

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 506**

51 Int. Cl.:

**B61L 23/04** (2006.01)

**B61K 9/10** (2006.01)

**B61L 1/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.09.2015 PCT/ES2015/070656**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2016 WO16042182**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.09.2015 E 15842134 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3196095**

54 Título: **Sistema y método para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria**

30 Prioridad:

**15.09.2014 ES 201431338**

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

**09.06.2020**

73 Titular/es:

**INSTALACIONES INABENSA, S.A. (100.0%)  
Energía Solar 1  
41014 Sevilla, ES**

72 Inventor/es:

**ESPINOSA ZAPATA, FELIPE;  
MAZO QUINTAS, MANUEL;  
UREÑA UREÑA, JESÚS;  
HERNÁNDEZ ALONSO, ÁLVARO;  
JIMÉNEZ CALVO, JOSÉ ANTONIO;  
FERNÁNDEZ LORENZO, IGNACIO;  
PÉREZ RUBIO, MARÍA DEL CARMEN;  
GARCÍA GARCÍA, JUAN CARLOS;  
GARCÍA DOMÍNGUEZ, JUAN JESÚS;  
CORTÉS RENGEL, JUAN CARLOS y  
ARÉVALO GEA, RAÚL**

74 Agente/Representante:

**IGARTUA IRIZAR, Ismael**

**ES 2 765 506 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 y método para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con sistemas y métodos para detectar la rotura de raíles en líneas ferroviarias, y más concretamente con sistemas no embarcados (o instalados en vía) y métodos para sistemas no embarcados.

10

ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

Actualmente existen diferentes tecnologías para detectar si algún raíl que forma parte de una línea ferroviaria está roto. Algunas de ellas son tecnologías aplicables a sistemas embarcados, mientras que otras están dirigidas a sistemas no embarcados.

15

En el documento US2004172216A1 se divulga un sistema no embarcado con tecnología por ultrasonidos. El sistema comprende un generador por raíl, y los generadores emiten una señal ultrasónica correspondiente. Unos receptores respectivos están dispuestos a cierta distancia de los raíles (uno por raíl). El propio raíl (si no está roto) se encarga de transmitir el ultrasonido desde el punto de emisión al punto de recepción, de tal manera que si un receptor no recibe señal alguna cuando debería se determina la rotura del raíl correspondiente. La ventaja de esta solución estriba en la capacidad de detectar todo tipo de defectos (daño superficial, grieta y rotura) que repercutiría en la calidad de la señal recibida, pero tiene como inconveniente el poco alcance de la fuente de señal (próximo a los 2 metros). Y la necesidad por tanto de incorporar un número elevado de repetidores, lo que encarece el sistema global.

20

25

Otra tecnología empleada en este tipo de sistemas no embarcados es la tecnología de fibra óptica. La solución tecnológica más extendida utilizando fibra óptica consiste en disponer el conductor de luz adosado a cada raíl. La principal ventaja es la mínima y sencilla infraestructura requerida, pero su punto débil es el fuerte estrés mecánico que ha de sufrir el raíl para llegar a romper la fibra y detectar el correspondiente fallo.

30

Otra tecnología empleada en este tipo de sistemas no embarcados es la tecnología de acoplamiento inductivo. La idea básica de esta tecnología es aprovechar el comportamiento de buen conductor electromagnético de los raíles para cerrar un circuito en el que la fuente de señal inducida se aplica a una bobina conectada a los raíles en un punto determinado de la línea ferroviaria. A cierta distancia se ubica un cable enlazado que hace funciones de receptor, capturando la inducción propagada por los raíles si estos se encuentran en correcto estado. La rotura de uno de los raíles provoca una pérdida de señal inducida en el lazo receptor. Su principal ventaja es la simplicidad y bajo coste, sin embargo las pérdidas de señal inducida crecen con la distancia, por lo que para una detección a distancias elevadas, la tecnología obliga a incrementar la corriente generadora de la inducción electromagnética o bien incrementar el número de bobinas emisoras y lazos receptores. Por otra parte, la pérdida de señal recibida es indicativa de vía rota pero no permite diferenciar cuál de los dos raíles ha quedado inoperativo.

35

40

Otra tecnología empleada en este tipo de sistemas no embarcados es la tecnología basada en ondas elásticas. Se trata de aprovechar las ondas sónicas y ultrasónicas emitidas por el propio tren y propagadas a lo largo de la vía, donde se ubican dispositivos receptores. Su principal ventaja es que no requiere fuentes adicionales de señal, sin embargo su utilización está limitada por la gran atenuación que sufren estas señales con la frecuencia y con la distancia, lo que obliga a disponer receptores cada pocos metros.

45

En el documento ES2320517A1 se divulga una tecnología conocida como "circuito de vía", cuya función es detectar la presencia/ausencia de un tren en un tramo de línea ferroviaria aprovechando el cortocircuito forzado entre los raíles de la vía por el conjunto rueda-eje-rueda de un tren. De forma indirecta, en ausencia de tren estos circuitos pueden detectar si hay o no discontinuidad eléctrica de los raíles en el tramo bajo estudio, pudiendo determinarse la rotura de un raíl si se detecta una discontinuidad. Sin embargo, para su uso exclusivo como detector de rotura de raíles supone optar por una solución sobredimensionada y costosa de implementación y mantenimiento.

50

55

El documento de patente FR2758302A1 muestra un sistema para detectar raíles rotos en un ferrocarril, que está adaptado para detectar raíles rotos mediante la detección de una discontinuidad eléctrica en los mismos. El sistema incluye una unidad central conectada a ambos raíles de un ferrocarril principal y al equipo de señalización que controla los puntos entre el ferrocarril principal y un ferrocarril secundario. El equipo de señalización incluye cables conductores que unen eléctricamente los raíles principal y secundario. Se proporcionan varios dispositivos para medir la corriente eléctrica a través de los cables y raíles de conexión.

60

El documento de patente FR2758301A1 describe un sistema para detectar raíles rotos en una línea de ferrocarril que tiene al menos una pista, que está adaptada para detectar raíles rotos mediante la detección de una discontinuidad eléctrica de los mismos, en el que el sistema comprende al menos un nodo emisor, al menos un

65

receptor nodo y medios de conexión para configurar al menos un circuito eléctrico determinado entre ambos nodos y la sección de raíles entre ambos nodos, determinando si hay o no una discontinuidad eléctrica en dicha sección, estando configurado el nodo emisor para inyectar al menos una señal eléctrica alterna de una potencia específica en el circuito eléctrico.

5

## EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

Un objeto de la invención es el de proporcionar un sistema para detectar la rotura de raíles de una línea ferroviaria, tal y como se describe a continuación.

10

El sistema de la invención está adaptado para detectar la rotura de raíles por discontinuidad eléctrica de los mismos, y comprende al menos un nodo emisor, al menos un nodo receptor y unos medios de conexión para generar al menos un circuito eléctrico determinado entre ambos nodos y el tramo de raíles entre ambos nodos, determinándose si hay o no discontinuidad eléctrica en dicho tramo, estando el nodo emisor configurado para inyectar al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada al circuito eléctrico. El sistema comprende además un detector asociado a cada raíl en el tramo de raíles que forma parte del circuito eléctrico, en cada uno de los nodos, para detectar la señal que pasa a través del raíl correspondiente como respuesta a la inyección que realiza el nodo emisor, y al menos unos medios de control que están comunicados con los detectores para recibir las señales detectadas por dichos detectores, y que están configurados para determinar si existe alguna discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico en base a las detecciones recibidas, y para determinar la rotura de al menos uno de los raíles que forma parte de dicho circuito eléctrico ante la presencia de una discontinuidad eléctrica en dicho circuito eléctrico (en particular una rotura en el tramo de dicho raíl que forma parte de dicho circuito eléctrico).

15

20

Otro objeto de la invención es el de proporcionar un método para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria de al menos una vía, tal y como se describe a continuación.

25

Con el método de la invención se configura al menos un circuito eléctrico entre un nodo emisor, un nodo receptor y un tramo de raíles entre ambos nodos; se inyecta al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada en el circuito eléctrico desde el nodo emisor; se detecta, en cada uno de los nodos, la señal eléctrica alterna que pasa a través de cada raíl que forma parte del circuito eléctrico como respuesta a la señal eléctrica alterna inyectada; y se determina si hay discontinuidad eléctrica en algún raíl que forma parte del circuito eléctrico, dentro del tramo que forma parte de dicho circuito eléctrico, y por tanto si hay una rotura en dicho raíl, en función de dichas señales detectadas.

30

35

De esta manera, tanto con el sistema como con el método de la invención se posibilita disponer el nodo receptor y el nodo emisor a distancias elevadas entre sí en comparación con las soluciones conocidas del estado de la técnica, puesto que se posibilita la inyección de una señal alterna sobre al menos un raíl con una potencia adecuada, estando el valor de la tensión de excitación y el de la corriente de dicha señal alterna limitados por las restricciones de seguridad eléctricas inherentes a los sistemas ferroviarios (máxima tensión de excitación: 30V; máxima corriente: 5A). En particular, se pueden cubrir las distancias entre los diferentes edificios técnicos repartidos por las líneas ferroviarias (que están distanciados entre sí por distancias entre aprox. 10km y 14km), con un número menor de dispositivos, puesto que, por ejemplo, los nodos emisores se pueden disponer en los edificios técnicos y los nodos receptores se pueden disponer en puntos intermedios a dichos edificios técnicos (puntos intermedios que pueden estar a aproximadamente entre 5km y 7km de los edificios técnicos). Así se disminuye significativamente el número de instalaciones requeridas para la detección de roturas en líneas ferroviarias con las ventajas tanto técnicas como económicas que ello conlleva. Dentro de la definición de edificio técnico hay que incluir subestaciones, autotransformadores, casetas de comunicación, centros de transformación, etc.

40

45

Estas y otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

50

## DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra esquemáticamente una estructura global de una realización del sistema de la invención.

55

La figura 2 muestra esquemáticamente dos circuitos independientes configurados con el sistema de la invención, para dos vías de una línea ferroviaria de doble vía.

60

La figura 3 muestra esquemáticamente un circuito eléctrico configurado con el sistema de la invención, para una excitación conjunta de ambas vías de una línea ferroviaria de doble vía.

La figura 4 muestra el circuito eléctrico de la figura 3, con una rotura en cada raíl y donde se representan las impedancias de acoplamiento entre raíles.

65

La figura 5 muestra esquemáticamente una estructura electrónica del sistema de la figura 1.

## EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

5 Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria que comprende al menos una vía V con dos raíles R paralelos, que está preferentemente adaptado también para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria de doble vía como se muestra de manera esquemática y estructural en la figura 1 por ejemplo. El sistema está adaptado para que se detecte la rotura en algún raíl R en base a la detección de una discontinuidad eléctrica, puesto que se emplea la capacidad de los propios raíles R como conductores de electricidad. El sistema de la invención es además un sistema no embarcado, es decir, está instalado en la vía o alrededores, y un tren o vehículo que circule sobre las vías no participa en el mismo.

15 El sistema comprende al menos un nodo emisor 1, al menos un nodo receptor 2 dispuesto a una distancia de separación determinada del nodo emisor 1, y unos medios de conexión para generar al menos un circuito eléctrico determinado entre ambos nodos 1 y 2 y el tramo de raíles R de la línea ferroviaria entre ambos nodos 1 y 2. Los medios de conexión permiten la conexión eléctrica de los nodos 1 y 2 respectivamente a los diferentes raíles R, de tal manera que es posible generar un circuito eléctrico entre ambos nodos 1 y 2 y el tramo de raíles R entre ambos nodos 1 y 2, pudiendo detectar así si hay rotura en algún raíl R dentro de dicho tramo de raíles R en base a si el circuito eléctrico configurado está cerrado (no hay discontinuidad eléctrica en uno de los tramos de los raíles R que forman parte del circuito eléctrico) o abierto (existe al menos una discontinuidad eléctrica en uno de los tramos de los raíles R que forman parte del circuito eléctrico). Para ello, el nodo emisor 1 está configurado para inyectar al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada al circuito eléctrico (la generación está representada con la referencia E en las figuras, por claridad), determinándose en función de dicha señal inyectada si hay o no discontinuidad en alguno de los raíles R que forman parte del circuito eléctrico correspondiente.

25 La señal que se inyecta tiene unas propiedades eléctricas determinadas, y la longitud del tramo de raíles R que puede ser inspeccionado depende de dichas propiedades. Cuando se habla de la inyección de una señal eléctrica alterna hay que interpretarlo como la generación de una tensión alterna (tensión de excitación) que se aplica al circuito eléctrico proporcionando una corriente determinada.

35 El sistema comprende un detector S asociado a cada raíl R en el tramo de raíles R que forma parte del circuito eléctrico, en cada uno de los nodos 1 y 2 (ver figuras 2 y 3), para detectar la señal que pasa a través del raíl R correspondiente como respuesta a la inyección que realiza el nodo emisor 1, y al menos unos medios de control que están comunicados con los detectores S para recibir las señales detectadas por dichos detectores S y que están configurados para determinar si existe alguna discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico en base a ellas, y para determinar la rotura de al menos uno de los raíles R (y de qué raíl R) que forma parte de dicho circuito eléctrico, en el tramo de raíles R objeto de estudio, ante la presencia de una discontinuidad eléctrica en dicho circuito eléctrico.

40 Las características de la señal eléctrica alterna inyectada y la impedancia del circuito eléctrico son conocidas, por lo que se pueden prever de antemano las características de las señales a detectar por los detectores S como respuesta a la señal eléctrica alterna inyectada. De esta manera los medios de control pueden determinar si las señales recibidas se corresponden con lo esperado o no, pudiendo así determinar si hay alguna discontinuidad o no en dicho tramo de raíles R. Además, debido al menos a la presencia de una impedancia de acoplamiento  $Z_{rr}$  entre dos raíles R de una misma vía V y a la pluralidad de detectores S empleados, los medios de control están además configurados para determinar en qué raíl R se ha producido la discontinuidad eléctrica a partir de las señales recibidas.

50 El hecho de generar un circuito eléctrico entre un nodo emisor 1, un nodo receptor 2 y el tramo de raíles R entre dichos nodos 1 y 2 de una línea ferroviaria, y el hecho de inyectar una señal eléctrica alterna de una frecuencia determinada en dicho circuito eléctrico permite disponer el nodo emisor 1 y el nodo receptor 2 a mayores distancias entre sí que con las tecnologías conocidas del estado de la técnica, puesto que la señal eléctrica alterna es capaz de cubrir mayores distancias. En las líneas ferroviarias existen unas restricciones eléctricas inherentes que tiene que cumplir también la señal eléctrica alterna (máxima tensión de excitación de 30V y máxima corriente de 5A).  
55 Teniendo en cuenta estas limitaciones se puede configurar una señal eléctrica alterna que siendo inyectada por el nodo emisor 1 se reciba correctamente en el nodo receptor 2 y en el propio nodo emisor 1 tras pasar por el nodo receptor 2, con un nivel que depende de si hay o no rotura de algún raíl R, pudiendo ser la separación entre los nodos 1 y 2, gracias al sistema de la invención, de hasta al menos 10km. Además se ha de tener en cuenta que el tramo de línea ferroviaria excitado con la señal inyectada y analizado comprende la distancia entre sus dos nodos receptores 2 contiguos (figura 1), por lo que la distancia de línea ferroviaria evaluada con un mismo nodo emisor 1 puede alcanzar los 20km (10km a cada lado del nodo emisor). Para calcular la distancia que puede cubrir la señal eléctrica alterna hay que considerar las características de la propia señal eléctrica alterna y las del circuito eléctrico configurado (la impedancia por ejemplo), pero no se detalla este cálculo puesto que partiendo de estas premisas un experto en la materia podría llegar a conocer los límites de la señal eléctrica generada. El sistema de la invención permite así disponer los nodos emisores 1 en los edificios técnicos presentes a lo largo de las líneas ferroviarias, y disponer los nodos receptores 2 en un punto intermedio entre dos edificios técnicos (entre dos nodos emisores 1),

de tal manera que se tiene una distancia de separación entre nodos 1 y 2 de entre 5km y 9km aproximadamente. Dentro de la definición de edificio técnico hay que incluir subestaciones, autotransformadores, casetas de comunicación, centros de transformación o instalaciones que están presentes a lo largo de las líneas ferroviarias, y que distan entre sí entre 10km y 14km por lo general.

5 El sistema comprende unos medios de control 11 y 21 respectivos en cada nodo 1 y 2 que reciben las señales detectadas por los detectores S respectivos (los medios de control 11 reciben las señales desde los detectores S del nodo emisor 1 y los medios de control 21 reciben las señales desde los detectores S del nodo receptor 2), y una línea de comunicación 3 de datos a través de la cual se comunican entre sí ambos medios de control 11 y 21. Preferentemente la línea de comunicación 3 se corresponde con la línea existente en las líneas ferroviarias, no siendo necesario añadir una línea de comunicación adicional (se podría añadir en caso de no existir tal línea). La línea de comunicación 3 puede ser una línea *ethernet* por ejemplo, aunque podría ser de otro tipo.

15 Preferentemente los medios de control 21 del nodo receptor 2 están configurados para enviar las señales que reciben a los medios de control 11 del nodo emisor 1, y dichos medios de control 11 están configurados para determinar si hay o no discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico en función de las señales recibidas del nodo receptor 2 a través de la línea de comunicación 3 y de las señales recibidas desde los detectores S del propio nodo emisor 1, siendo dichos medios de control 11 los que determinan si hay o no rotura de algún raíl R, y en su caso, qué raíl R está roto. De manera alternativa podrían ser los medios de control 21 del nodo receptor 2 los encargados de realizar las determinaciones, enviando el nodo emisor 1 las señales recibidas al nodo receptor 2 a través de la línea de comunicación 3. De esta manera las capacidades de cálculo para determinar la rotura o no de algún raíl R se le exigen únicamente a uno de los medios de control 11 y 21.

25 El sistema está adaptado para configurar diferentes circuitos eléctricos entre un nodo emisor 1, un nodo receptor 2 y el tramo de raíles R entre ambos nodos 1 y 2. Para ello, en ejemplos que no forman parte de la invención, los medios de conexión comprenden un primer módulo 100 en el nodo emisor 1 a través del cual dicho nodo emisor 1 se puede conectar eléctricamente de diferentes maneras a los raíles R de una línea ferroviaria, y un segundo módulo 200 en el nodo receptor 2 a través del cual dicho nodo receptor 2 se puede conectar eléctricamente de diferentes maneras a los raíles R de una línea ferroviaria. Cada módulo 100 y 200 comprende al menos un conmutador controlable (no representado en las figuras) para cada raíl R, pudiendo así conectarse eléctricamente ambos nodos 1 y 2 a todos los raíles R de la línea ferroviaria, y cada uno de los medios de control 11 y 21 está comunicado con el módulo 100 y 200 correspondiente y configurado para controlar la apertura y cierre de dichos conmutadores para configurar los diferentes circuitos eléctricos entre los nodos 1 y 2 y el tramo de raíles R entre ambos nodos 1 y 2. Los dos medios de control 11 y 21 están configurados además para controlar los conmutadores de los módulos 100 y 200 respectivamente de una manera coordinada, de tal manera que cooperan entre sí para configurar el circuito eléctrico requerido entre ambos nodos 1 y 2 y el tramo de raíles R entre ambos nodos 1 y 2.

35 El primer módulo 100 está adaptado para asociar el nodo emisor 1 a dos nodos receptores 2, uno a cada lado (uno a su derecha y otro a su izquierda, tal y como se muestra en la figura 1 por ejemplo), y el segundo módulo 200 está adaptado para asociar el nodo receptor 2 a dos nodos emisores 1, uno a cada lado (uno a su derecha y otro a su izquierda), estando los medios de control 11 del nodo emisor 1 y los medios de control 21 de ambos nodos receptores 2 configurados para controlar los módulos 100 y 200 respectivos de manera coordinada. De esta manera se permite duplicar el tramo de raíles R de la línea ferroviaria evaluado con un mismo nodo emisor 1, con las ventajas que ello conlleva en cuanto a coste, instalación y mantenimiento por ejemplo.

45 Los medios de control 11 y 21 permiten configurar un circuito eléctrico entre el nodo emisor 1, el nodo receptor 2 y el tramo de los raíles R entre ambos nodos 1 y 2 de una vía V de la línea ferroviaria. Para el caso de una línea ferroviaria de doble vía se pueden configurar así dos circuitos eléctricos independientes, uno para cada vía V, tal y como se muestra a modo de ejemplo en la figura 2. Para el caso de una línea ferroviaria de doble vía el nodo emisor 1 se configura para que, preferentemente, inyecte una señal primero en el circuito eléctrico de una vía V y después inyecte otra señal en el circuito eléctrico de la otra vía V.

50 Para el caso de una línea ferroviaria de doble vía, los medios de control 11 y 21 y los módulos 100 y 200 están adaptados y configurados para poder configurar además otro circuito eléctrico, en el que intervienen ambas vías V, entre el nodo emisor 1, el nodo receptor 2 y el tramo de los raíles R de ambas vías V que queda entre ambos nodos 1 y 2, configurándose así el circuito eléctrico entre los cuatro raíles R (el tramo) que conforman la línea ferroviaria tal y como se muestra a modo de ejemplo en la figura 3. En este caso el nodo emisor 1 inyectaría una señal eléctrica alterna en ambos raíles R de una misma vía V, cerrándose el circuito a través del nodo receptor 2 y los raíles R de la otra vía V. En dicho circuito eléctrico, el nodo emisor 1 está conectado a ambas vías V de la línea ferroviaria y en el nodo receptor 2 los cuatro raíles R están cortocircuitados. Esta nueva configuración permite que los medios de control 11 sean capaces de identificar el raíl R roto y estimar la zona de rotura de dicho raíl R.

60 Con referencia a la figura 3, en el nodo emisor 1 el sistema puede comprender una primera barra de señal 17 que actúa como nodo para bifurcar la señal eléctrica alterna en dos (una para cada uno de los raíles R), de tal manera que con la generación de una única señal eléctrica alterna es suficiente para el circuito eléctrico. Para cerrar el circuito eléctrico correspondiente, el sistema comprende además una segunda barra de señal 18 que unifica las dos

## ES 2 765 506 T3

señales que llegan desde los dos raíles de la otra vía V (segunda vía V). Los detectores S del nodo emisor 1 están dispuestos entre los raíles R y las barras de señal 17 y 18.

5 En el nodo receptor 2, por su parte, el sistema comprende dos barras de señal 27 y 28. La primera barra de señal 27 unifica las dos señales que llegan desde los dos raíles R de la primera vía V, y la segunda barra de señal 28 bifurca en dos la señal eléctrica alterna que recibe de la primera barra de señal 27, una para cada raíl R de la segunda vía V. Al igual que en el nodo emisor 1, en el nodo receptor 2 los detectores S se disponen entre los raíles R y las barras de señal 27 y 28.

10 Un detector S detecta una señal eléctrica alterna asociada a su raíl R correspondiente como respuesta a la señal eléctrica alterna inyectada. Preferentemente el detector S comprende una resistencia de sensado que detecta la corriente que pasa a través de dicho raíl R en ese punto, aunque se podría emplear otro detector S diferente. De esta manera, en base a las diferencias relativas (de un detector S con respecto al resto) entre los niveles de corriente (o tensión por ejemplo), que son indicativas de una o varias discontinuidades eléctricas en el circuito  
15 eléctrico analizado, se puede detectar la presencia de al menos una rotura de raíl R en el tramo de vía V analizado (tramo que forma parte de dicho circuito eléctrico).

20 El nodo emisor 1 está configurado para generar la señal eléctrica alterna partiendo de una señal portadora digital que se modula mediante un código determinado. La frecuencia de la señal portadora está seleccionada para que su ancho de banda no se vea afectado por la frecuencia de la red (50Hz) y sus armónicos principales, por lo que se selecciona una frecuencia de al menos 500Hz. Por otra parte, los sistemas de protección empleados en la actualidad en las líneas ferroviarias emplean señales de frecuencia por encima de 1kHz y teniendo en cuenta además que la atenuación de una señal emitida aumenta con la frecuencia, la frecuencia seleccionada está por debajo de 1kHz. Así, el ancho de banda de la señal digital modulada está comprendido en el rango definido entre 500Hz y 1 kHz, y  
25 preferentemente entre aproximadamente 700Hz y aproximadamente 900Hz (lo que resulta en una frecuencia de la señal digital portadora de aproximadamente 800Hz).

30 La codificación utilizada contribuye a la detección de señales con una elevada inmunidad al ruido del entorno. La modulación utilizada permite concentrar la energía de la señal en el ancho de banda requerido. Preferentemente se utiliza una modulación BPSK con un código Kasami de 1023 bits, pero se podrían emplear otro tipo de modulación y codificación.

35 El nodo emisor 1 comprende un convertidor digital analógico DAC para convertir dicha señal digital modulada en una señal analógica modulada (que puede estar integrado o no en los medios de control 11) y un amplificador 19 para amplificar dicha señal eléctrica alterna modulada, siendo dicha señal amplificada la señal eléctrica alterna que se inyecta. De esta manera, gracias al sistema de la invención se puede inyectar una señal eléctrica alterna con unas propiedades con las que se obtienen al menos las siguientes ventajas:

- 40 - Se puede analizar la discontinuidad eléctrica de raíles R de tramos de línea ferroviaria con una amplia distancia entre un nodo emisor 1 y un nodo receptor 2 comparada con la distancia permitida con los sistemas del estado de la técnica.
- Se detectan señales con alta inmunidad eléctrica frente a ruidos del entorno.
- Se pueden particularizar las señales emitidas por cada nodo emisor 1 de forma que cada nodo receptor 2 interprete de qué fuente (de qué nodo emisor 1 contiguo) procede la señal detectada.

45 El sistema comprende en cada nodo 1 y 2 al menos un convertidor analógico digital ADC para digitalizar la señal eléctrica alterna que detectan los detectores S correspondientes, estando los medios de control 11 y 21 conectados al convertidor analógico digital ADC correspondiente para recibir dichas señales digitalizadas y procesarlas. Para procesarlas los medios de control 11 y 21 realizan la demodulación las señales detectadas que reciben procedentes de los detectores S correspondientes, las decodifican y realizan un proceso de correlación con el patrón de datos conocido y empleado para generar la propia señal eléctrica alterna a inyectar. Los medios de control 21 transmiten  
50 las señales procesadas al nodo emisor 1 correspondiente a través de la línea de transmisión 3 (adecuándola al protocolo correspondiente, *ethernet*, etc.).

55 Los medios de control 11, analizan las señales recibidas del nodo receptor 2 y las procesadas en el propio nodo emisor 1 y determinan si hay o no rotura (y en caso de haberlo cuál está roto y la zona estimada de rotura). Alternativamente los medios de control 21 podrían no realizar el procesamiento de las señales recibidas procedentes de los detectores S (o al menos parte de los pasos del procesamiento), caso en el que enviarían dichas señales al correspondiente nodo emisor 1 para que fuese este el encargado de procesarlas (o de completar los pasos que faltasen).

60 Para conseguir el aislamiento galvánico entre la línea ferroviaria y los componentes electrónicos de los nodos 1 y 2, y proteger así a dichos componentes electrónicos frente a posibles picos de energía electromagnética perturbadores de la(s) vía(s) V de la línea ferroviaria, el sistema comprende además:

- 65 - un transformador T1 entre el amplificador 19 y cada raíl R al que puede inyectar la señal eléctrica en el nodo emisor 1, que permite aislar galvánicamente los componentes electrónicos del nodo emisor 1 encargados de generar la señal a inyectar del circuito eléctrico del que forma parte la línea ferroviaria, y

- un elemento de desacoplo no representado en las figuras (preferentemente un transformador) por cada detector S, para asociar cada detector S al raíl R correspondiente, estando así la resistencia de sensado de corriente (o el elemento equivalente) aislada galvánicamente de dicho raíl R.

5 Por otra parte, la señal alterna detectada asociada a cada raíl R es filtrada (mediante filtros pasa banda no representados en las figuras), tanto en el nodo emisor 1 como en el nodo receptor 2, para eliminar las frecuencias fuera del ancho de banda de interés. La banda de paso del filtro se dimensiona para el ancho de banda de la señal a inyectar, preferentemente entre aproximadamente 700Hz y aproximadamente 900Hz como ya se ha comentado anteriormente. Las señales filtradas llegan al convertidor analógico digital ADC correspondiente.

10 Los medios de control 11 y 21 pueden ser un microprocesador, un microcontrolador, un PC, una tarjeta dedicada, una FPGA o cualquier dispositivo con capacidad de cálculo para llevar a cabo las acciones requeridas y comentadas.

15 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método de detección de rotura de raíl para una línea ferroviaria, con el que se detecta la rotura de los raíles R por discontinuidad eléctrica de los mismos. El método está adaptado para ser implementado en un sistema como el comentado para el primer aspecto de la invención.

20 En el método se configura al menos un circuito eléctrico entre un nodo emisor 1, un nodo receptor 2 y el tramo de raíles R entre ambos nodos 1 y 2; se inyecta al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada en el circuito eléctrico desde el nodo emisor 1; se detecta, en cada uno de los nodos 1 y 2, la señal eléctrica alterna que pasa a través de cada raíl R que forma parte del circuito eléctrico como respuesta a la señal eléctrica alterna inyectada; y se determina si hay discontinuidad eléctrica en algún raíl R que forma parte del circuito eléctrico, y por tanto si hay una rotura en dicho raíl R, en función de dichas señales detectadas. El método está adaptado por tanto para ser implementado cuando no circule material rodante alguno por el tramo de raíles R que se quiere analizar (y preferiblemente tampoco en tramos cercanos para evitar las fuentes de interferencias de dicho material rodante).

25 Preferentemente la señal se inyecta durante un tiempo determinado que puede ser de por ejemplo 1 minuto, y se está detectando la señal eléctrica a través de los raíles R con los detectores S correspondientes durante dicho intervalo de tiempo. Los nodos 1 y 2 están sincronizados de tal manera que el nodo receptor 2 realiza las funciones de las que está encargado (detección de señales y transmisión de las mismas a través de la línea de comunicación 3) siempre que el nodo emisor 1 inyecte la(s) señal(es) eléctrica(s) alterna(s) correspondiente (s), estando dicho nodo receptor 2 en reposo mientras el nodo emisor 1 no inyecte señal alguna (el nodo emisor 1 está también en reposo en esa situación), reduciéndose el consumo energético. La sincronización se puede realizar de diferentes maneras, como por ejemplo: el nodo emisor 1 puede estar programado para actuar periódicamente y cuando se activa provoca la activación del nodo receptor 2; ambos nodos 1 y 2 pueden estar programados y sincronizados; o un controlador remoto se puede encargar de activar ambos nodos 1 y 2.

30 Las señales detectadas llegan hasta los medios de control 11 y 21 correspondientes (filtradas y digitalizadas tal y como se ha explicado para el primer aspecto de la invención), y dichos medios de control 11 y 21 procesan y registran las señales tal y como se ha comentado por ejemplo para el primer aspecto de la invención. Durante el procesamiento se realiza la correlación de las señales recibidas por los medios de control 11 y 21 teniendo en cuenta los patrones de datos utilizados para la codificación de la señal eléctrica alterna inyectada. Los resultados de correlación obtenidos en el módulo de control 21 del nodo receptor 2 se envían, a través de la línea de comunicación 3, a los medios de control 11 del nodo emisor 1 para su análisis conjunto (análisis de las señales procesadas en los medios de control 21 y de las señales procesadas en los propios medios de control 11). El análisis permite determinar si hay o no discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico, y por tanto si hay rotura de algún raíl R, tal y como se ha explicado también para el primer aspecto de la invención. Alternativamente, los medios de control 21 podrían no realizar el procesamiento de las señales recibidas procedentes de los detectores S (o al menos parte de los pasos del procesamiento), caso en el que enviarían dichas señales al correspondiente nodo emisor 1 para que fuese este el encargado de procesarlas (o de completar los pasos que faltasen).

35 En el caso de línea ferroviaria de una vía V única, el método implementa un proceso de detección a partir de una excitación única (proceso de excitación independiente). En el proceso se configura un circuito eléctrico entre el nodo emisor 1, el nodo receptor 2 y el tramo de los raíles R entre ambos nodos 1 y 2 de dicha vía V de la línea ferroviaria; se inyecta la señal eléctrica alterna en el circuito eléctrico; se detecta, en cada nodo 1 y 2, la señal eléctrica que pasa a través de cada uno de los raíles R en el tramo de dichos raíles R que forma parte de dicho circuito eléctrico; se procesan las señales detectadas en los medios de control 11 y 21; y, en función de dichas señales eléctricas detectadas, se determina si hay discontinuidad eléctrica en algún raíl R, y por tanto si hay o no rotura.

40 En una línea ferroviaria de doble vía, el proceso de excitación independiente se implementa en ambas vías V (ver figura 2). De esta manera en la misma prueba se puede detectar la rotura de un raíl R en ambas vías V. Si como resultado de ambos procesos de excitación independientes se determina la rotura de al menos un raíl R en al menos una de las dos vías V (en los tramos evaluados respectivamente), en el método se implementa un proceso de detección adicional (proceso de excitación conjunta, ver figura 3) en el que se lleva a cabo una excitación conjunta de ambas vías V (de los tramos de las vías V que se han evaluado previamente con sendos procesos de excitación

independientes).

5 En el proceso de detección adicional (proceso de excitación conjunta) se configura un circuito eléctrico entre el nodo emisor 1, el nodo receptor 2 y el tramo de los raíles R de ambas vías V que queda entre los nodos 1 y 2 (ver figura 3), estando en dicho circuito eléctrico el nodo emisor 1 conectado a ambas vías V y los cuatro raíles R cortocircuitados en el nodo receptor 2; se inyecta una señal eléctrica alterna en el circuito eléctrico; se detecta, en cada nodo 1 y 2 y en cada vía V, la señal eléctrica que pasa a través de cada uno de los raíles R que forman parte del circuito eléctrico; y se procesan las señales detectadas. El análisis simultáneo de todas las señales detectadas (ocho en total, cuatro señales registradas por los medios de control 21 del nodo receptor 2 y cuatro señales registradas por los medios de control 11 del nodo emisor 1) permite identificar el raíl R roto (interno o externo de cada vía V) y estimar la zona de rotura aproximada (zona próxima al nodo emisor 1, próxima al nodo receptor 2 o intermedia, por ejemplo).

15 Debido a las impedancias de acoplamiento  $Z_{rr}$  existentes entre los raíles R de una misma vía V y a las impedancias de acoplamiento  $Z_{rri}$  existentes entre los dos raíles R adyacentes de las dos vías V, mostradas a modo de ejemplo en líneas discontinuas en la figura 4 (donde se muestra además una rotura en cada raíl R), las señales eléctricas alternas a través del circuito eléctrico no se anulan por completo incluso ante una discontinuidad eléctrica de un raíl R (rotura). En caso de discontinuidad eléctrica, estas impedancias de acoplamiento  $Z_{rr}$  y  $Z_{rri}$  contribuyen a que la amplitud (nivel) de las señales detectadas en los nodos 1 y 2 se vea afectada. A partir de estos cambios de amplitud 20 los medios de control 11 son capaces de identificar el raíl R roto y estimar la zona aproximada de rotura. Para el análisis de las señales en los medios de control 11 se puede tener implementada una *look-up-table* o equivalente por ejemplo, donde relacione datos de amplitud de señal con zonas de rotura.

25 Las explicaciones dadas para el primer aspecto de la invención sobre la generación de señal, la detección de señales en los raíles, el tratamiento de las señales detectadas y las determinaciones de los medios de control 11 y 21 son también válidas para el segundo aspecto de la invención.



## REIVINDICACIONES

1. Sistema para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria de al menos una vía, que está adaptado para detectar una rotura de raíles (R) por la detección de una discontinuidad eléctrica de los mismos, **caracterizado porque** el sistema comprende al menos un nodo emisor (1), al menos un nodo receptor (2) y unos medios de conexión para configurar al menos un circuito eléctrico determinado entre ambos nodos (1, 2) y el tramo de raíles (R) entre ambos nodos (1, 2), determinándose si hay o no discontinuidad eléctrica en dicho tramo, estando el nodo emisor (1) configurado para inyectar al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada al circuito eléctrico, comprendiendo también el sistema un detector (S) asociado a cada raíl (R) en el tramo de raíles (R) que forma parte del circuito eléctrico, en cada uno de los nodos (1, 2), para detectar la señal que pasa a través del raíl (R) correspondiente como respuesta a la inyección que realiza el nodo emisor (1), y al menos unos medios de control (11, 21) que están conectados a los detectores (S) para recibir las señales detectadas por dichos detectores (S), y que están configurados para detectar si existe alguna discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico en base a las señales recibidas desde los detectores (S), y para determinar la rotura de al menos uno de los raíles (R) que forma parte de dicho circuito eléctrico, en dicho tramo, ante la presencia de una discontinuidad eléctrica en dicho circuito eléctrico.
2. Sistema según la reivindicación 1, que comprende unos medios de control (11, 21) respectivos en cada nodo (1, 2) que reciben las señales detectadas por los detectores (S) de su nodo (1, 2) correspondiente, y una línea de comunicación (3) de datos a través de la cual se comunican entre sí los medios de control (11) del nodo emisor (1) y los medios de control (21) del nodo receptor (2) que forman parte de un mismo circuito eléctrico, estando al menos uno de dichos medios de control (11, 21) configurado para transmitir las señales detectadas por los detectores (S) correspondientes a los medios de control (11, 21) del otro nodo (1, 2) a través de la línea de comunicación (3), y estando los medios de control (11, 21) receptores de las señales a través de la línea de comunicación (3) configurados para determinar si existe una discontinuidad eléctrica en el circuito eléctrico correspondiente en función de dichas señales y de las señales detectadas por los detectores (S) de su nodo (1, 2).
3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en donde cada detector (S), tanto del nodo emisor (1) como del nodo receptor (2), comprende una resistencia de sensado, comprendiendo además el sistema, para cada detector (S), un elemento de desacoplo para asociar cada detector (S) al raíl (R) correspondiente, un filtro paso banda y un convertidor analógico digital (ADC).
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el nodo emisor (1) está configurado para generar la señal eléctrica alterna a inyectar a partir de una señal portadora que se modula mediante un código determinado y una modulación determinada, y comprende un convertidor digital analógico (DAC) para convertir dicha señal digital modulada en una señal analógica modulada, y un amplificador (19) para amplificar dicha señal eléctrica alterna modulada a la potencia requerida, siendo dicha señal amplificada la señal eléctrica alterna que se inyecta.
5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el nodo emisor (1) comprende un transformador (T1) entre el amplificador (19) y cada raíl (R) sobre el que se puede inyectar la señal eléctrica alterna.
6. Método para detectar la rotura de raíles en una línea ferroviaria de al menos una vía, **caracterizado porque** se configura al menos un circuito eléctrico entre un nodo emisor (1), un nodo receptor (2) y un tramo de raíles (R) entre ambos nodos (1, 2), se inyecta al menos una señal eléctrica alterna de una potencia determinada en el circuito eléctrico desde el nodo emisor (1), se detecta, en cada uno de los nodos (1, 2), la señal eléctrica alterna que pasa a través de cada raíl (R) que forma parte del circuito eléctrico como respuesta a la señal eléctrica alterna inyectada, y se determina si hay discontinuidad eléctrica en algún raíl (R) que forma parte del circuito eléctrico, y por tanto si hay una rotura en dicho raíl (R), en función de dichas señales detectadas.
7. Método según la reivindicación 6, en donde las señales detectadas en uno de los nodos (1, 2) como respuesta a la inyección de la señal eléctrica alterna en el circuito eléctrico correspondiente se transmiten al otro nodo (1, 2) a través de una línea de comunicación (3), realizándose la determinación de si existe una discontinuidad eléctrica en dicho circuito eléctrico en el nodo (1, 2) que recibe las señales a través de la línea de comunicación (3), en función de las señales recibidas a través de la línea de comunicación (3) y de las señales detectadas a través de los raíles (R) asociados a dicho nodo (1, 2).
8. Método según las reivindicaciones 6 o 7, en donde se ejecuta un proceso de detección en al menos una vía (V) de la línea ferroviaria en el que se configura un circuito eléctrico entre el nodo emisor (1), el nodo receptor (2) y el tramo de los raíles (R) entre ambos nodos (1, 2) de dicha vía (V) de la línea ferroviaria; se inyecta la señal eléctrica alterna en uno de los raíles (R) que forman parte de dicho circuito eléctrico; se detecta, en cada nodo (1, 2), la señal eléctrica que pasa a través de cada uno de los raíles (R) que forman parte de dicho circuito eléctrico; y, en función de dichas señales eléctricas detectadas, se determina si hay discontinuidad eléctrica en algún raíl (R) que forma parte del circuito eléctrico, y por tanto si hay una rotura en dicho raíl (R), en función de

dichas señales detectadas.

- 5
9. Método según la reivindicación 8, en donde en una línea ferroviaria de doble vía se ejecuta un proceso de detección por cada vía (V), siendo ambos procesos independientes entre sí, y si se detecta la rotura de algún raíl (R) en alguna de las dos vías (V) se ejecuta un proceso de detección adicional en el que se configura un circuito eléctrico entre el nodo emisor (1), el nodo receptor (2) y el tramo de los raíles (R) de ambas vías (V) que queda entre los nodos (1, 2) y que han sido evaluados con el proceso de detección independiente, estando en dicho circuito eléctrico el nodo emisor (1) conectado a ambas vías (V) y los cuatro raíles (R) cortocircuitados en el nodo receptor (2); se inyecta una señal eléctrica alterna en el circuito eléctrico; se detecta, en cada nodo (1, 2) la señal eléctrica que pasa a través de cada uno de los raíles (R) que forman parte del circuito eléctrico; y, en función de dichas señales detectadas, se determina en qué raíl (R) se ha producido la discontinuidad eléctrica y se estima la zona de rotura en dicho raíl (R).
- 10
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde para la generación de la señal eléctrica alterna a inyectar se parte de una señal portadora que se modula mediante un código determinado y una modulación determinada; se convierte la señal digital modulada en una señal analógica modulada; y se amplifica dicha señal analógica modulada, siendo dicha señal amplificada la señal eléctrica alterna que se inyecta.
- 15
11. Método según la reivindicación 10, en donde el ancho de banda de la señal portadora está dentro de un rango de frecuencias definido entre aproximadamente 500Hz y aproximadamente 1kHz, preferentemente entre aproximadamente 700Hz y aproximadamente 900Hz.
- 20

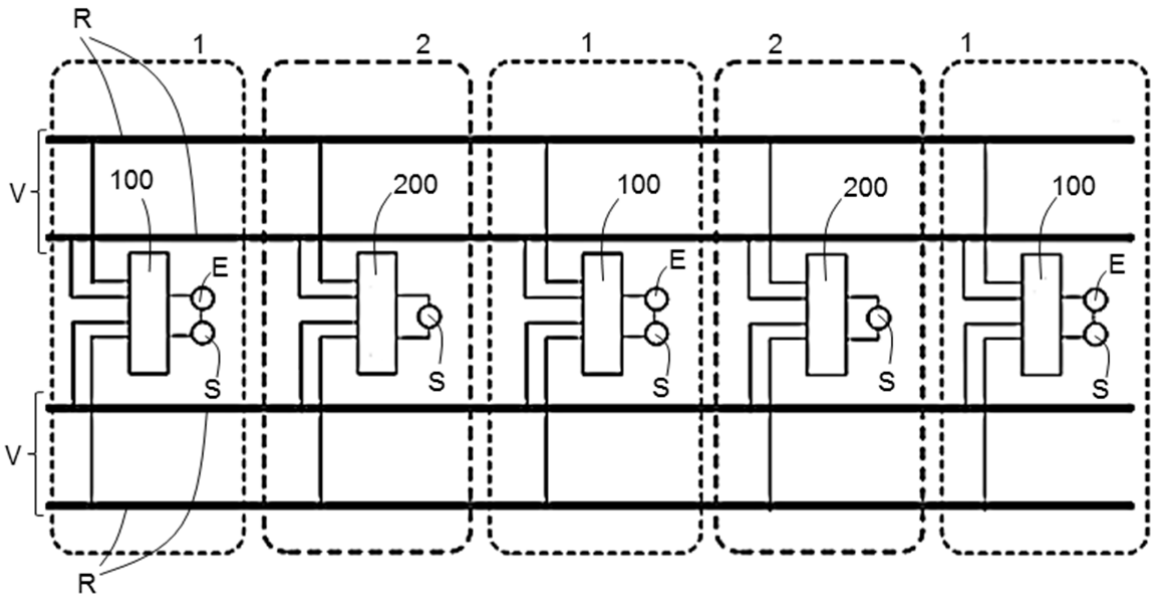


Fig. 1

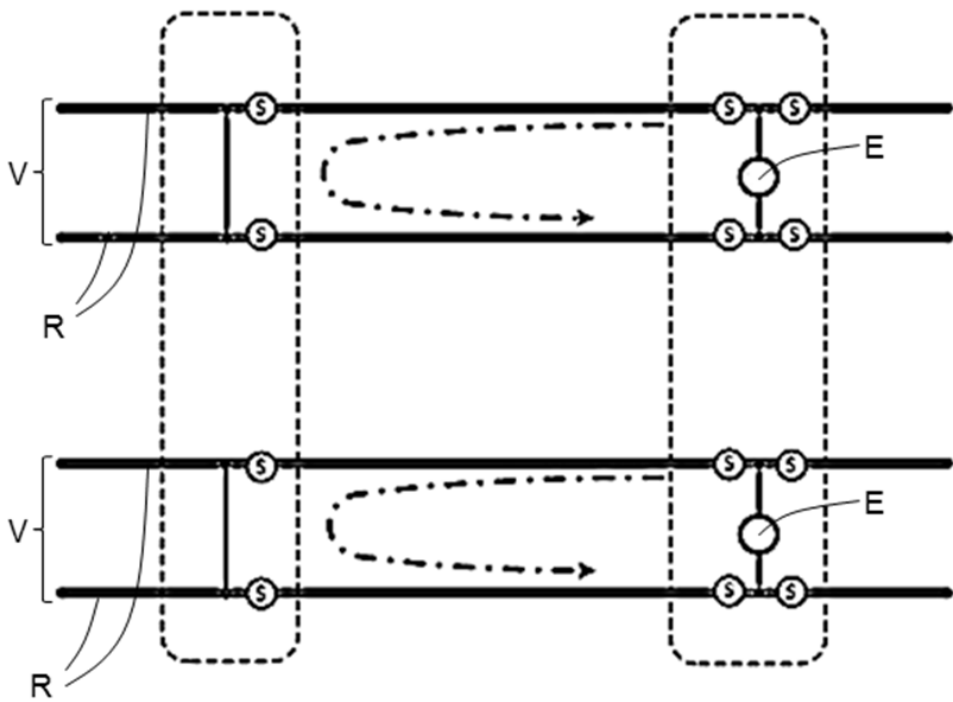


Fig. 2

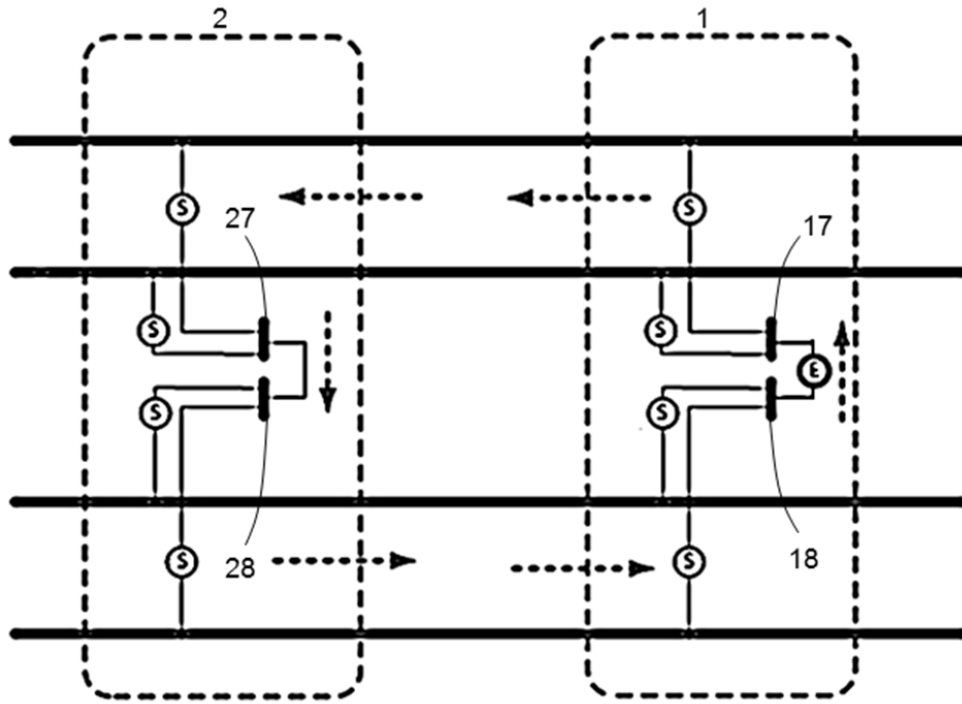


Fig. 3

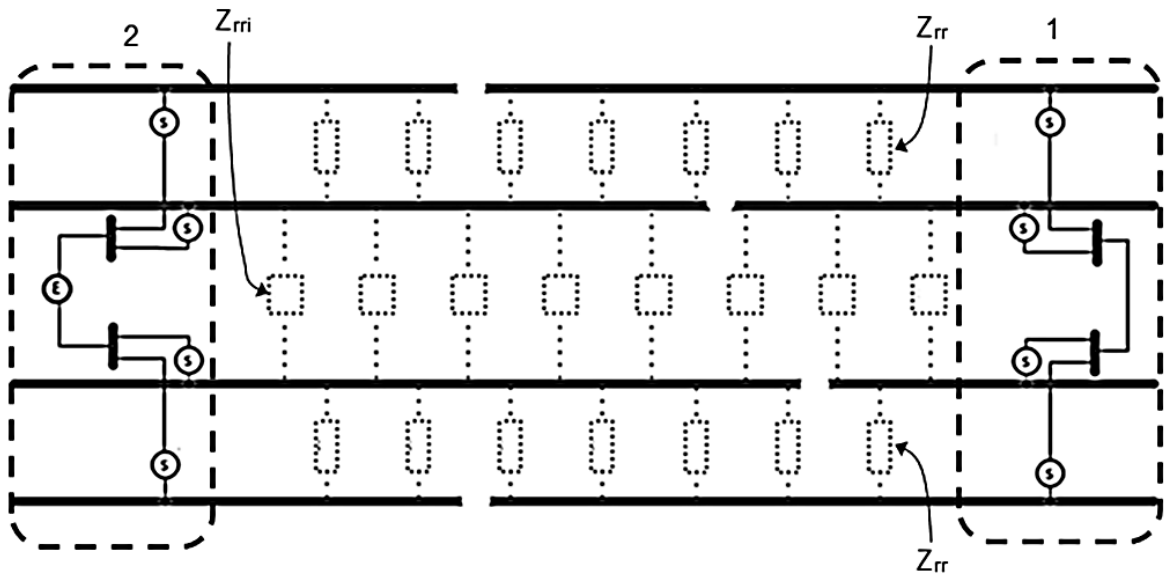


Fig. 4

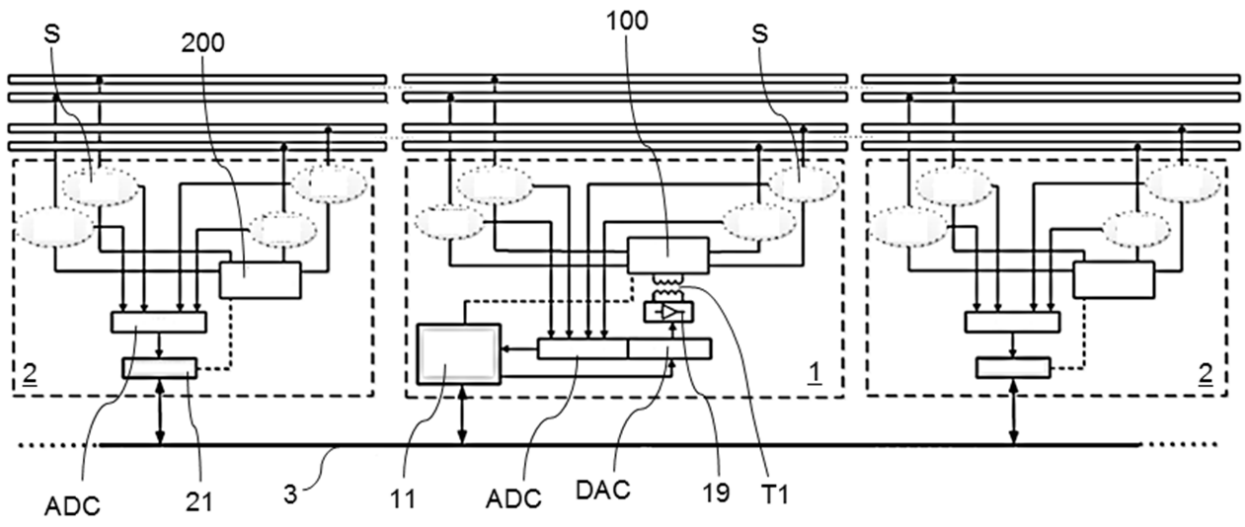


Fig. 5