simultáneamente el freno mecánico y el circuito de frenado eléctrico.

La figura 2 es una realización de un circuito de frenado eléctrico útil para la realización de la figura 1. El circuito de frenado eléctrico 32 (o el circuito de frenado dinámico) incluye por lo menos un interruptor de semiconductores 40 conectado a por lo menos una resistencia de potencia 42. Ejemplos no limitativos del interruptor de semiconductores incluyen un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET), un tiristor controlado por puerta integrada (IGCT), un tiristor, o combinaciones de los mismos. La configuración de la resistencia de potencia puede incluir, entre otros, unos devanados de alambre de acero o unas bandas de aleación de metal. La capacidad de manejo de corriente y el valor de resistencia (ohmios) de tales resistencias pueden diseñarse según los requisitos del sistema. La capacidad de almacenamiento térmico de la resistencia es típicamente inferior al valor de la energía rotacional almacenada en el rotor. En una realización, la resistencia de potencia está configurada para una capacidad térmica de aproximadamente menos de un 5 por ciento del valor de diseño de la energía que ha de disipar el freno mecánico. Un circuito de control de conmutación 44 está conectado al interruptor de semiconductores 40 y configurado para encender o apagar el interruptor 40. El controlador 36, tal como se indica en la figura 1, está conectado al circuito de control de conmutación 44 y configurado para activar el frenado dinámico simultáneamente con el frenado mecánico.

En un funcionamiento de ejemplo, el circuito de frenado eléctrico 32 se activa en respuesta a una señal de parada de emergencia. El controlador 36 (figura 1) activa el circuito de control de conmutación 44. Entre el generador (a través de los terminales 46) y el interruptor de semiconductores 40 puede estar conectado un puente de diodos 48. En respuesta a la señal del controlador, la potencia activa del generador se transfiere a la resistencia 42 a través de los diodos 48 y el interruptor 40. La conmutación del interruptor 40 controla la magnitud y la duración de la potencia disipada. Alternativamente, el puente de diodos 48 puede reemplazarse por un tiristor, un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), un tiristor controlado por puerta integrada (IGCT), o un transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET) para un encendido controlado.

La figura 3 es una gráfica simulada de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa sólo frenado mecánico. El eje de ordenadas representa el par y la velocidad 52 convertidos a escala por unidad, y el eje de abscisas representa el tiempo 54 medido en segundos. Se ilustran múltiples perfiles, tales como salida de potencia eléctrica 56, par de frenado 58, velocidad de rotación 60, y par del eje principal 62. La potencia de

salida eléctrica se mide en los terminales de salida del convertidor de potencia. El par de frenado, la velocidad de rotación y el par del eje principal se miden en el eje de baja velocidad entre el multiplicador y el aerogenerador. En una realización de ejemplo, se activa una señal de parada de emergencia en un instante 64. Dicha parada de emergencia puede producirse debido a un fallo mecánico o eléctrico o un fallo de la red o cualquier otro estado inoperable en el sistema de aerogenerador.

En respuesta a la señal de parada de emergencia, el rectificador 24 tal como se referencia en la figura 1 se desconecta (por ejemplo, poniendo a cero las señales de puerta y activando una palanca de enlace de CC (no mostrada) para protección del convertidor). Esta pérdida de carga en el generador da como resultado un cambio en el par del eje a casi cero, seguido de un par dinámico máximo como resultado del freno mecánico que actúa como una carga escalonada sobre el eje mecánico, tal como se ilustra mediante el pico 66 en el perfil de par del eje principal 62. Dichos picos (66) son en respuesta a la característica de carga escalonada del freno mecánico (de par de frenado cero a máximo en un corto intervalo de tiempo). Además, los picos transitorios 66 pueden alcanzar valores superiores a 2 por unidad y pueden influir significativamente en los índices de fallos de los componentes mecánicos acoplados al eje. La velocidad de rotación 60 comienza a disminuir después de que el par de reacción se haya aplicado completamente mediante el freno mecánico 68. El frenado mecánico, además de añadir par de frenado al sistema, produce oscilaciones de par dinámico tal como se ilustra mediante el número de referencia 70. La oscilación de par dinámico es el resultado de la carga escalonada aplicada por el freno mecánico. El par de reacción antes de la parada de emergencia que añade el generador es variable (depende del nivel de carga de la turbina), mientras que el par de frenado depende de la velocidad de rotación del eje de alta velocidad 17. Entre el par de reacción y el par de frenado existe un desajuste que resulta en una carga escalonada en el sistema mecánico. Tal respuesta escalonada excita todas las frecuencias y causa frecuencias resonantes que resultan en oscilaciones de par dinámico a frecuencias naturales del tren de transmisión mecánico. Las realizaciones que se contemplan actualmente están diseñadas para reducir el par dinámico máximo y las oscilaciones de par que pueden dañar los componentes mecánicos acoplados al eje, tales como el multiplicador y los acoplamientos en el generador y la turbina.

La figura 4 es una gráfica simulada 80 de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención. Tal como se utiliza aquí, "frenado híbrido" se refiere a la alteración de la componente dinámica del frenado total a través del circuito de frenado eléctrico. El eje de ordenadas representa el par y la velocidad 52 convertidos a escala por unidad, y el eje de abscisas representa el tiempo 54 medido en segundos. En la gráfica 80 se ilustran múltiples perfiles tales como la salida de potencia eléctrica 56 del convertidor, la velocidad de rotación 60, el par de frenado 58, y el par mecánico 62 en el eje de baja velocidad. Además, mediante el perfil 82 se ilustra una componente de frenado dinámico activado durante el frenado híbrido de acuerdo con una realización. En una realización, el convertidor de potencia se desconecta en respuesta a una parada de emergencia en el caso 64, reduciendo la salida de potencia a cero, tal como se ilustra en el perfil 56. Por continuidad de la carga en el generador, un circuito de frenado eléctrico (32 tal como se referencia en la figura 2), conectado a la salida del generador, absorbe potencia activa equivalente a la potencia suministrada al convertidor justo antes de la desconexión. El perfil 82 ilustra dicha carga de potencia activa en el generador, activada en respuesta a la pérdida repentina de carga debido a la parada de emergencia. El circuito de frenado eléctrico tiene una respuesta rápida y puede activarse más rápidamente que el frenado mecánico. Una vez que se activa el par de frenado del freno mecánico, la potencia activa disipada dentro del circuito de frenado eléctrico se reduce, tal como se ilustra en el perfil 83. Al disiparse la potencia activa inmediatamente después de la pérdida de carga en el generador, el primer pico transitorio se reduce significativamente a aproximadamente 1,8 por unidad (tal como se ilustra en el perfil 84) en comparación con los 2 por unidad anteriores si sólo se aplicaba el frenado mecánico. Además, para mejorar la amortiguación de las oscilaciones torsionales, la potencia disipada por el circuito de frenado eléctrico continúa después de que se haya activado por completo el freno mecánico, tal como se ilustra con los números de referencia 85-88. Tal disipación de potencia sincronizada reduce significativamente las oscilaciones en el par torsional tal como se ilustra con el número de referencia 86.

La figura 5 es otra gráfica simulada de par frente a tiempo para un eje principal de un aerogenerador que implementa frenado híbrido de acuerdo con una realización de la invención. La gráfica 90 ilustra un perfil detallado inmediatamente después de una parada de emergencia. El eje de ordenadas representa par y velocidad 52 convertidos a escala por unidad, y el eje de abscisas representa tiempo 54 medido en segundos con una resolución de aproximadamente 0,2 segundos por división. En respuesta a una parada de emergencia en el caso 64, la potencia eléctrica del convertidor se reduce a cero, tal como se ilustra en el perfil 56. El par del eje principal comienza a disminuir como resultado de la pérdida de carga (92). El frenado dinámico se activa en respuesta a la parada de emergencia. La potencia activa que se disipa es aproximadamente igual a la potencia de salida del generador antes de la desconexión de la carga. El perfil 82 ilustra la potencia activa disipada en los terminales del generador. Una vez que se activa el freno mecánico (94), se reduce la potencia activa disipada. Se obtiene una transición suave 96 entre el par de frenado y la potencia activa de modo que el par máximo se limita a aproximadamente 1,35 por unidad, alternándose alrededor del valor de par de estado estable de aproximadamente 1,2 por unidad con una amplitud máxima de aproximadamente 0,15 por unidad.

5 La figura 6 ilustra un procedimiento de ejemplo para aplicar frenado híbrido. El procedimiento 100 incluye la etapa 102 para controlar la salida de potencia activa del generador acoplado al aerogenerador. La etapa 104 incluye controlar si ha ocurrido un evento de parada de emergencia. Si no hay un evento de parada de emergencia (106), la potencia activa se controla continuamente. Si hay un evento de parada de emergencia (108), el circuito de frenado eléctrico se activa en la etapa 110. Simultáneamente, la magnitud y la duración de la potencia activa a disipar se calcula en la etapa 112. En la etapa 114 se activa el freno mecánico. Aunque éste puede activarse simultáneamente, el retardo de la respuesta del sistema mecánico típicamente provocará que el frenado mecánico tenga efecto después del frenado eléctrico. Una vez que se ha aplicado simultáneamente tanto el frenado dinámico como el frenado mecánico sobre el eje, el frenado híbrido está activo (etapa 116). Tal como se ha descrito anteriormente, dicho frenado híbrido reduce el par transitorio máximo y reduce oscilaciones torsionales.

15 Ventajosamente, tales sistemas de frenado híbridos no añaden peso al sistema general y proporcionan amortiguación de par en modo torsional durante el frenado. Además, tales sistemas de frenado híbrido incluyen un diseño de acondicionamiento para unidades existentes. Sin embargo, el frenado dinámico híbrido, tal como se propone en determinadas realizaciones de la invención, actúa con un tiempo de respuesta bajo y proporciona un control más dinámico sobre el par que actúa sobre el eje mediante una disipación controlada de potencia activa. Gracias a los componentes de par dinámico amortiguado durante las paradas de emergencia se obtiene una fatiga reducida y una mayor vida útil del multiplicador debido.

20 Aunque sólo se han ilustrado y descrito aquí ciertas características de la invención, los expertos en la materia contemplarán muchas modificaciones y cambios. Debe entenderse, por lo tanto, que las reivindicaciones adjuntas están destinadas a cubrir todas las modificaciones y cambios que se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones.

25

**REIVINDICACIONES**

1. Aerogenerador que incluye un sistema de frenado híbrido de aerogenerador (10) que comprende:

5 un generador (22) acoplado a un eje principal (16) del aerogenerador para generar y transmitir potencia;  
un freno mecánico (20) acoplado al eje principal para aplicar un par de reacción al frenar el aerogenerador;  
un circuito de frenado eléctrico (32) acoplado al generador (22) para actuar junto con el freno mecánico (20) y  
disipar potencia activa a través de una conmutación controlada, comprendiendo la unidad de frenado eléctrico  
10 (32) un interruptor controlable (40), y caracterizado por  
un controlador (36) para activar simultáneamente tanto el freno mecánico (20) como el circuito de frenado  
eléctrico (32) en respuesta a una señal de parada de emergencia, en el que el controlador (36) está configurado,  
además, para activar el interruptor controlable (40) para que la potencia activa del generador se transfiera al  
circuito de frenado eléctrico (32) en respuesta a una señal del controlador, en el que el controlador (36) está  
15 configurado para provocar que el circuito de frenado eléctrico (32) amortigüe un par dinámico sobre el eje  
principal en respuesta a la activación del freno mecánico (20), y continuar disipando potencia por el circuito de  
frenado eléctrico (32) después de que se haya activado completamente (85-88) el freno mecánico (20) para  
proporcionar una disipación de potencia sincronizada para reducir oscilaciones en par torsional (86) en el eje  
principal.

20 2. Aerogenerador (10) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el circuito de frenado  
eléctrico (32) está acoplado a un lado de salida del generador (22).

3. Aerogenerador (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de  
que el interruptor controlable es un interruptor de semiconductores controlable (40), y en el que el circuito de frenado  
25 eléctrico (32) comprende, además, por lo menos una resistencia de potencia (42).

4. Procedimiento (100) para amortiguar par dinámico sobre un eje de un aerogenerador (10) de acuerdo con  
cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento, al recibir una señal de parada de  
emergencia, simultáneamente frenar mecánicamente el eje (16) y activar el interruptor controlable (40) del circuito de  
30 frenado eléctrico (32) a través del controlador para disipar potencia activa del aerogenerador (10) de una resistencia  
de potencia (42) del circuito de frenado eléctrico (32).

5. Procedimiento (100) de la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de comprende, además, calcular la  
35 cantidad de potencia activa a disipar.

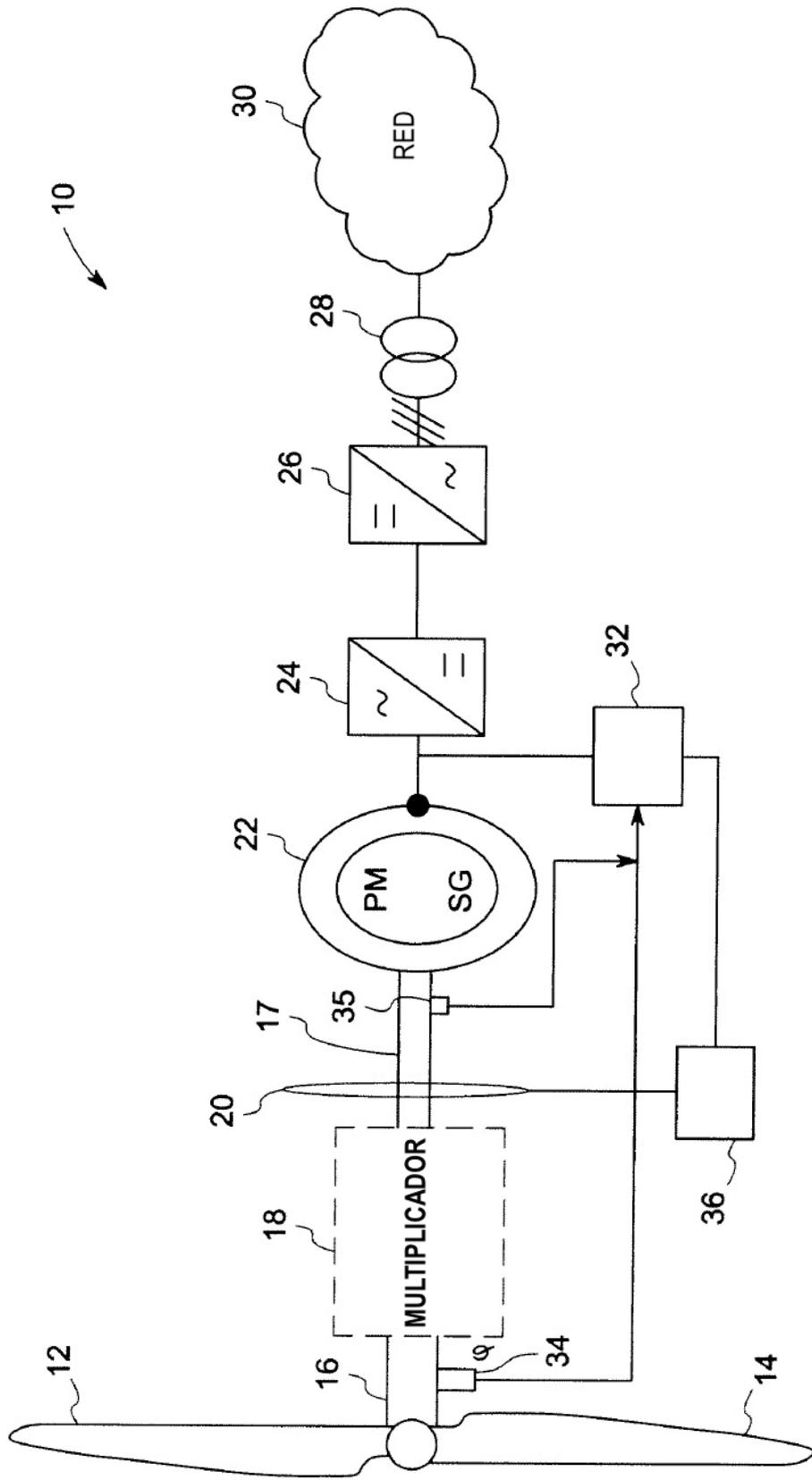


FIG. 1

32

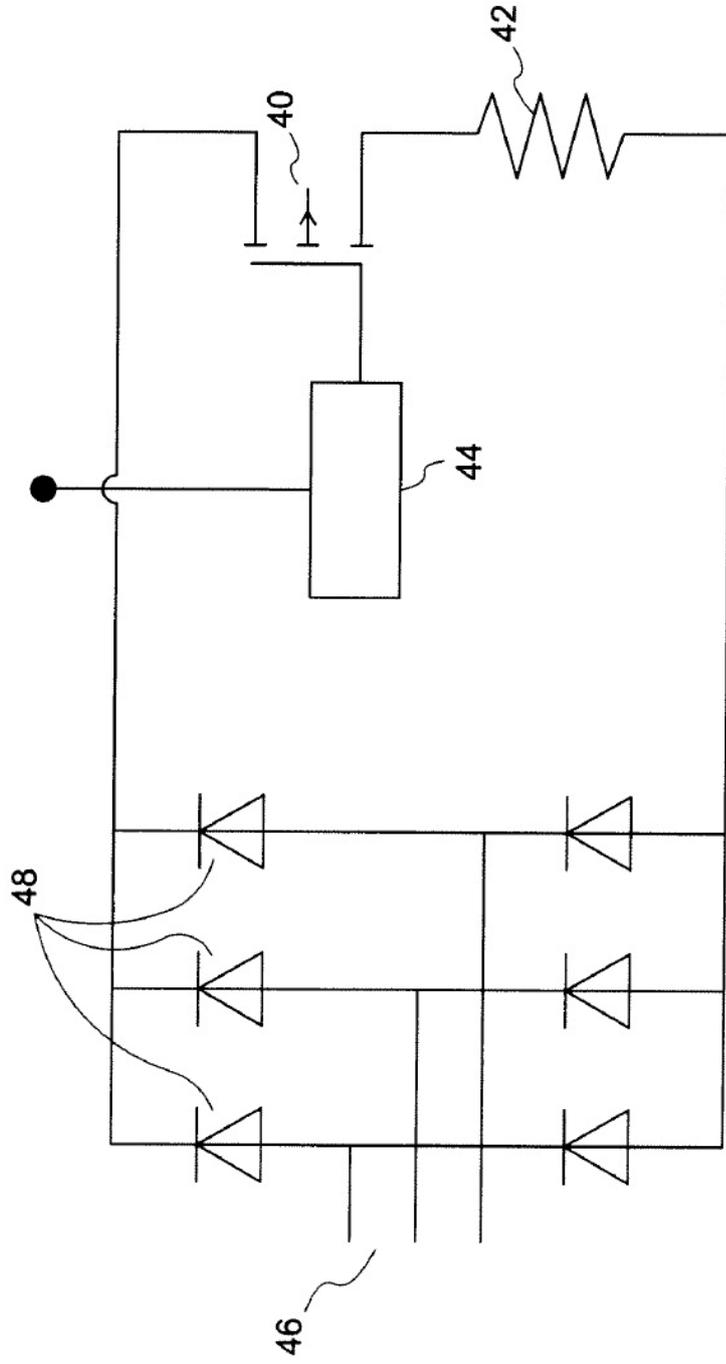


FIG. 2

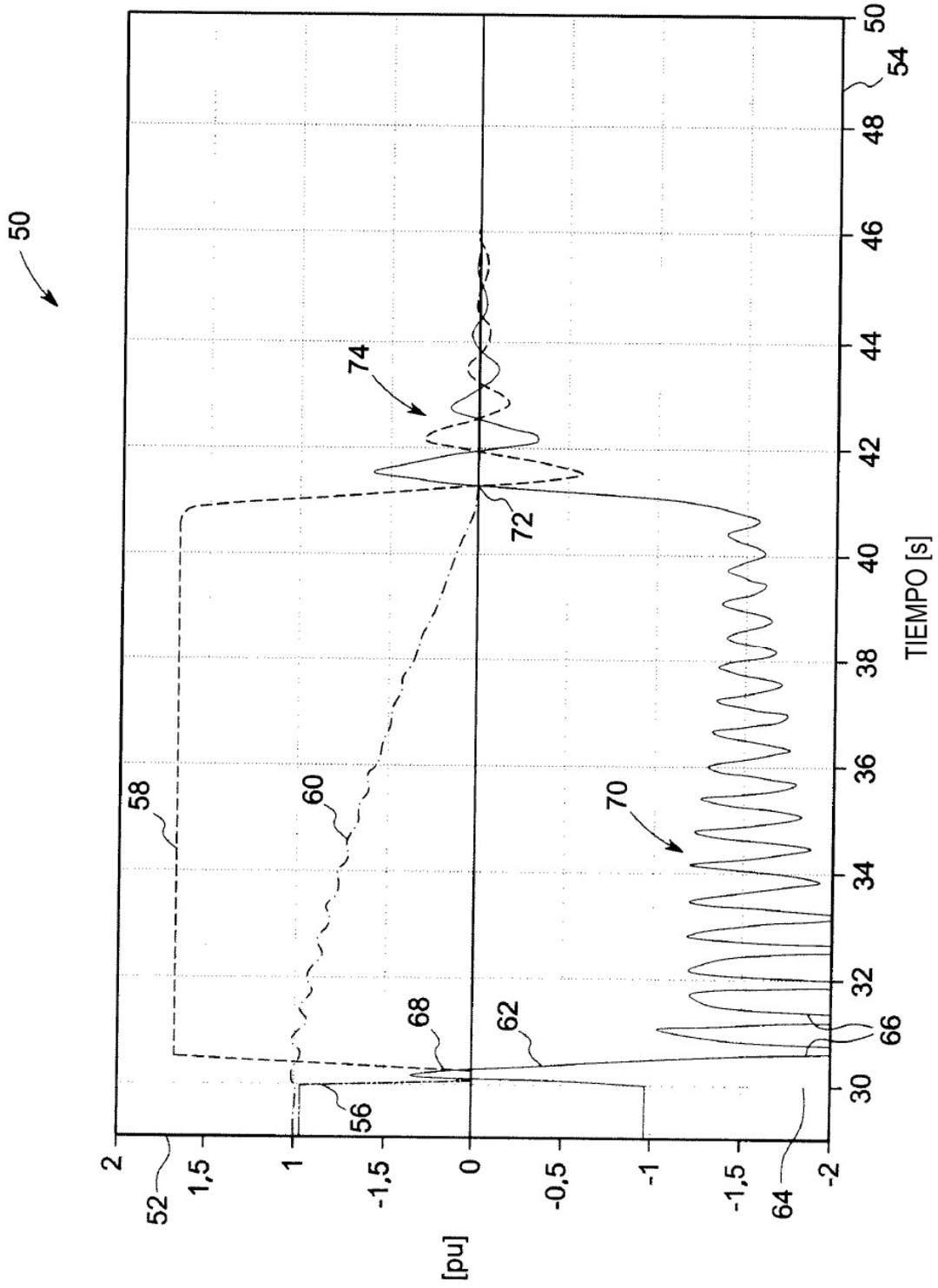


FIG. 3

80

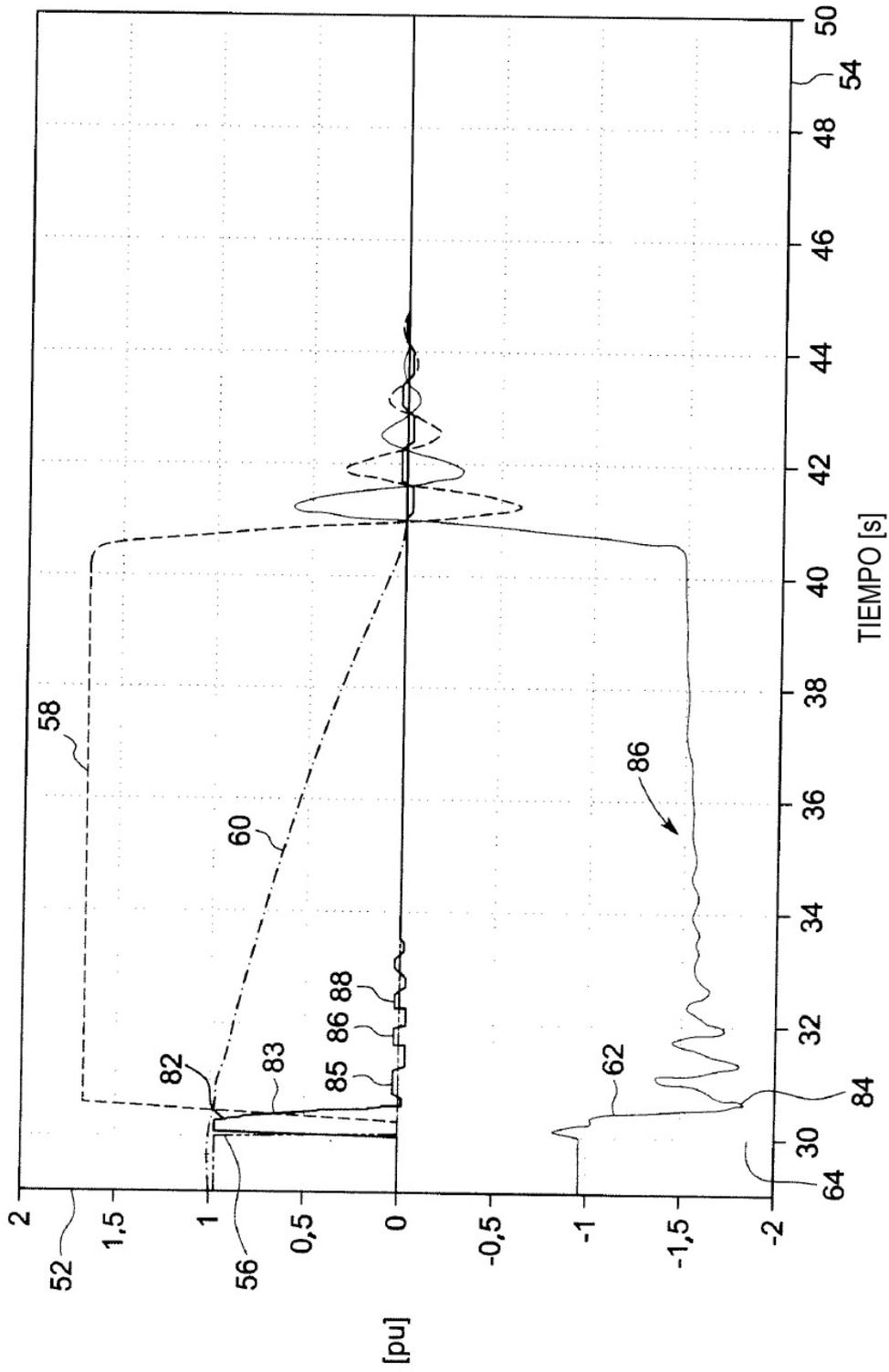


FIG. 4

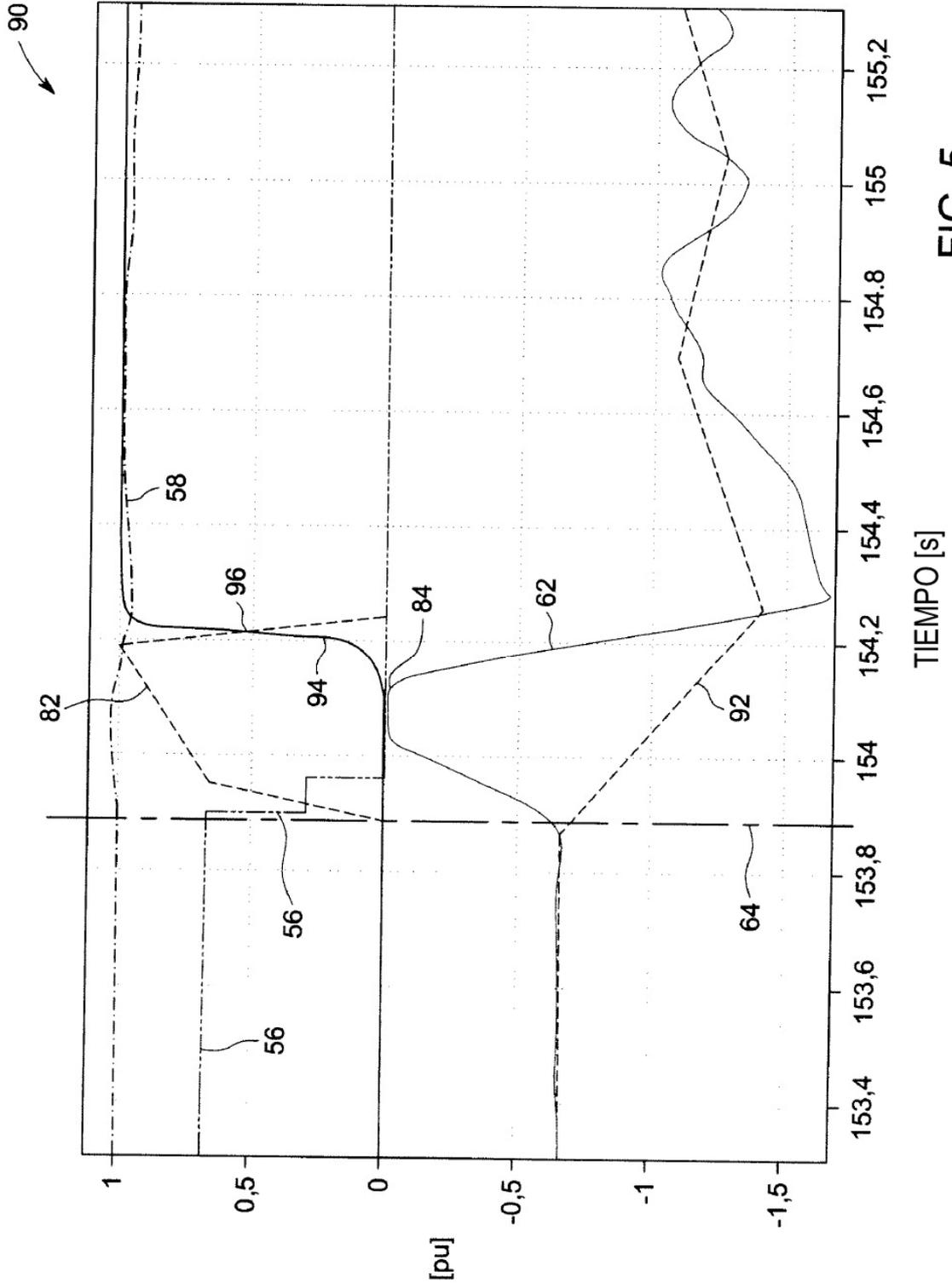


FIG. 5

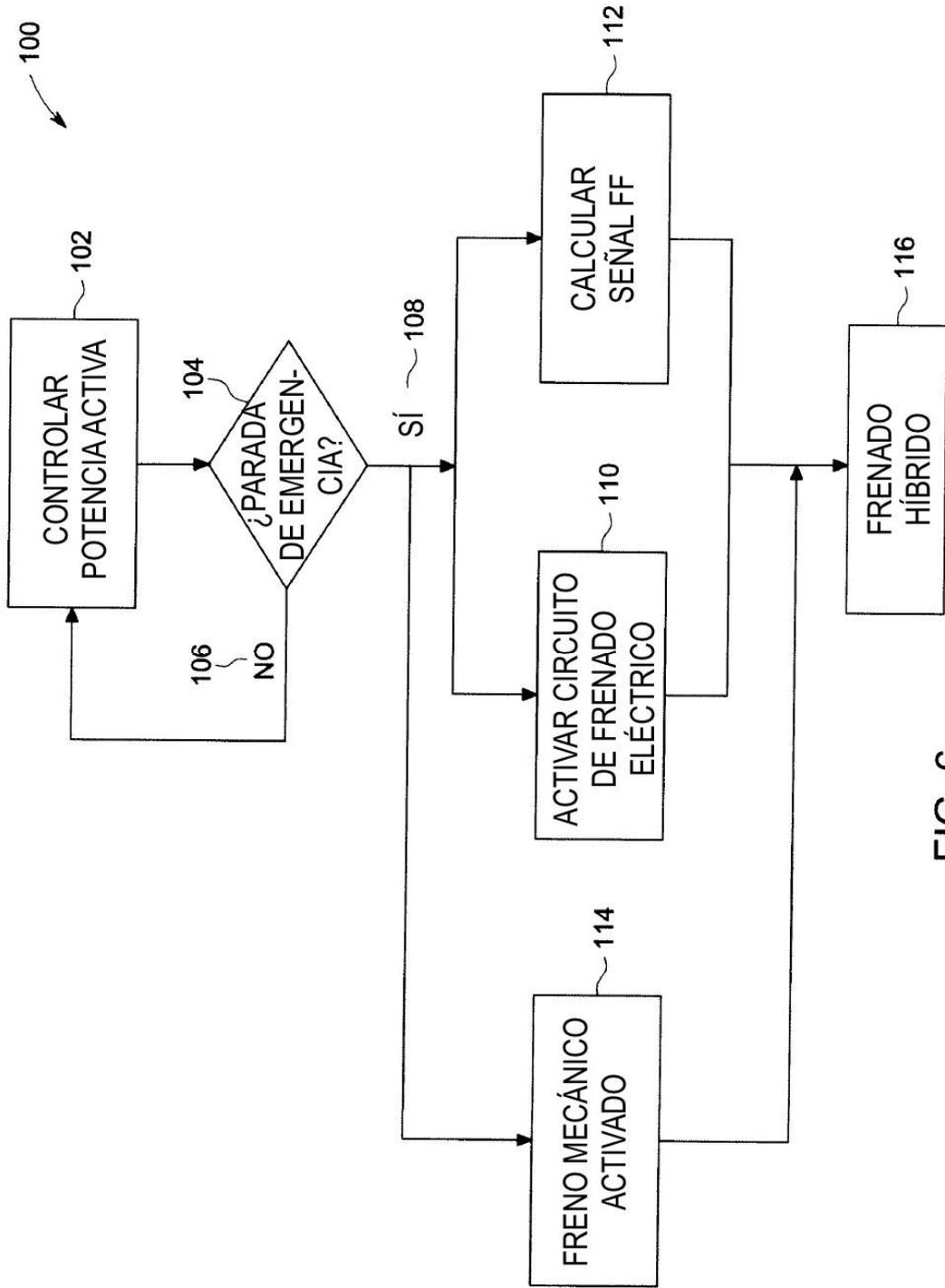


FIG. 6

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

*Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

5

**Documentos de patentes citados en la descripción**

- EP 1863162 A [0005]
- US 20070216164 A [0005]