

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 989**

21 Número de solicitud: 202330595

51 Int. Cl.:

G01R 23/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

14.07.2023

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.10.2023

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

26.10.2023

Fecha de concesión:

14.12.2023

45 Fecha de publicación de la concesión:

21.12.2023

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**MARTÍNEZ GONZÁLEZ, Sergio;
ARAÚZ SARMIENTO, Jesús Harmodio y
SERRANO PÉREZ, Juan Carlos**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **Método y sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua**

57 Resumen:

Método y sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua, donde el método comprende: medir una forma de onda de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario; determinar una frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, y; obtener un valor de frecuencia instantánea de la red eléctrica mediante el cociente de la frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua entre el número de pulsos de al menos un rectificador que conecta la fuente de tensión en corriente continua con la red eléctrica.

ES 2 950 989 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

Método y sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un método de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua. Mediante el método objeto de la presente invención, puede determinarse, a partir de la medida de tensión continua de un sistema de electrificación ferroviario, la frecuencia de la red eléctrica de corriente alterna que alimenta dicho sistema de electrificación ferroviario de corriente continua.

10 La presente invención se refiere también a un sistema que permite estimar (implementando el método de estimación objeto de la presente invención) la frecuencia de la red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema de electrificación ferroviario de corriente continua.

15 El método de estimación y el sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica, objeto de la presente invención, son de especial aplicación en la supervisión y control de redes eléctricas.

Antecedentes de la invención y problema técnico a resolver

25 Debido a la actual transición energética, los sistemas de energía eléctrica deben afrontar nuevos retos. La salida de las centrales convencionales basadas en combustibles fósiles, entre otros factores, repercute en la capacidad de mantener estable, fiable y con suficiente calidad el suministro de energía eléctrica. Un gran campo de investigación que busca afrontar los nuevos retos está orientado a desarrollar nuevas técnicas de control para generadores y consumidores de energía. Se pretende que éstos generen o consuman de modo que se afecte

30

en la menor medida posible a la red eléctrica o, incluso, que aporten servicios complementarios.

5 Dentro de la línea de investigación orientada a hacer que el consumo de energía eléctrica no perjudique, o incluso beneficie, a la red, está la habilitación de los sistemas ferroviarios para proveer servicios complementarios a dicha red, tales como el control de frecuencia. Para contribuir a dicho control es necesario estimar la frecuencia instantánea de la red eléctrica.

10 A diferencia de los sistemas ferroviarios en tensión alterna, los trenes de los sistemas alimentados en tensión continua no tienen acceso directo a la medida de la onda de tensión de alterna para estimar su frecuencia.

15 Si se quiere que los sistemas ferroviarios alimentados en tensión continua puedan contribuir a la estabilización de las redes eléctricas de corriente alterna, resulta conveniente que desde los trenes alimentados en corriente continua pueda estimarse la frecuencia instantánea de la red eléctrica de corriente alterna que aporta energía a la catenaria de corriente continua.

Descripción de la invención

20 Con objeto de solucionar los inconvenientes anteriormente mencionados, la presente invención se refiere a un método y a un sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua.

25 El método de estimación de la frecuencia de una red eléctrica que alimenta un sistema eléctrico ferroviario, objeto de la presente invención, comprende:

- medir una forma de onda de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;

30

- determinar la frecuencia del rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, y;
 - obtener un valor de frecuencia instantánea de la red eléctrica de corriente alterna mediante el cociente de la frecuencia del rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua entre el número de pulsos de al menos un rectificador que conecta la fuente de tensión en corriente continua con la red eléctrica.
- 5
- 10 La fuente de tensión de corriente continua es típicamente la catenaria del sistema eléctrico ferroviario, configurada para alimentar a los trenes en corriente continua.
- Esta catenaria está alimentada desde la red eléctrica de corriente alterna, a través de al menos un rectificador.
- 15 Según una primera forma de realización del método de la invención, la determinación de la frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua comprende:
- eliminar, mediante un filtro de paso alto, la componente continua de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, y;
 - estimar, mediante un lazo de seguimiento de fase (PLL) monofásico, la frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua.
- 20
- 25
- Según una segunda forma de realización del método de la invención, la determinación de la frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua comprende:
- obtener, mediante un microcontrolador, un espectro de frecuencias de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, y;
 - seleccionar las frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere un umbral predeterminado.
- 30
- 35

Según esta segunda forma de realización del método de la invención, la obtención de un valor de la frecuencia instantánea de la red eléctrica comprende:

- 5
- dividir aquellas frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere el umbral predeterminado entre el número de pulsos del al menos un rectificador, y;
 - seleccionar aquella frecuencia resultante del cociente anterior cuyo valor se
- 10
- aproxime más a la frecuencia asignada de la red eléctrica que alimenta al sistema eléctrico ferroviario.

Tal y como ya se ha introducido, la presente invención se refiere también a un sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua.

15

El sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica que alimenta un sistema eléctrico ferroviario, objeto de la presente invención, comprende:

- 20
- un subsistema de medida y acondicionamiento de una señal de tensión de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;
 - un subsistema de determinación de la frecuencia de rizado de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;
- 25
- un subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica configurado para dividir el valor de frecuencia de rizado entre el número de pulsos de al menos un rectificador que conecta el sistema eléctrico ferroviario con la red eléctrica.

30

Según una primera forma de realización del sistema de la invención, el subsistema de determinación de la frecuencia de rizado comprende:

- un filtro de paso alto, configurado para eliminar la componente de corriente continua de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;
- 5
- un lazo de seguimiento de fase (PLL) monofásico configurado para estimar la frecuencia de rizado.

Según una segunda forma de realización del sistema de la invención, el subsistema de determinación de la frecuencia de rizado comprende un microcontrolador configurado para:

10

- obtener un espectro de frecuencias de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;

15

- seleccionar las frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere un umbral predeterminado.

Según esta segunda forma de realización del sistema de la invención, el subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica comprende un microcontrolador configurado para:

20

- dividir aquellas frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere el umbral predeterminado entre el número de pulsos del al menos un rectificador, y;

25

- seleccionar aquella frecuencia resultante del cociente anterior cuyo valor se aproxime más a la frecuencia asignada de la red eléctrica que alimenta al sistema eléctrico ferroviario.

30

El microcontrolador del subsistema de determinación de la frecuencia de rizado puede ser el mismo microcontrolador que el microcontrolador del subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica.

Mediante el método y el sistema objeto de la presente invención, se permite la medida de la frecuencia de la red eléctrica desde cualquier tren, a bordo del mismo, a partir de la medida de tensión de la catenaria del sistema eléctrico ferroviario.

5 Así pues, mediante el método y el sistema objeto de la presente invención, se posibilita la contribución de los ferrocarriles de corriente continua al control de frecuencia de la red de alterna de la que se alimenta.

10 Así, los sistemas ferroviarios pueden ser cargas ajustables de acuerdo con las necesidades de control de frecuencia de la red.

La presente invención facilita que los trenes ejecuten diversos algoritmos de “respuesta de la demanda” para contribuir a la calidad de servicio de energía eléctrica, al permitir disponer de una estimación de la frecuencia de la red de alterna externa con medidas hechas a bordo.

15

Descripción detallada

20 Se procede a continuación a hacer una descripción de al menos una posible forma de realización del método y del sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica que alimenta un sistema eléctrico ferroviario, objeto de la presente invención.

El método de estimación de la frecuencia de una red eléctrica que alimenta un sistema eléctrico ferroviario, objeto de la presente invención, comprende:

- 25
- medir una forma de onda de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;
 - determinar la frecuencia del rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua;

30

- obtener un valor de frecuencia instantánea de la red eléctrica mediante el cociente de la frecuencia del rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua entre el número de pulsos (típicamente 6 ó 12 pulsos) de al menos un rectificador que conecta la fuente de tensión en corriente continua con la red eléctrica.

5

La medida de la forma de onda de la fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario se puede llevar a cabo mediante un sistema de medida y acondicionamiento de la señal de tensión de la catenaria (la fuente de tensión continua) del sistema eléctrico ferroviario.

10

La determinación de la frecuencia de rizado de la forma de onda de la tensión continua de la catenaria (la fuente de tensión en corriente continua del sistema eléctrico ferroviario) puede realizarse mediante la utilización de un filtro de paso alto para eliminar la componente continua de la señal medida, así como mediante el uso de un lazo de seguimiento de fase (también llamado “PLL”, por las siglas en inglés de “Phase-Locked Loop”) monofásico configurado para estimar la frecuencia de rizado.

15

Alternativamente, la determinación de la frecuencia de rizado de la forma de onda de la tensión continua de la catenaria (la fuente de tensión en corriente continua del sistema eléctrico ferroviario) puede realizarse mediante un microcontrolador configurado para obtener el espectro de frecuencias (mediante un algoritmo de transformada de Fourier) de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua.

20

En este último caso, la obtención de un valor de la frecuencia instantánea de la red eléctrica puede llevarse a cabo identificando las frecuencias con mayores ganancias del espectro de frecuencias obtenido para la forma de onda de la tensión de la catenaria y dividiendo dichas frecuencias entre el número de pulsos del rectificador (típicamente seis o doce pulsos), y seleccionar la frecuencia resultante de dicho cociente cuyo valor sea más próximo a la frecuencia asignada (típicamente 50 Hz o 60 Hz) de la red eléctrica de corriente alterna que alimenta a la catenaria.

25

30

Tal y como ya se ha comentado, la presente invención se refiere también a un sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica que alimenta un sistema eléctrico ferroviario.

El sistema de la invención comprende:

5

- un subsistema de medida y acondicionamiento de una señal de tensión de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;

10

- un subsistema de determinación de la frecuencia del rizado de la señal de tensión (de la forma de onda) de la fuente de tensión en corriente continua, y;

15

- un subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica que alimenta al sistema eléctrico ferroviario configurado para dividir el valor de frecuencia de rizado entre el número de pulsos de al menos un rectificador que conecta el sistema eléctrico ferroviario con la red eléctrica.

Según una primera forma de realización del sistema de estimación de la frecuencia de la red eléctrica, objeto de la presente invención, el subsistema de determinación de la frecuencia de rizado comprende:

20

- un filtro de paso alto, configurado para eliminar la componente de corriente continua de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;

25

- un lazo de seguimiento de fase (PLL) monofásico configurado para estimar la frecuencia de rizado.

Según esta primera forma de realización, el subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica puede estar realizado mediante un microcontrolador.

Según una segunda forma de realización del sistema de estimación de la frecuencia de la red eléctrica, objeto de la presente invención, el subsistema de determinación de la frecuencia de rizado comprende un microcontrolador configurado para:

- 5 - obtener un espectro de frecuencias (por ejemplo, mediante un algoritmo de transformada de Fourier) de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;
- seleccionar las frecuencias con mayores ganancias dentro del espectro de frecuencias
- 10 de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua.

Según esta segunda forma de realización, el subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica puede estar realizado mediante un microcontrolador (que puede ser el mismo microcontrolador que comprende el subsistema de estimación de la

15 frecuencia de rizado). Este microcontrolador está configurado para:

- dividir las frecuencias con mayores ganancias del espectro de frecuencias entre el número de pulsos del rectificador (típicamente seis o doce pulsos), y;
- 20 - seleccionar el valor resultante de las divisiones anteriores que se aproxime más a la frecuencia asignada de la red eléctrica (típicamente 50 Hz o 60 Hz).

REIVINDICACIONES

1. Método de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua **caracterizado** por que
5 comprende:
- medir una forma de onda de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;
 - 10 ○ determinar al menos una frecuencia del rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, donde la determinación de al menos una frecuencia de rizado de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua comprende:
 - 15 ▪ obtener, mediante un microcontrolador, un espectro de frecuencias de la forma de onda de la fuente de tensión en corriente continua, y;
 - seleccionar las frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere un umbral predeterminado y;
 - 20 ○ obtener un valor de frecuencia instantánea de la red eléctrica, donde la obtención de un valor de la frecuencia instantánea de la red eléctrica comprende:
 - 25 ▪ dividir aquellas frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere el umbral predeterminado entre el número de pulsos del al menos un rectificador, y;
 - 30 ▪ seleccionar aquella frecuencia resultante del cociente anterior cuyo valor se aproxime más a la frecuencia asignada de la red eléctrica que alimenta al sistema eléctrico ferroviario.
2. Sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que
35 alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua **caracterizado** por que comprende:

- un subsistema de medida y acondicionamiento de una señal de tensión de una fuente de tensión de corriente continua del sistema eléctrico ferroviario;
- 5
- un subsistema de determinación de al menos una frecuencia del rizado de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, donde el subsistema de determinación de al menos una frecuencia de rizado comprende un microcontrolador configurado para:
 - 10
 - obtener un espectro de frecuencias de la señal de tensión de la fuente de tensión en corriente continua, y;
 - seleccionar las frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere un umbral predeterminado, y;
- 15
- un subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica, donde el subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica comprende un microcontrolador configurado para:
 - 20
 - dividir aquellas frecuencias del espectro de frecuencias cuya ganancia supere el umbral predeterminado entre el número de pulsos del al menos un rectificador, y;
 - 25
 - seleccionar aquella frecuencia resultante del cociente anterior cuyo valor se aproxime más a la frecuencia asignada de la red eléctrica que alimenta al sistema eléctrico ferroviario.
- 30
3. Sistema de estimación de la frecuencia de una red eléctrica de corriente alterna que alimenta un sistema eléctrico ferroviario de corriente continua según la reivindicación 2, **caracterizado** por que el microcontrolador del subsistema de determinación de la frecuencia de rizado es el mismo microcontrolador que el microcontrolador del subsistema de obtención de la frecuencia instantánea de la red eléctrica.