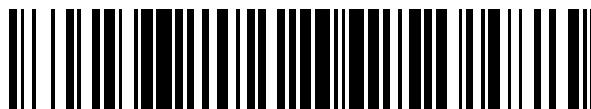


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 604**

51 Int. Cl.:

H02J 50/90 (2006.01)

H02J 5/00 (2006.01)

H02J 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2013 PCT/US2013/075303**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14099737**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2013 E 13815908 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2936648**

54 Título: **Identificación de sistemas no lineales para optimización de transferencia inalámbrica de potencia**

30 Prioridad:

18.12.2012 US 201261738786 P

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

14.09.2017

73 Titular/es:

**NUCLEUS SCIENTIFIC, INC. (100.0%)
148 Sydney Street
Cambridge, Massachusetts 02139, US**

72 Inventor/es:

**LAFONTAINE, SERGE R. y
HUNTER, IAN W.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 632 604 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

Identificación de sistemas no lineales para optimización de transferencia inalámbrica de potencia

Campo técnico

- 5 Las realizaciones de la presente invención se refieren de manera general a transferencia inalámbrica de potencia para sistemas de carga y/o alimentación tales como se podrían encontrar en, pero sin limitación, vehículos eléctricos y dispositivos portátiles.

Antecedentes de la invención

- 10 Con un interés renovado en los coches eléctricos hemos visto una serie de nuevos desarrollos en la tecnología de baterías, las técnicas de carga rápida y la transmisión inalámbrica de potencia como método conveniente para recargar baterías. Las técnicas de carga rápida inalámbrica llegan a ser incluso más relevantes para coches eléctricos puros como método para aliviar la autonomía limitada proporcionada por la tecnología de baterías actual. De esta forma las baterías se podrían recargar o bien mientras que se conduce a partir de bobinas incorporadas en las carreteras, en semáforos, en aparcamientos mientras que se hace la compra o en infraestructuras sin salir del coche.

- 15 La transferencia inalámbrica de potencia tiene una larga historia que comienza probablemente con Tesla. La tecnología se usa ahora en todas partes, desde cepillos de dientes, teléfonos celulares, ordenadores agenda y se considera incluso para uso general en casas tales como lámparas, relojes, etc. En la mayoría de las aplicaciones la transferencia inalámbrica de potencia se usa para cargar baterías, que se usan como un depósito de energía temporal entre el sistema de carga inalámbrica y el dispositivo. Como la llegada de mejores tecnologías de batería, tales como celdas de iones de litio, llega a ser factible cargar baterías mucho más rápidamente que antes y hacerlo así con cargadores rápidos inalámbricos. Para lograr una aceptación general, estos cargadores rápidos inalámbricos necesitan ser eficientes y robustos, lo cual es el foco de algunas de las aplicaciones tratadas en este documento.

- 25 Hay muchos tipos de transferencia inalámbrica de potencia. Esta descripción se centra en Carga de Inducción Resonante (RIC), aunque mucho de lo que se describe también aplica a otros tipos de métodos de carga inalámbrica. RIC, como su nombre indica, usa bobinas y condensadores sintonizados de alta Q, y la potencia se transmite de bobina a bobina a través de campos magnéticos. RIC difiere de las técnicas de campo lejano que implican, por ejemplo, campos de RF de muy alta frecuencia, que requieren electrónica sofisticada, y de técnicas de campo cercano, que solamente funcionan dentro de una fracción de una longitud de onda cuando se usa RIC. Con RIC, se encuentra que se puede transferir significativamente más potencia entre bobinas y hasta una distancia que excede varios diámetros de bobina. Usar un campo magnético en lugar de un campo electromagnético de radiación también presenta menos peligros potenciales para la salud.

- 35 Un tipo común de bobina usado para RIC es una bobina plana con un devanado en espiral único arrollado en un plano. El diagrama de circuitos de la Fig. 1 muestra un circuito típico usado para RIC, donde las bobinas L1 y L2 serían las bobinas de transmisión y receptora, respectivamente, fabricadas como bobinas planas. Como es el caso para transformadores, las características eléctricas de las bobinas se pueden describir por las resistencias, auto inductancia, e inductancia mutua de bobinas. La inductancia mutua se refiere a cuánto del campo generado por una bobina atraviesa la otra o las otras bobinas, que está muy relacionado con la geometría de cómo están orientadas las bobinas unas con respecto a otras, incluyendo la distancia y orientación. A medida que el acoplamiento disminuye, se transmite menos de la potencia mientras que la pérdida de potencia en calentamiento de Joule permanece igual o aumenta, y por lo tanto disminuye la eficiencia.

- 45 El documento US2010084918 describe métodos y aparatos para reducir el consumo de energía. Un método incluye detectar la presencia de un objeto, identificar si el objeto es un dispositivo válido y restringir la potencia si no es un dispositivo válido. Otro método incluye aplicar temporalmente una cantidad baja de potencia a la unidad primaria para detectar una carga, suministrar más potencia para determinar si es un dispositivo secundario válido, y restringir la energía si no lo es. Un aparato para reducir el consumo de energía incluye dos entradas de potencia, donde la entrada de potencia menor alimenta un circuito de detección. Un conmutador desacopla selectivamente la entrada de potencia mayor del subcircuito primario durante el modo detección y acopla la entrada de potencia mayor al subcircuito primario durante el modo de suministro de potencia.

Compendio de la invención

- 50 En general, en un aspecto, al menos una de las invenciones presenta un método de detección de si una bobina receptora está cerca de una bobina de transmisión en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS). El método implica: aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con datos de entrenamiento almacenados para determinar si un objeto que tiene características que distinguen el objeto como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión.

Otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. El método incluye también, si se determina que la bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión, iniciar una transferencia inalámbrica de potencia a través de la bobina de transmisión a la bobina receptora. La señal pseudoaleatoria es una señal de voltaje pseudoaleatoria y/o es suficientemente fuerte para estimular no linealidades en un sistema receptor conectado a la bobina receptora. Una o más señales incluyen una señal de corriente de la bobina de transmisión y posiblemente una señal de voltaje de la bobina de transmisión. Usar el modelo de sistema dinámico generado implica comparar información contenida en el modelo de sistema dinámico generado con información almacenada, derivada empíricamente que es indicativa de una presencia cercana de una bobina receptora. Generar el modelo de sistema dinámico implica usar identificación de sistema o identificación de sistemas no lineales para ajustar un modelo seleccionado a datos derivados de una o más señales registradas. El modelo seleccionado es un sistema de Wiener y/o el modelo seleccionado tiene una parte lineal dinámica y una parte no lineal estática. El modelo de sistema dinámico es una función de impedancia para la bobina de transmisión o una función de potencia transmitida para la bobina de transmisión. Usar el modelo de sistema dinámico generado implica descomponer el modelo de sistema dinámico en funciones base para generar un conjunto de parámetros de función base y usar el conjunto de parámetros de función base para determinar si una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión. La señal pseudoaleatoria es una seleccionada de una señal de Ruido Blanco Gaussiano y una Secuencia Binaria Pseudoaleatoria (PRBS). El modelo de sistema dinámico generado incluye una representación de dominio de tiempo o una representación de dominio de frecuencia.

Aún otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. Los datos de entrenamiento almacenados se representan por una función de filtro almacenada y en donde usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con datos de entrenamiento almacenados comprende procesar el modelo de sistema dinámico generado para generar una señal de salida, en donde la señal de salida indica si un objeto que tiene características reconocibles a partir de los datos de entrenamiento almacenados como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión y en donde procesar el modelo de sistema dinámico comprende aplicar la función de filtro almacenada. Generar el modelo de sistema dinámico implica calcular un espectro de frecuencia de una o más señales registradas. El modelo de sistema dinámico generado es un espectro de impedancia para la bobina de transmisión. La función de filtro es una función de filtro no lineal. La función de filtro no lineal se derivó de mediciones hechas sobre un sistema de prueba que incluye una bobina de transmisión de prueba y una bobina receptora de prueba situadas a diferentes distancias de separación una de otra. El método también implica, si una bobina receptora se detecta cerca de la bobina de transmisión, iniciar una transferencia inalámbrica de potencia a través de la bobina de transmisión a la bobina receptora detectada.

En general, aún en otro aspecto, al menos una invención presenta un sistema de transferencia de potencia. El sistema de transferencia de potencia incluye: una bobina de transmisión; un circuito transmisor de potencia conectado a la bobina de transmisión; un circuito detector conectado a la bobina de transmisión; y un controlador para controlar el circuito transmisor de potencia y el circuito detector, en donde el controlador incluye una memoria para almacenar datos de entrenamiento y un sistema procesador programado para: hacer al circuito transmisor de potencia aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, hacer al circuito detector registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con los datos de entrenamiento almacenados para determinar si un objeto que tiene características que distinguen el objeto como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión.

Otras realizaciones de la invención incluyen una o más de las siguientes características. Una o más señales incluyen una señal de corriente y una señal de voltaje de la bobina de transmisión. Los datos de entrenamiento almacenados se representan por una función de filtro almacenada y el sistema procesador está programado para usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con los datos de entrenamiento almacenados procesando el modelo de sistema dinámico generado para generar una señal de salida, en donde la señal de salida indica si un objeto que tiene características reconocibles a partir de los datos de entrenamiento almacenados como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión y el procesamiento del modelo de sistema dinámico generado implica aplicar la función de filtro. El sistema procesador está programado para generar el modelo de sistema dinámico calculando un espectro de frecuencia a partir de una o más señales registradas. El modelo de sistema dinámico generado es un espectro de impedancia para la bobina de transmisión.

En general, aún en otro aspecto, al menos una invención presenta un método para encontrar una frecuencia de operación para una señal de accionamiento para una bobina de transmisión en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS). El método implica: aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y dirigir una búsqueda de una frecuencia óptima para la señal de accionamiento, en donde dirigir la búsqueda comprende usar repetidamente el modelo de sistema dinámico generado para simular una respuesta a la señal de accionamiento mientras que se varía la frecuencia de operación de la señal de accionamiento hasta que se encuentra la frecuencia óptima.

Otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. Dirigir una búsqueda implica: calcular una potencia de salida a partir de la respuesta simulada; usar la potencia de salida calculada como una función objetivo; y dirigir la búsqueda usando la función objetivo. También implica ajustar la frecuencia de operación de la señal de accionamiento a la frecuencia óptima. La señal pseudoaleatoria es una señal de voltaje pseudoaleatoria. Una o más señales incluyen una señal de corriente de la bobina de transmisión o incluyen tanto una señal de corriente como una señal de voltaje de la bobina de transmisión. Generar la representación de la función de transferencia implica usar identificación de sistema o identificación de sistemas no lineales para ajustar un modelo a datos derivados a partir de una o más señales registradas. El modelo seleccionado es un sistema de Wiener o tiene una parte lineal dinámica y una parte no lineal estática. El modelo de sistema dinámico generado incluye una representación en el dominio de tiempo o una representación en el dominio de frecuencia.

En general, aún en otro aspecto, al menos una de las invenciones presenta un sistema de transferencia inalámbrica de potencia. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia incluye: una bobina de transmisión; un circuito transmisor de potencia conectado a la bobina de transmisión; un circuito detector conectado a la bobina de transmisión; y un controlador para controlar el circuito transmisor de potencia y el circuito detector, en donde dicho controlador incluye una memoria para almacenar datos de entrenamiento y un sistema procesador programado para: hacer al transmisor de potencia aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, hacer al circuito detector registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y dirigir una búsqueda para una frecuencia óptima para la señal de accionamiento, en donde dirigir la búsqueda comprende usar repetidamente el modelo de sistema dinámico generado para simular una respuesta a la señal de accionamiento mientras que se varía la frecuencia de operación de la señal de accionamiento hasta que se encuentra la frecuencia óptima.

En general, en otro aspecto, al menos una de las invenciones presenta un método para encontrar una frecuencia de operación para una señal de accionamiento para una bobina de transmisión en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS). El método implica: aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, registrar una señal producida dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; y procesar la señal registrada para generar una señal de salida, en donde la señal de salida identifica la frecuencia de operación a ser usada para la señal de accionamiento y en donde el procesamiento de la señal registrada comprende aplicar una función de filtro no lineal.

Otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. La función de filtro no lineal se derivó a partir de las mediciones hechas sobre un sistema de prueba incluyendo una bobina de transmisión de prueba y una bobina receptora de prueba situadas a diferentes distancias de separación una de otra. Registrar una señal producida dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada implica registrar una señal producida por la bobina de transmisión.

En general, aún en otro aspecto, al menos una de las invenciones presenta un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS). El sistema de transferencia inalámbrica de potencia incluye: una bobina de transmisión; un circuito transmisor de potencia conectado a la bobina de transmisión; un circuito detector conectado a la bobina de transmisión; y un controlador para controlar el circuito transmisor de potencia y el circuito detector, en donde dicho controlador incluye una memoria para almacenar una función de filtro no lineal y un sistema procesador programado para: hacer al transmisor de potencia aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, hacer al circuito detector registrar una señal producida dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; y procesar la señal registrada para generar una señal de salida, en donde la señal de salida identifica la frecuencia de operación a ser usada para la señal de accionamiento y en donde el procesamiento de la señal registrada implica aplicar una función de filtro no lineal.

Otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. La función de filtro no lineal se derivó a partir de las mediciones hechas en un sistema de prueba incluyendo una bobina de transmisión de prueba y una bobina receptora de prueba situadas a diferentes distancias de separación una de otra. La señal producida dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada es una señal producida por la bobina de transmisión.

En general, aún en otro aspecto, al menos una de las invenciones presenta un método de identificación de una forma de onda para una señal de accionamiento para una bobina de transmisión en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS). El método incluye: aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y dirigir una búsqueda para una forma de onda óptima para la señal de accionamiento, en donde dirigir la búsqueda comprende usar repetidamente el modelo de sistema dinámico generado para simular una respuesta a la señal de accionamiento mientras que se varía la forma de onda de la señal de accionamiento hasta que se encuentra la forma de onda óptima.

Otras realizaciones incluyen una o más de las siguientes características. Dirigir una búsqueda además implica: calcular una potencia de salida a partir de la respuesta simulada; usar la potencia de salida calculada como una

función objetivo; y dirigir la búsqueda usando la función objetivo. Una o más señales producidas dentro del WPTS incluyen una señal producida por la bobina de transmisión en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada.

En general, en otro aspecto, al menos una de las invenciones presenta un sistema de transferencia inalámbrica de potencia. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia incluye: una bobina de transmisión; un circuito transmisor de potencia conectado a la bobina de transmisión; un circuito detector conectado a la bobina de transmisión; un controlador para controlar el circuito transmisor de potencia y el circuito detector, en donde el controlador incluye una memoria para almacenar una función de filtro no lineal y un sistema procesador programado para: hacer al transmisor de potencia aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión; mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, hacer al circuito detector registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada; usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y dirigir una búsqueda de una forma de onda óptima para la señal de accionamiento usando repetidamente el modelo de sistema dinámico generado para simular una respuesta a la señal de accionamiento mientras que se varía la forma de onda de la señal de accionamiento hasta que se encuentra la forma de onda óptima.

Los detalles de una o más realizaciones de la invención se exponen en los dibujos anexos y la descripción a continuación. Otras características, objetos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos, y a partir de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 representa un circuito de transferencia de potencia con una bobina de transmisión L_1 y una bobina receptora L_2 .

La Fig. 2 presenta la impedancia eléctrica típica de una bobina sintonizada en espacio libre y en conexión con una bobina idéntica colindante.

La Fig. 3 muestra los espectros de impedancia de la bobina transmisora para dos bobinas separadas una de otra por cantidades diferentes.

La Fig. 4 muestra el espectro de potencia de a bobina transmisora que corresponde a los espectros de impedancia de la bobina de la Fig. 3.

La Fig. 5 presenta la frecuencia de bobina óptima para dos bobinas en función de su distancia de separación.

La Fig. 6 representa el diagrama de bloques de un sistema de Wiener.

La Fig. 7 representa el diagrama de bloques de un sistema de Hammerstein.

La Fig. 8 es un diagrama de bloques de un sistema de transferencia inalámbrica de potencia que incluye las bobinas de transmisión y receptora.

La Fig. 9 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo para entrenar previamente un controlador de potencia transmisora de un sistema de transferencia inalámbrica de potencia para detectar un sistema receptor inalámbrico de potencia.

La Fig. 10 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para detectar la presencia de un sistema receptor inalámbrico de potencia.

La Fig. 11 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo para crear un filtro no lineal para uso por un controlador de potencia transmisora para detectar la presencia de un sistema receptor inalámbrico de potencia.

La Fig. 12 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para usar el filtro no lineal de la Fig. 11 para detectar la presencia de un sistema receptor inalámbrico de potencia.

La Fig. 13 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para ajustar automáticamente la frecuencia de la señal de transferencia inalámbrica de potencia.

La Fig. 14A presenta un diagrama de flujo de un algoritmo para crear un filtro no lineal para uso por un controlador de potencia transmisora para ajustar automáticamente la frecuencia de la señal de transferencia inalámbrica de potencia.

La Fig. 14B presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para usar el filtro no lineal de la Fig. 14A para ajustar automáticamente la frecuencia de la señal de transferencia inalámbrica de potencia.

La Fig. 15 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado al menos en parte por el controlador de potencia transmisora para ajustar la forma de onda de la señal inalámbrica de potencia.

Las Fig. 16A-B presentan un diagrama de flujo de un algoritmo para entrenar previamente al controlador de potencia transmisora de un sistema de transferencia inalámbrica de potencia para detectar objetos extraños.

La Fig. 17 presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para detectar objetos extraños.

- 5 La Fig. 18A presenta un diagrama de flujo de un algoritmo para crear un filtro no lineal para uso por un controlador de potencia transmisora para detectar la presencia de un objeto extraño.

La Fig. 18B presenta un diagrama de flujo de un algoritmo implementado por el controlador de potencia transmisora para usar el filtro no lineal de la Fig. 18A para detectar la presencia de un objeto extraño.

Descripción detallada

- 10 Antes de presentar los detalles de las diferentes realizaciones, se tratarán en primer lugar algunas de las cuestiones que están siendo abordadas por esas realizaciones.

La Fig. 2 da una impedancia eléctrica típica de una bobina sintonizada, que puede, por ejemplo, corresponder a una bobina de transmisión en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia. La impedancia de un condensador ideal en serie con un inductor tiene un "cero" nulo a la frecuencia resonante o natural, como se muestra por la curva C. Cuando una segunda bobina sintonizada (un inductor y un condensador en paralelo), denominada bobina receptora, se pone en estrecha proximidad de la bobina de transmisión, la impedancia a la frecuencia natural aumenta significativamente como se muestra por la curva A. La curva etiquetada B muestra la impedancia del sistema de dos bobinas cuando la bobina receptora incluye también una carga resistiva en el circuito para disipar la potencia generada en el bucle externo. Como se puede apreciar, una medición de impedancia, que solamente requiere acceso a los dos terminales de la bobina de transmisión, podría proporcionar una herramienta muy conveniente para obtener información sobre la operación del circuito.

Como se ilustra por la curva A en la Fig. 2, un fenómeno más importante que ocurre cuando las dos bobinas se ponen en estrecha proximidad entre sí es la división de frecuencia. Cuando la bobina de transmisión y la bobina receptora entran en un alcance cercano, se pueden observar dos o más frecuencias donde localmente en el dominio de frecuencia la transferencia de potencia es óptima. En otras palabras, se observan dos mínimos, uno a cada lado de la frecuencia natural. (Para continuar la discusión de este fenómeno véase: Alanson P. Sample y Joshua R. Smith, Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer, 2010 IEEE; y Huang, X.L., et al., Resonant Frequency Splitting Analysis and Optimization of Wireless Power Transfer System, Actas de PIERS, Rusia, 19-23 de agosto de 2012.)

La Fig. 3 da la impedancia típica de una bobina de transmisión a varias distancias de la bobina receptora. A medida que las bobinas se acercan progresivamente entre sí, el pico en la impedancia a la frecuencia natural aumenta y las dos frecuencias en las que los mínimos de impedancia ocurren a cada lado de esa ubicación se separan más. A partir de esos espectros de impedancia, se pueden calcular los espectros de potencia que indican cuánta potencia está entrando en la bobina. Los espectros de potencia correspondientes se muestran en la Fig. 4. Como se ha indicado claramente, la potencia es máxima en dos frecuencias cuya separación llega a ser más pequeña en función de la separación de las dos bobinas, hasta que los dos picos se unen para todos los propósitos prácticos en separaciones más largas (unir a la frecuencia natural del sistema).

La Fig. 5 presenta para un sistema inalámbrico diferente la frecuencia óptima a la que ocurre la transferencia de potencia máxima frente a la distancia de separación relativa de las dos bobinas en términos de diámetros de bobina. Como se puede observar, cuando la distancia entre las bobinas es menor que alrededor de la mitad del diámetro de las bobinas, hay dos frecuencias en las que se observa una transferencia de potencia máxima. En una configuración fija, es fácil seleccionar una frecuencia de oscilador óptima para transferir potencia. En una situación dinámica, no obstante, cuando las bobinas se mueven una respecto a la otra y la distancia entre las bobinas es desconocida, llega a ser un desafío mantener una transferencia de potencia óptima.

Normalmente, el objetivo es maximizar la transferencia de potencia a la carga. En un entorno de laboratorio, es posible conectar cables de detección para medir la potencia generada por la circuitería de potencia en el transmisor y medir la potencia recibida por la carga. Entonces es posible barrer siquiera todas las frecuencias y medir periódicamente la relación de la potencia recibida sobre la transmitida, encontrar la frecuencia a la que ocurre la transferencia de potencia de pico, y ajustar la frecuencia del oscilador en consecuencia. Encontrar la frecuencia óptima se puede hacer usando una serie de algoritmos desarrollados en la teoría de optimización. No obstante, debido a la división de frecuencia y la posible existencia de dos frecuencias óptimas locales, se deberían usar técnicas que impliquen minimización estocástica. Cuando se encuentra un óptimo, la frecuencia óptima puede ser rastreada en tiempo real más rápidamente a través de búsquedas locales.

En aplicaciones de la vida real, no obstante, tales como coches que se mueven unos con respecto a otros o sobre bobinas de transmisión, puede no ser posible medir directamente la potencia disipada en la carga. La sintonización automática de frecuencias se puede lograr a través de acopladores direccionales situados, por ejemplo, entre las bobinas de transmisión y receptora para medir la potencia incidente y reflejada (véase Sample y Smith). Otra técnica

podría implicar transmitir inalámbricamente las mediciones requeridas, tales como corriente, voltaje y potencia de carga, desde el receptor al transmisor. Esto se podría hacer enviando una señal modulada desde la bobina receptora a la bobina de transmisión usando una banda de frecuencia diferente que no esté afectada por la señal de transmisión de potencia. Alternativamente, se podrían usar otros medios de transmisión para enviar la información de vuelta al transmisor, tales como señales ópticas o acústicas. Las bobinas secundarias se podrían incorporar en las bobinas de potencia con el fin de transmitir tales señales.

Como se ha mostrado por Sample y Smith, se pueden usar técnicas de modelado para relacionar la potencia transmitida con la posición y la orientación de la bobina. En este caso, se pueden usar sensores de posición que dan la distancia y la orientación entre las dos bobinas para identificar la frecuencia de potencia óptima.

El sistema de transferencia de potencia mostrado en la Fig. 1 incluye varias no linealidades, tales como en los rectificadores y en el convertidor secundario. Si el sistema fuese lineal, se podrían usar una serie de técnicas descritas en la literatura de ingeniería para identificar rápidamente el sistema y de allí extraer los parámetros óptimos. No obstante, si tales técnicas fueran a ser usadas para encontrar cómo afectarían las perturbaciones en la señal de transmisión a la señal observada en la carga, probablemente fallarían o darían descripciones imprecisas debido a la presencia de elementos de hardware no lineales, tales como diodos rectificadores, en el circuito.

También se ha encontrado que se puede lograr un aumento de transferencia de potencia usando una forma de onda transitoria no sinusoidal. Esto es de particular beneficio dado que los módulos de potencia de conmutación o FET de potencia se usan para minimizar las pérdidas de potencia en la electrónica, y éstos generan señales en forma de impulsos o escalones en lugar de sinusoidalmente. Tales módulos o transistores de potencia incluyen módulos IGBT (transistores bipolares de puerta integrados) y HEXFET®, siendo capaces típicamente los IGBT de conmutar a voltajes más altos, y siendo capaces los HEXFET de conmutar a frecuencias más altas, por ejemplo, hasta decenas de Mega Hertzios en frecuencia.

Derivar un método sistemático para determinar la forma de onda óptima de tal señal en tiempo real mientras que las bobinas están trasladándose y girando una con respecto a otra es uno de los objetivos logrados por los métodos descritos a continuación.

Identificación de sistemas no lineales

Al menos algunas de las realizaciones descritas en la presente memoria emplean identificación de sistemas no lineales para lograr los resultados que se logran. Así, antes de discutir los detalles de las diversas realizaciones, se presentará en primer lugar una breve revisión de la identificación de sistemas no lineales.

Como es bien conocido a partir del Teorema de Fréchet, cualquier sistema dinámico no lineal invariante en el tiempo de memoria finita puede ser representado con precisión arbitraria con una serie de Volterra de orden finito para todas las entradas que son cuadradas integrables sobre un intervalo finito. Una serie de Volterra es similar a una serie de Taylor, excepto que puede capturar efectos de "memoria" de dispositivos tales como condensadores e inductores. Una serie de Volterra, que representa una expansión funcional de una función dinámica, no lineal, invariante en el tiempo, es una suma infinita de integrales convolucionales multidimensionales de la siguiente forma:

$$y(t) = K_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} K_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \bullet x(t - \tau_1) \bullet x(t - \tau_2) \bullet \dots \bullet x(t - \tau_n) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_n$$

Estrechamente relacionada con la serie de Volterra está la serie de Wiener. En la serie de Wiener, los términos se ortogonalizan para una entrada de ruido blanco puramente aleatorio, y se identifican más fácilmente usando, por ejemplo, técnicas de correlación cruzada.

Korenberg (en Parallel Cascade Identification and Kernel Estimation for Nonlinear Systems, Annals of Biomedical Engineering, vol. 19, páginas 429-55 (1990) amplió el teorema de Fréchet antes referenciado probando que cualquier sistema de tiempo discreto y de memoria finita que se pueda representar por una serie finita de Volterra también se puede representar por una serie finita de cascadas paralelas de un sistema lineal dinámico seguida por una no linealidad estática (es decir, por una cascada de sistemas de Wiener o de sistemas de LN).

Un ejemplo de un modelo de sistema dinámico es el sistema de Wiener, mostrado en la Fig. 6. En tal sistema, un sistema lineal dinámico representado por $h(T)$ es seguido por un sistema no lineal estático representado por $N(\bullet)$. Éste también se conoce como un sistema LN. El sistema lineal dinámico debe ser estacionario (invariante en el tiempo), estable y sin memoria. Correlaciona todo el conjunto posible y aceptable de funciones de entrada de tiempo $x(t)$ a una función de salida de tiempo $u(t)$. La no linealidad estática correlaciona el intervalo de valores reales aceptables " $u(t)$ " a valores reales " $y(t)$ " dentro del intervalo de la función. Estos dos componentes, la parte lineal dinámica y la no linealidad estática, se pueden representar o bien paramétricamente o bien no paramétricamente. Típicamente, una representación paramétrica implica algún tipo de expresión simbólica que implica parámetros $a_0, a_1, \dots, a_n$. Por ejemplo, un polinomio tal como el siguiente se puede usar para representar una no linealidad estática:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n * x^n)$$

Los sistemas de Wiener son ejemplos de una clase de modelos conocidos como sistemas estructurados en cascada o bloques. Otros ejemplos de sistemas estructurados en cascada o bloques incluyen: sistemas de Hammerstein, como se muestra en la Fig. 7, en la que un sistema lineal dinámico sigue un sistema no lineal estático (NL); y sistemas en cascada en los que un sistema lineal es seguido por una no linealidad y luego por otro sistema lineal (LNL).

Hay una serie de métodos de identificación de sistema, algunos bastante generales, otros que son más específicos y basados en suposiciones acerca de las propiedades de la función de entrada aplicada al sistema. También pueden depender del espacio en el que se usa el modelo. Una de las técnicas de identificación de sistemas no lineales más generales implica expresar una función que da un error en el modelo predicho. Usando una representación paramétrica del sistema, una técnica de minimización no lineal, tal como la técnica de Levenberg-Marquardt, se puede usar para encontrar los parámetros que minimizan la función de error. Este planteamiento es general y sencillo de implementar, pero típicamente computacionalmente ineficiente comparado con otras técnicas.

En el caso de la forma no paramétrica del modelo de Wiener (LN), se han desarrollado por Korenberg y Hunter técnicas extremadamente eficientes. También han desarrollado técnicas eficientes para identificar los sistemas de Hammerstein (NL). Tales técnicas se describen en Hunter et al., *The Identification of nonlinear Biological Systems: Wiener and Hammerstein Cascade Models*, Biological Cybernetics, vol. 55 páginas 135-44 (1986). Y han desarrollado técnicas prácticas y eficientes para identificar una cascada paralela de un sistema lineal seguida por una no linealidad estática y otro sistema lineal (LNL), como se ha descrito, por ejemplo, en Korenberg et al., *The Identification of Nonlinear Biological Systems: LNL Cascade Models*, Biological Cybernetics, vol. 55, páginas 125-34, (1986). Se ha demostrado que cada sistema de tiempo discreto continuo con memoria finita se puede aproximar uniformemente mediante una suma finita de sistemas LNL.

Las funciones no paramétricas implementadas numéricamente terminan siendo representadas como funciones muestreadas e implican un número muy grande de valores numéricos. Por lo tanto, a menudo estas funciones de datos muestreadas se convierten a una forma paramétrica. De esta forma, se conserva la eficiencia de cálculo y la representación final termina siendo más parsimoniosa. En muchos casos, después de la inspección de la respuesta al impulso se puede inferir el orden del sistema y después de ajustar un modelo de orden reducido simplificado la respuesta al impulso termina siendo filtrada y menos ruidosa.

Una explicación adicional del uso de la identificación de sistemas no lineales, con respecto, más particularmente, a los núcleos de Wiener y de Volterra, se puede encontrar también en las siguientes referencias: Korenberg, et al., *Exact Orthogonal Kernel Estimation From Finite Data Records: Extending Wiener's Identification Of Nonlinear Systems*, Annals of Biomedical Engineering, vol. 16, páginas 201-14 (1988); Korenberg, et al., *The Identification of Nonlinear Biological Systems: Wiener Kernel Approaches*, Annals of Biomedical Engineering, vol. 18, páginas 629-54 (1990); y Korenberg, et al., *The Identification of Nonlinear Biological Systems: Volterra Kernel Approaches*, Annals of Biomedical Engineering, vol. 24, páginas 250-68 (1996). También se pueden encontrar detalles adicionales en la Solicitud de Patente de EE.UU. Pub. N° 2012/0098481 titulada "Apparatus and Method for Rapidly Charging Batteries" de Ian W. Hunter y Serge R. Lafontaine.

Se debería señalar que un sistema que tiene histéresis se presta a sí mismo a un planteamiento paramétrico, mientras que no se presta a sí mismo al uso de los métodos de identificación rápida de Korenberg y Hunter mencionados anteriormente para identificar bloques estructurados. Como se ha señalado anteriormente, si se usa el planteamiento paramétrico, entonces se puede usar la técnica de Levenberg-Marquardt para encontrar los parámetros que minimizan la función de error, por ejemplo, la diferencia entre la salida de Wiener predicha y la salida real del sistema.

Se debería entender que las técnicas mencionadas anteriormente se pueden emplear, cuando sea adecuado, para realizar la identificación de sistemas no lineales tratada en la presente memoria.

Aplicación de identificación de sistemas no lineales a transferencia inalámbrica de potencia

En las realizaciones descritas en la presente memoria, la identificación de sistemas no lineales que usa las técnicas mencionadas anteriormente se aplica para mejorar la transferencia inalámbrica de potencia y los cargadores rápidos con el fin de ajustar los parámetros de la señal de potencia alimentada a la bobina de transmisión con el fin de: detectar cuándo una bobina receptora está en proximidad bastante estrecha para iniciar la transmisión de potencia; ajustar la frecuencia automáticamente a medida que se mueve la bobina receptora; ajustar la forma de onda de la señal usada para transmitir potencia; y detectar cuándo un objeto interfiere con la transmisión de potencia.

Se describen en detalle a continuación diversas realizaciones que implementan estas funciones.

El sistema de transferencia inalámbrica de potencia

Con referencia a la Fig. 8, un ejemplo de un sistema en el que se pueden implementar las diversas realizaciones incluye un sistema transmisor inalámbrico de potencia 10 y un sistema receptor 50. Dependiendo de la aplicación deseada, el sistema transmisor se podría situar en una plataforma 11, que podría ser una plataforma estacionaria o podría ser una plataforma móvil, tal como un vehículo o la rueda de un vehículo. El sistema receptor está situado en una plataforma móvil 51 (por ejemplo, un vehículo eléctrico o la rueda en un vehículo) que incluye un módulo de batería cargable 56 para almacenar la energía para operar el equipo en la plataforma móvil, por ejemplo, el motor eléctrico.

El sistema transmisor incluye una bobina de transmisión 12 a través de la cual se transfiere inalámbricamente potencia a un sistema receptor por medio de una carga inductiva resonante (RIC). El sistema transmisor también incluye un circuito transmisor de potencia 14 que acciona la bobina de transmisión, un controlador de transmisor de potencia 16 que opera el circuito transmisor de potencia 14 y realiza las funciones que se describirán a continuación, un sistema de suministro de potencia 18 para proporcionar potencia a la bobina de transmisión 12 y para alimentar los otros diversos componentes eléctricos, y circuitería de detección y de medición 20 que es capaz de medir y registrar señales de corriente y de voltaje en la bobina de transmisión 12.

El controlador incluye un sistema procesador 24 (que incluye uno o más procesadores) para ejecutar los algoritmos que se describen en la presente memoria, para ejecutar el código para operar el circuito transmisor de potencia y para realizar otras funciones asociadas con el sistema transmisor de potencia. También incluye una memoria (RAM y ROM) 26 para almacenar un código que se ejecuta por el sistema procesador 24, incluyendo el código correspondiente a la funcionalidad de los algoritmos descritos en la presente memoria, y para almacenar datos que se usan por el sistema procesador 24 y datos que se generan por el sistema procesador 24 en el transcurso de la implementación de los algoritmos descritos en la presente memoria. También hay un disco duro 28 conectado al sistema procesador y al cual ha accedido el sistema procesador 24. Proporciona un almacenamiento digital, legible por ordenador, para los programas que se cargan en la memoria activa y que se ejecutan en el procesador para implementar los algoritmos descritos en la presente memoria.

El sistema receptor 50 incluye una bobina receptora 52 a través de la cual recibe potencia transmitida inalámbricamente a través de la bobina de transmisión 12. También incluye un módulo de batería recargable 56 (que incluye, por ejemplo, celdas de batería de iones de litio) y un sistema de gestión de batería 54 para gestionar la operación del módulo de batería 56. Con respecto a las realizaciones descritas en la presente memoria, el sistema de gestión de batería 54 es responsable de ayudar en la carga del módulo de batería 56 cuando la potencia se recibe inalámbricamente a través de la bobina receptora 52 desde un sistema transmisor de potencia colindante.

Detección de la presencia de un sistema receptor.

Típicamente, es preferible alimentar las bobinas de transmisión solamente cuando una bobina receptora está en posición para recibir potencia. La presencia de una bobina receptora se podría detectar usando una serie de medios, tales como un conmutador de proximidad, etiquetas RFID, una señal de baja potencia radiada desde la bobina receptora a la bobina de transmisión en una banda lateral, usando transceptores acústicos u ópticos, o un operador que empuja un botón. Pero incluso si se usa una de esas técnicas, aún hay una necesidad de confirmar que el receptor detectado está en la ubicación adecuada. También habrá casos en los que sería deseable detectar automáticamente la presencia de una bobina legítima y comenzar a cargar automáticamente cuando la bobina esté en posición.

Como se muestra en la Fig. 2, la impedancia medida desde la bobina de transmisión pasa por cambios significativos a medida que una bobina receptora se mueve hacia el receptor y esto ofrece un medio para detectar una bobina receptora. La impedancia se puede obtener barriendo una señal de onda sinusoidal pura sobre un intervalo de frecuencias y trazando la relación de voltaje a corriente como una función de la frecuencia. No obstante, la identificación de sistemas ofrece un mejor planteamiento. En teoría de sistemas, un sistema dinámico correlaciona un dominio de funciones de tiempo admisibles a un intervalo de funciones de tiempo de salida. Una bobina se puede considerar como un sistema que es excitado por un voltaje (o corriente) que varía con el tiempo y produce una respuesta de tiempo en forma de una corriente (o voltaje). Las técnicas de identificación de sistemas lineales en el dominio de tiempo no paramétricas estándar proporcionan un modelo de sistema como respuesta al impulso que entonces se puede usar para calcular la respuesta del sistema del dominio de frecuencia, que corresponde a la impedancia en el caso de la bobina de transmisión. Tales técnicas se describen en las siguientes referencias disponibles públicamente: Eykhoff, P., System Identification: parameter and state estimation, Wiley, Londres (1974); Goodwin, G.C., Payne, R.L., Dynamic system identification: experimental design and data analysis, Academic Press, Nueva York (1977); Graupe D, Identification of systems, Van Nostrand Reinhold, NY (1976); y Ljung, System Identification - Theory for the User, 2ª Edición, PTR Prentice Hall, (1999).

Como se mencionó anteriormente, la teoría de sistemas también proporciona una serie de técnicas de identificación de sistemas no lineales que proporcionan representaciones de sistemas no lineales tales como los núcleos de una expansión de la serie de Volterra o bloques de una representación de sistemas de bloques estructurados.

En identificación de sistemas no lineales, la parte lineal, que corresponde a las mediciones de admitancia (impedancia) habituales, se obtiene en el dominio del tiempo en forma de una respuesta al impulso que entonces

puede ser correlacionada en el dominio de frecuencia usando técnicas bien establecidas (por ejemplo, Transformada Discreta de Fourier) para obtener los espectros de impedancia. Los componentes no lineales, que son Núcleos de orden más alto en el caso de una serie de Volterra o no linealidades en el caso del planteamiento estructurado en bloques, dan una firma de componentes no lineales tales como componentes electrónicos (rectificadores, etc.) presentes en la bobina secundaria. Por lo tanto, la mera presencia de componentes no lineales proporcionará información acerca de la presencia de un sistema para cargar o alimentar. Esto, no obstante, puede no ser suficiente en casos en los que otros sistemas que incluyen componentes no lineales, normalmente en forma de otros componentes electrónicos, pudieran entrar en las proximidades del transmisor.

En el caso en el que se conoce que todos los receptores tienen características casi idénticas, un sistema de detección de bobinas puede ser entrenado previamente como se muestra en la Fig. 9. Un primer receptor se usa en diferentes ubicaciones, y posiblemente se prueba para variar los niveles de carga y las temperaturas ambiente. Se aplica una señal de potencia a la bobina de transmisión y la identificación de sistemas no lineales usada para obtener diferentes modelos de sistemas dinámicos o representaciones de los mismos para cada posición y para otros parámetros requeridos. Estos diferentes modelos se mantienen en una base de datos para definir un espacio de parámetros del modelo. Entonces, como se muestra en la Fig. 10, se implementa una fase de detección en la que se realizan repetidamente experimentos que implican aplicar una señal PR (seudoaleatoria) y usar identificación de sistemas no lineales para modelar la dinámica de la bobina resultante.

Con el fin de parametrizar el espacio de no linealidades y los espectros de impedancia, se determina un conjunto de funciones base óptimas y ortogonales usando técnicas tales como Descomposición de Valor Singular (SVD), Análisis de Componente Principal (PCA), ondas pequeñas o ranuras. Los funcionales del modelo se descomponen en sus componentes principales, y los coeficientes obtenidos de esta manera, cuando se excede un umbral, se usan para indicar la presencia de una bobina receptora. Para una discusión adicional de tales técnicas, se hace referencia a Chatterjee, Anindya, An introduction to the proper orthogonal decomposition, Current Science, Vol. 78, N° 7, 2000.

La operación de los algoritmos ilustrados en las Fig. 9 y 10 se describirá ahora con mayor detalle.

Con referencia a la Fig. 9, el procedimiento para el entrenamiento previo del controlador de potencia del transmisor comienza primero con la definición de un conjunto representativo de configuraciones de sistema para el cual se realizarán pruebas (100). Las pruebas se realizan usando sistemas que son idénticos a aquéllos en los que se realizará la detección en campo. El conjunto representativo de configuraciones incluirá al menos un intervalo de ubicaciones y orientaciones de la bobina receptora con relación a la bobina de transmisión. Además, también podría incluir diferentes valores para uno o más parámetros operacionales que se podría esperar que afecten a los detalles del modelo no lineal. Tales parámetros operativos podrían incluir, por ejemplo, la temperatura del sistema receptor y el estado de carga de la batería que está siendo cargada por el sistema receptor. La selección de ubicaciones y orientaciones se guía por las relaciones físicas relativas que se consideran que son relevantes durante la operación del transmisor de potencia en campo. Por ejemplo, esto podría implicar establecer una distancia máxima a la que puede comenzar a tener lugar la transferencia de potencia y entonces definir distancias más próximas moviendo la bobina receptora hacia la bobina de transmisión en pasos incrementales. Para construir un conjunto de datos más completo, esto se podría repetir a medida que la bobina receptora se mueve hacia la bobina de transmisión a lo largo de caminos diferentes y para diferentes orientaciones de la bobina receptora con respecto a la bobina de transmisión.

Usando este conjunto de ubicaciones y orientaciones definidas, los datos se recogen y procesan para cada una de las configuraciones definidas (102-114). Esto implica, para cada configuración, impulsar la bobina de transmisión del circuito de transferencia de potencia con una señal de voltaje pseudoaleatoria (por ejemplo, señal de voltaje GWN o PRBS) que incluye potencia suficiente para estimular los elementos no lineales en el sistema receptor inalámbrico (102). Mientras que está siendo aplicada potencia a la bobina de transmisión, se miden y registran (104) el voltaje y la corriente en la bobina de transmisión. Dado que la forma de onda de voltaje aplicada es conocida, teóricamente solamente debería ser necesario medir la señal de corriente en la bobina de transmisión. No obstante, en la práctica en el momento en que la señal de voltaje aplicada alcance la bobina de transmisión es probable que sea ligeramente diferente debido a los efectos de otros elementos en el circuito de transferencia. De esta manera, para lograr un nivel de precisión más alto en el modelado del sistema, es deseable medir tanto la señal de corriente como la señal de voltaje en la bobina de transmisión.

Después de medir las señales de corriente y voltaje, se usa un procedimiento de identificación de sistemas no lineales conocido, tal como uno de los referenciados anteriormente, para ajustar un modelo de sistema no lineal adecuado (por ejemplo, un modelo de Wiener) a los datos medidos para obtener una estimación de las formas de onda lineales y no lineales que caracterizan el modelo de sistema dinámico (por ejemplo, impedancia) para el sistema medido (106). En este caso, la forma de onda lineal es la respuesta al impulso que representa la parte lineal dinámica (o la función de transferencia), y la forma de onda no lineal estática podría ser un polinomio mejor ajustado para la parte estática no lineal del modelo.

En la realización descrita, la representación de la forma de onda lineal se transforma en el dominio de frecuencia usando una técnica adecuada (por ejemplo, Transformada de Fourier o FFT) para transformar la respuesta al impulso en el espectro de impedancia (108) correspondiente. El espectro de impedancia calculado junto con la forma

de onda no lineal correspondiente se almacena en asociación con la configuración particular para la que se calculó (110).

Esta secuencia de pasos de adquisición de datos se repite para todas las configuraciones definidas para construir una base de datos de modelos de sistemas dinámicos del sistema transmisor/receptor. En otras palabras, después de almacenar la información calculada para la prueba recién completada, se determina si todas las ubicaciones han sido probadas (112). Si quedan más ubicaciones a ser probadas, la bobina receptora se mueve a otra ubicación u orientación entre las ubicaciones/orientaciones definidas (114), y la secuencia de mediciones y cálculos se repite para la nueva configuración.

La base de datos resultante representa un espacio de espectros de impedancia y no linealidades. Ese espacio se parametriza entonces determinando una base óptima para los dos conjuntos de formas de onda almacenadas. En otras palabras, esto se hace para todas las formas de onda de impedancia (116) y para todas las formas de onda de no linealidad (118). Se puede usar cualquiera de una variedad de técnicas conocidas para lograr esto. En la realización descrita, se usa SVD (Descomposición de Valor Singular). Después de calcular los conjuntos óptimos de funciones base para los dos conjuntos de formas de onda, se define (120) un conjunto reducido de funciones base. Esto implica seleccionar el subconjunto de funciones base óptimas que es el más eficaz para representar las formas de onda y eliminar aquellas funciones base que tienen poco poder explicativo en términos de representación de esas formas de onda. Dicho de otra manera, implica la identificación de ese subconjunto del conjunto de funciones base que es suficientemente discriminante. Las técnicas para identificar un conjunto reducido son bien conocidas.

Usando los sistemas que se emplearon para generar los datos, también se hace una determinación empírica para identificar para qué ubicaciones y/o configuraciones de la bobina receptora se puede iniciar con éxito la transferencia inalámbrica de potencia. Estas determinaciones proporcionan una base para dividir el espacio del modelo para identificar regiones que representan un receptor detectado que está en posición. Se usan métodos de clasificación generalmente conocidos para realizar la división o la agrupación del espacio del modelo para definir aquellas regiones que representan un receptor que está dentro de una distancia aceptable para iniciar la transferencia inalámbrica de potencia.

El resultado de ejecutar el proceso representado en la Fig. 9 es un conjunto de datos de entrenamiento incluyendo un conjunto reducido de funciones base óptimas. Los controladores de transmisor de potencia usan los datos de entrenamiento, incluyendo los datos que definen los modelos de sistema dinámico en el espacio del modelo y el conjunto óptimo de funciones base que caracterizan el espacio del modelo, así como los criterios de umbral para la clasificación de ese espacio, para determinar si un sistema receptor está dentro del alcance para iniciar la carga inalámbrica. Los datos de entrenamiento se almacenan en la memoria local que es parte de y/o es accesible a los controladores de transmisor de potencia.

El algoritmo que se implementa por el sistema procesador del controlador de transmisor de potencia se muestra en la Fig. 10. El controlador de potencia del transmisor, cuando está activado para buscar un sistema receptor dentro de sus proximidades (200), inicia un bucle de búsqueda en el que examina repetidamente la impedancia de su bobina de transmisión para detectar la presencia de un sistema receptor (202-216). Cada vez que entra en este bucle, aplica una señal de voltaje pseudoaleatoria a la bobina de transmisión (202) y mide y registra tanto la señal de voltaje como la señal de corriente de la bobina de transmisión (204). Usa la misma señal pseudoaleatoria que se usó para generar los datos de entrenamiento almacenados en el controlador de potencia del transmisor. El controlador usa entonces los procedimientos de identificación de sistemas no lineales utilizados previamente para ajustar un modelo de Wiener del sistema dinámico (por ejemplo, la impedancia o admitancia de la bobina de transmisión) a los datos medidos (206). Esto da como resultado una forma de onda lineal dinámica y una forma de onda no lineal estática que representa el modelo no lineal. Dado que los datos de referencia almacenados se representaron en el dominio de frecuencia como un espectro de impedancia, en oposición al dominio de tiempo como respuesta al impulso, el controlador transmisor transforma la forma de onda lineal dinámica en el espectro de impedancia correspondiente para que se pueda comparar con lo que se almacena en la base de datos (208). En este punto, el resultado del procesamiento es un espectro de impedancia y una forma de onda no lineal.

Usando el conjunto reducido de funciones base que se derivaron para los datos de referencia, el controlador de transmisor descompone el espectro de impedancia en sus funciones base respectivas y descompone la representación no lineal en sus funciones base (212) respectivas. El resultado es un conjunto de coeficientes que representan las ponderaciones dadas a las funciones base para representar las formas de onda.

Entonces, usando la información de clasificación calculada previamente para el espacio del modelo, el controlador de transmisor determina si ha detectado una bobina receptora que está en posición para comenzar la transferencia inalámbrica de potencia (214). Puede hacer esto, por ejemplo, comparando puntos en el espacio del modelo que representan las mediciones de corriente con las regiones calculadas que representan objetos de prueba usando umbrales derivados empíricamente.

Si se determina que se ha detectado una bobina receptora dentro del alcance para iniciar la transferencia inalámbrica de potencia, el controlador genera una señal que causa la iniciación de una transferencia inalámbrica de potencia (216, 218). De otro modo, el controlador del transmisor repite el bucle de detección recién descrito (216,

202). El controlador de transmisor continúa haciendo ciclos a través del bucle hasta que detecta una bobina receptora con la que se puede realizar una transferencia inalámbrica de potencia.

El planteamiento descrito en conexión con las Fig. 9 y 10 emplea un método indirecto. Como método indirecto, se obtiene primero un modelo lineal o no lineal. Entonces, las formas de onda de estos modelos se descomponen usando funciones base adecuadas. Y solamente entonces se pueden usar los parámetros de las funciones base con un método de clasificación para obtener una medida de la bondad de la posición de una unidad receptora.

Por el contrario, los métodos de identificación de sistemas no lineales también se pueden usar para implementar métodos directos para lograr la misma meta, tales como proporcionar una medida de cuán cerca está una unidad receptora. Tal método directo se aprovecha del hecho de que cualquier proceso no lineal que pueda ser refundido como una correlación determinista sin memoria invariante en el tiempo de un dominio de funciones de entrada a un intervalo de funciones de salida se puede representar mediante un sistema no lineal tal como una expansión de la serie de Volterra o cascada paralela de bloques estructurados, y que los sistemas se pueden identificar a partir de una función de entrada si está contenida suficiente información en las pseudoseñales de entrada y salida. Se puede encontrar una discusión adicional de los principios subyacentes de este planteamiento en Green et al., "Recognition of Adenosine Triphosphate Binding Sites Using Parallel Cascade System Identification", Annals of Biomedical Engineering, vol. 31, páginas 462-470, 2003 (denominado, de aquí en adelante, Green).

Una realización que emplea tal planteamiento se ilustra en las Fig. 11 y 12. En la realización ilustrada, la impedancia de una bobina se usa para detectar un receptor. En general, como se muestra en la Fig. 11, se recoge una colección de espectros de impedancia de celda para diferentes posiciones de la bobina receptora. Entonces, suponiendo que cada espectro medido consta de N puntos, en la posición de la bobina correspondiente se crea una señal de posición constante que también consta de N puntos, y cada punto del espectro medido se asigna a la posición de la bobina receptora correspondiente. Con propósitos de identificación del sistema, se crea una señal de entrada concatenando juntos los espectros de impedancia, y se crea una señal de salida concatenando juntas las señales de posición. Posteriormente, usando identificación de sistemas no lineales, se obtiene un modelo no lineal, tal como una cascada paralela de bloques estructurados, para ese sistema de entrada-salida.

Este modelo se usa entonces, como se muestra en la Fig. 12, como un estimador de la posición de la bobina receptora. Para esto, se obtiene un espectro adquirido para una posición de bobina desconocida y se usa como entrada al modelo no lineal estimado. La salida calculada del modelo no lineal proporciona directamente una estimación de la posición de la bobina receptora. Como se explica en Green, el último valor de la señal de salida se usa como la posición estimada de la bobina.

Los detalles de los algoritmos mostrados en las Fig. 11 y 12 se describirán ahora con mayor detalle.

La Fig. 11 muestra el procedimiento para el entrenamiento previo de un controlador de transmisor para detectar una bobina receptora. Como se ha descrito previamente en relación con la Fig. 12, el procedimiento comienza en primer lugar con la definición de un conjunto representativo de configuraciones de sistema para el que se realizarán pruebas (300).

Usando este conjunto definido de configuraciones de sistema, los datos se reúnen y procesan para cada una de las configuraciones definidas. Esto implica, para cada configuración, accionar la bobina de transmisión del circuito de transferencia de potencia con una señal de voltaje pseudoaleatoria (por ejemplo, una señal de voltaje GWN) que incluye potencia suficiente para estimular los elementos no lineales en el sistema receptor inalámbrico (302). Mientras se está aplicando potencia a la bobina de transmisión, se miden y registran el voltaje y la corriente en la bobina de transmisión (304). Después de medir las señales de corriente y voltaje, se calcula el espectro de impedancia (306). En la realización descrita, esto se hace usando correlaciones cruzadas de las señales medidas como sigue:

$$H(x) = \frac{F\{C_{xy}(t)\}}{F\{C_{xx}(t)\}}$$

$$C_{xy}(\tau) = \int y(t)x(t-\tau) d\tau$$

$$C_{xx}(\tau) = \int x(t)x(t-\tau) d\tau$$

donde $C_{xx}(T)$ es la autocorrelación de la señal de voltaje, $C_{xy}(T)$ es la correlación cruzada de las señales de voltaje y corriente, y $F\{\cdot\}$ representa la Transformada Rápida de Fourier (FFT). En este caso, el espectro de impedancia calculado resultante se representa por N puntos de datos.

Ésta no es, por supuesto, la única forma de calcular el espectro de impedancia. Otros planteamientos son bien conocidos por los expertos en la técnica. Por ejemplo, uno podría calcular simplemente las transformadas de Fourier de las señales medidas y usar eso para calcular el espectro de impedancia. No obstante, el uso de las correlaciones cruzadas tiene la ventaja de reducir los efectos del ruido.

- 5 El espectro de impedancia calculado corresponde a una configuración de bobina que está representada por una posición o ubicación relativa a la bobina de transmisión. A esa posición de la bobina se le asigna un número único (por ejemplo, distancia desde la bobina de transmisión) y se genera (30) una señal de posición de bobina de N puntos correspondiente, con cada punto igual al número asignado, y se almacena como una señal de salida junto con su espectro de impedancia de N puntos para el cual se calculó (310).
- 10 Esta secuencia de pasos se realiza para cada una de las configuraciones definidas (314, 312). Cuando se completa, el resultado es una base de datos de espectros calculados almacenados y de señales de posición de bobina correspondientes para todas las configuraciones definidas.

Una vez que se han adquirido los datos de medición para todas las configuraciones, los espectros de impedancia para todas las configuraciones se concatenan juntos para formar una señal de entrada (316):

- 15 Señal de entrada = $\{H_1, H_2, \dots, H_n\}$

Y todas las señales de posición correspondientes se concatenan juntas para formar una señal de salida (318):

Señal de salida = $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$

- 20 Estas dos señales se tratan entonces como las señales de entrada y salida de un sistema no lineal hipotético. La identificación de sistemas no lineales se usa entonces para obtener un modelo no lineal, tal como una cascada paralela de bloques estructurados, de ese sistema no lineal (320). Este modelo no lineal se almacena en el controlador de potencia del transmisor, que lo usará para estimar directamente la posición de la bobina receptora durante la operación. Además, se hace empíricamente una determinación con respecto a qué posiciones representan posiciones en las que se puede realizar una carga inalámbrica. Y esa información también se almacena para su uso por el controlador de potencia del transmisor.

- 25 Los detalles del algoritmo implementado por el controlador de potencia del transmisor se ilustran en la Fig. 12. El controlador de potencia del transmisor, cuando se activa para buscar un sistema receptor dentro de sus proximidades (400), inicia un bucle de búsqueda en el que mide repetidamente la impedancia de su bobina de transmisión para detectar la presencia de un sistema receptor 402-412). Cada vez que ejecuta este bucle, se aplica una señal de voltaje pseudoaleatoria a la bobina de transmisión (402) (opcionalmente usando la misma señal pseudoaleatoria que se usó para generar el conjunto de datos almacenado en el controlador de potencia del transmisor) y mide tanto la señal de voltaje como la señal de corriente de la bobina de transmisión (404). Entonces, usando el planteamiento descrito en conexión con la Fig. 11, el controlador calcula a partir de las señales de voltaje y corriente medidas el espectro de impedancia de N puntos para la bobina de transmisión (406). A continuación, aplica este espectro de impedancia calculado al modelo no lineal que se generó en conexión con la Fig. 11 (408). El resultado es un indicador de la posición de la bobina receptora (410). Si la salida del modelo no lineal indica que la bobina receptora está en posición el controlador de transmisión de potencia comienza a cargar inalámbricamente el sistema receptor (412, 414). De otro modo, repite el bucle recién descrito para continuar buscando una bobina receptora que está en posición para cargar (412, 402).

- 40 El planteamiento descrito anteriormente usaba la impedancia calculada. Un planteamiento alternativo, que es probable que conserve más información acerca de las no linealidades en el sistema, es usar la corriente medida en lugar de calcular la impedancia. Tal planteamiento se describe más tarde en conexión con las Fig. 18A-B que se refieren a la detección de objetos extraños.

Sintonización automática de la frecuencia del transmisor

- 45 Las técnicas descritas para la determinación de la posición de la bobina están adaptadas para sintonizar el circuito de transferencia de potencia a una frecuencia óptima para la carga inalámbrica del sistema receptor. Cuando las bobinas están a una distancia más lejana que un diámetro de bobina, típicamente se requiere poca sintonización, en la medida que la frecuencia óptima para transmitir potencia no cambia significativamente y es conocida para ese sistema. Como se ha indicado anteriormente, este no es el caso cuando las bobinas se acercan. La frecuencia óptima puede cambiar rápidamente con el cambio de posición, a medida que las bobinas se acercan entre sí. De esta manera, la frecuencia óptima se debe calcular a una velocidad directamente relacionada con las velocidades de la bobina. En este caso, las técnicas basadas en la identificación de sistemas ofrecen una clara ventaja en que los espectros de impedancia requeridos se pueden determinar mucho más rápidamente. En lugar de barrer a través de frecuencias, lo que puede ser un proceso que consume mucho tiempo, se aplica una vez una señal que contiene todos los componentes de frecuencia requeridos, y a partir de esa se estima el espectro.

- 55 La potencia que entra en la bobina primaria, que corresponde a la potencia transmitida más alguna potencia disipada en la bobina en sí misma como calor, se puede derivar a partir de los espectros de impedancia. Si el

sistema de transmisión de la bobina se puede representar sobre todo por un sistema lineal, la potencia que entra en la bobina de transmisión se da a partir de la integral del voltaje y de la corriente. A partir del espectro de impedancia, obtenemos:

$$P(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T V_0 * \cos(\omega * t) * Z(\omega)^{-1} * V_0 \cos(\omega * t - \phi(\omega)) * dt$$

5 donde $Z(\omega)$ es la magnitud de la impedancia y $\phi(\omega)$ es la fase.

$$P(\omega) = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{Z(\omega)} * \cos(\phi(\omega))$$

Por lo tanto, en el caso de un sistema lineal, ocurrirá una transferencia óptima de potencia cuando el producto de la amplitud y del coseno de la fase de la impedancia esté en un máximo. Si el sistema es significativamente no lineal, las frecuencias óptimas también serán dependientes de la amplitud.

10 En el caso de un sistema de transmisión inalámbrica de potencia (WPTS), los voltajes de bajo nivel pueden no ser lo suficientemente grandes para estimular la electrónica no lineal interna que implica dispositivos semiconductores y, de esta manera, el sistema seguirá siendo lineal. Por lo tanto, es deseable que la potencia en exceso de alguna cantidad mínima sea entregada a la bobina para observar las no linealidades en el sistema. La señal de excitación aleatoria se puede aplicar como una forma de onda de voltaje a las bobinas, y la respuesta se mide como la
15 corriente que fluye a través de la bobina.

La identificación de sistemas no lineales se usa para modelar el sistema y usando el modelo no lineal resultante, se estima la frecuencia óptima. Idealmente, el proceso de estimación se realizaría analíticamente. En otras palabras, las ecuaciones paramétricas de forma cerrada se usarían para representar la respuesta al impulso y las no linealidades, o núcleos de orden más alto. Con las expresiones analíticas de forma cerrada, se puede hacer
20 analíticamente el cálculo de las respuestas del sistema, así como encontrar valores de parámetros en los que ocurren los extremos. Para encontrar frecuencias óptimas, una respuesta analítica que da la potencia de la bobina como una función de la frecuencia se deriva para formas de onda de voltaje de entrada sinusoidales, se diferencia para resolver ceros, y se seleccionan ceros que ocurren en los máximos.

No obstante, las representaciones analíticas pueden llegar a ser demasiado complejas de manejar o de ser
25 resueltas. En ese caso, es posible recurrir a técnicas numéricas. Para localizar rápidamente una frecuencia óptima, se puede implementar una técnica de optimización a lo largo de una línea (eje de frecuencia). Para referencias que tratan tales técnicas se hace referencia a Fletcher, R. Practical Methods of Optimization, Segunda Edición, John Wiley & Sons, LTD, 1987; Press, W.H. et al., Numerical Recipes in C++, Cambridge University Press, 2002; Nocedal, J. y Wright, S.J., Numerical Optimization, Springer Series in Operations Research, 1999; y Press, William H. et al., Numerical Recipes 3th Edition: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 3th Ed., 2007). Con este
30 fin, la respuesta del sistema no lineal se simula numéricamente y la potencia transmitida se usa como la función objetivo que se maximiza. El mismo planteamiento se podría usar para representaciones semianalíticas, donde las funciones no paramétricas se podrían aproximar por una expansión de la serie de Chebychef.

Un ejemplo de un algoritmo que emplea tal planteamiento para sintonizar automáticamente la frecuencia de la
35 bobina se presenta en la Fig. 13. Este algoritmo se implementa por el controlador de potencia del transmisor. En general, los modelos no lineales se adquieren continuamente aplicando repetidamente perturbaciones de voltaje pseudoaleatorias, muestreando el voltaje y corriente de la bobina, y ajustando un modelo no lineal a los datos medidos. Los modelos no lineales entonces se usan para simular digitalmente la potencia que entra en la bobina como una función de la frecuencia de la señal. Y un algoritmo de búsqueda se usa para encontrar las frecuencias a
40 las que se debería calcular la potencia y localizar iterativamente la frecuencia óptima.

Como se ha indicado en la Fig. 13, cuando se determina que una bobina receptora está dentro de una distancia sobre la cual puede ocurrir con éxito una carga, el controlador de potencia del transmisor establece la frecuencia de carga inalámbrica a una frecuencia F_0 predeterminada que corresponde a la frecuencia de resonancia estimada del sistema de carga y comienza a cargar inalámbricamente a esa frecuencia (500). El controlador entra entonces en un
45 bucle en el que busca la frecuencia de carga óptima. Para dirigir la búsqueda de la frecuencia óptima, el controlador de potencia del transmisor usa identificación de sistemas no lineales para construir un modelo no lineal del sistema transmisor-receptor y luego usa ese modelo para encontrar la frecuencia óptima. La construcción del modelo se hace de una manera similar a la que ya se ha descrito en conexión con el proceso para detectar la presencia de una bobina receptora. Se aplica una señal de voltaje pseudoaleatoria como una señal de perturbación a la bobina de
50 transmisión (502) y mide las señales tanto de voltaje como de corriente de la bobina de transmisión (504). El controlador usa entonces la identificación del sistema no lineal para ajustar esos datos medidos a un modelo de Wiener de una representación del sistema dinámico (por ejemplo, la impedancia) de la bobina de transmisión (506). Una vez que se ha derivado el modelo de Wiener, el controlador entra en un bucle en el que usa ese modelo no lineal para buscar la frecuencia óptima (508-516). Más específicamente, simula la respuesta del modelo no lineal

para una señal de voltaje en la frecuencia seleccionada previamente (508). A partir de la respuesta simulada, calcula la potencia transmitida como la función objetivo que se ha de maximizar (510). Entonces, usa una técnica de minimización de gradiente conocida para encontrar una nueva frecuencia en la que se maximiza la potencia transmitida (512). Durante esta búsqueda de la frecuencia óptima, el controlador usa el modelo no lineal para simular repetidamente una respuesta, cambiando cada vez los valores de la frecuencia de la señal de accionamiento hasta que se encuentre un óptimo evidente. Después de encontrar la frecuencia óptima evidente, prueba si esa nueva frecuencia es verdaderamente una óptima (514).

Si se determina que aún no se ha encontrado una frecuencia óptima, el controlador repite el procedimiento para continuar la búsqueda de la frecuencia óptima (516). En otras palabras, simula la respuesta del modelo no lineal a la nueva frecuencia (508), calcula la función objetivo a esa nueva frecuencia (510), y usa la técnica de minimización del gradiente para encontrar una nueva frecuencia en la que se maximiza la función objetivo (512). El controlador repite este proceso hasta que se encuentra la óptima, en cuyo momento se ajusta la frecuencia de la bobina de transmisión a esta frecuencia óptima (518).

Después de ajustar la señal de accionamiento a la frecuencia óptima calculada, el controlador comprueba si la carga está completa (520). Puede determinar esto a través de la detección de un cambio abrupto en la impedancia de la bobina receptora cuando el sistema receptor termina o interrumpe la carga del módulo de la batería. Alternativamente, si hay un canal de comunicación de vuelta al sistema transmisor, el sistema receptor puede enviar una señal sobre ese canal para informar al sistema transmisor que ha terminado la función de carga. Cuando el controlador detecta que la carga está completa (520), apaga la potencia terminando por ello la transferencia inalámbrica de potencia al sistema de bobina receptora (522).

Si la carga no se completa, es posible que las posiciones relativas de las bobinas de transmisión y receptora pudieran haber cambiado, afectando por ello al valor de la frecuencia óptima, así que se reanuda la búsqueda de una nueva frecuencia óptima. En otras palabras, se ramifica de vuelta al principio del algoritmo (502) para continuar la búsqueda.

Hasta este punto, se ha supuesto que el sistema receptor inalámbrico no comunica los datos sobre la potencia transmitida de vuelta al sistema transmisor inalámbrico. No obstante, si se pueden transmitir datos desde el sistema receptor al sistema de transmisión, se puede derivar un modelo no lineal entre un voltaje aplicado a la bobina $V(t)$ y la potencia $P(t)$ que entra directamente en una unidad de almacenamiento de energía, tal como un paquete de baterías. El modelo no lineal se usa entonces como se ha descrito anteriormente para localizar la frecuencia exacta a la que la cantidad máxima de potencia entra directamente en un subsistema de almacenamiento de energía, en lugar de en las bobinas, lo que incluye pérdidas de potencia en las bobinas y electrónica de potencia. Además, también se puede calcular entonces la eficiencia, permitiendo a uno elegir entre una tasa de carga máxima y una tasa de carga máximamente eficiente.

Como método alternativo y más eficiente para ajustar automáticamente a la frecuencia de excitación óptima, se puede usar un método directo basado en el método de Green descrito anteriormente. En ese caso, un algoritmo de detección, en forma de un modelo no lineal, se obtiene primero fuera de línea. Esto se hace llevando a cabo una serie de experimentos sobre un sistema real con las bobinas de transmisión y receptora en diferentes ubicaciones y orientaciones entre sí. Para cada ubicación/orientación, se determina una frecuencia de bobina óptima y se registra la corriente de bobina correspondiente. Dado que este proceso se lleva a cabo fuera de línea, la frecuencia óptima para cada condición se puede obtener o bien numéricamente o bien experimentalmente o ambas.

Después de que todas las pruebas se han llevado a cabo y a partir de los resultados de esas pruebas, tanto una señal de entrada como una señal de salida se construyen con el propósito de identificación de sistemas no lineales. La señal de entrada se crea concatenando todas las respuestas de señal de corriente medidas a la señal de excitación aleatoria. Y la señal de salida se crea concatenando los valores de frecuencia óptima que corresponden a aquellas señales de corriente concatenadas. Después de esto, se lleva a cabo la identificación de sistemas no lineales para derivar a partir de aquellas señales de entrada y salida construidas un estimador de frecuencia no lineal óptima que es un modelo no lineal que representa cómo las diferentes señales de respuesta correlacionan en las frecuencias óptimas correspondientes.

Una vez que se ha obtenido el estimador de frecuencia no lineal óptima, se usa en tiempo real por el controlador de transmisor de potencia para extraer directamente de una señal de respuesta una frecuencia de excitación óptima a usar. Esto se hace aplicando una señal de excitación seudoaleatoria, que normalmente es la misma que la señal seudoaleatoria usada para construir el estimador, y usando la señal de respuesta resultante de esa señal de excitación como entrada al estimador de frecuencia no lineal. La salida del estimador identifica la frecuencia óptima para la transferencia inalámbrica de potencia bajo las condiciones existentes.

Una ilustración más detallada de este método directo se muestra en las Fig. 14A y 14B. Hay una parte fuera de línea (Fig. 14A) y una parte en tiempo real (Fig. 14B). La parte fuera de línea se dirige usando equipos idénticos a los equipos con los que se implementará la parte en tiempo real. Es con el propósito de construir un modelo no lineal que se pueda usar como el estimador.

Con referencia ahora a 14A, para la parte fuera de línea, se hace una determinación de las condiciones del alcance que ha de ser modelado (600). El alcance de las condiciones refleja las diferentes ubicaciones y orientaciones de las bobinas entre sí para las cuales se realizará en tiempo real una sintonización automática. Los experimentos han de ser llevados a cabo fuera de línea para cada una de estas diferentes condiciones. Los experimentos también se pueden llevar a cabo con diferentes objetos que podrían estar presentes en el campo de la energía y que podrían afectar a la transferencia inalámbrica de potencia. Esto podría incluir, por ejemplo, materiales de blindaje, tales como láminas de metal o tubos de metal, a diferentes distancias de las bobinas. En otras palabras, el objetivo sería reproducir las condiciones de la vida real bajo las cuales es probable que sea usada la transferencia inalámbrica de potencia. Una vez que se define el alcance de las condiciones posibles, el proceso fuera de línea implica realizar una secuencia de pruebas para cada una de las diferentes condiciones (602).

En primer lugar, se determina (604) una frecuencia de bobina óptima para maximizar la transferencia de potencia. Dado que esto se hace fuera de línea, se puede hacer o bien numéricamente o bien experimentalmente. Entonces, se aplica una señal de perturbación de voltaje pseudoaleatoria a la bobina de transmisión y la corriente de la bobina se mide y se registra (606) para la señal de voltaje. Una señal de frecuencia constante con un valor igual a la frecuencia óptima correspondiente también se define y se almacena en asociación con la señal de corriente registrada (608).

Esa secuencia de pasos se repite para todas las condiciones que han de ser modeladas (610).

Una vez que se han adquirido los datos de medición para todas las condiciones, las señales de entrada y salida para un modelo no lineal se construyen de una manera similar a lo que se describió anteriormente en conexión con la Fig. 11. Las señales de corriente registradas para todas las condiciones están concatenadas juntas para formar una señal de entrada (612). Y todas las señales de frecuencia correspondientes están concatenadas juntas para formar una señal de salida (614). Las señales de entrada y salida concatenadas se tratan entonces como las señales de entrada y salida de un sistema no lineal y se usa identificación de sistemas no lineales para obtener un modelo no lineal, tal como una cascada paralela de bloques estructurados, de ese sistema no lineal (616). El modelo no lineal resultante, que representa el estimador de frecuencia, se usará en tiempo real por el controlador de potencia del transmisor para determinar la frecuencia óptima para la transferencia inalámbrica de potencia.

El algoritmo ilustrado en la Fig. 14B representa la secuencia de pasos que se ejecutan por el controlador de potencia del transmisor. El controlador de potencia del transmisor aplica la señal de voltaje pseudoaleatoria a la bobina de transmisión y registra la señal de corriente producida por la bobina de transmisión (618). Entonces, usa la señal de corriente registrada como entrada al estimador de frecuencia no lineal que se calculó fuera de línea (620). La salida final del estimador es la frecuencia óptima para dirigir la transferencia de potencia bajo las condiciones existentes, es decir, la posición y orientación existentes de las dos bobinas una con respecto a la otra. El controlador ajusta la frecuencia del circuito de transferencia de potencia a esa frecuencia (622). En este punto comprueba si la carga está completa (624). Si es así, se apaga la alimentación y se termina la transferencia inalámbrica de potencia o se establece una marca que hace que la transferencia de potencia termine o no tenga lugar (626).

Si la carga no está completa, el controlador repite la secuencia recién descrita de pasos 618-624 para tener en cuenta cualquier posible cambio en la posición de la bobina de transmisión con relación con la bobina receptora u otros cambios anticipados en las condiciones. En otras palabras, el proceso de sintonización automática se ejecuta continuamente durante toda la operación de transferencia inalámbrica de potencia.

Señalar que el algoritmo recién descrito implica cargar mientras que se está aplicando la señal pseudoaleatoria al sistema. Otro planteamiento, que reduciría el ruido en la señal de salida, sería intercalar la carga con la prueba. En ese caso, se aplicaría una señal pseudoaleatoria mientras no está siendo aplicada ninguna señal de accionamiento.

Ajuste de la forma de onda del transmisor para transferencia óptima

En teoría, las señales de voltaje y corriente que fluyen a través de las bobinas autorresonantes son típicamente sinusoidales, dado que la física de los osciladores es de manera que filtran la mayoría de otras formas de onda. No obstante, se encuentra en la práctica que algunas veces se puede obtener una eficiencia de transferencia de potencia más alta usando una forma de onda ligeramente diferente. En vista del hecho de que la electrónica moderna usa en su mayoría sistemas de conmutación controlados digitalmente para crear señales de potencia, y no osciladores analógicos, la electrónica se presta a sí misma para crear casi cualquier forma de onda arbitraria.

El ajuste de la forma de onda llega a ser posible después de que se obtiene un modelo no lineal que describe la transmisión inalámbrica de potencia. Con el modelo no lineal en la mano, es posible emplear un algoritmo de control no lineal existente para obtener una forma de onda mejorada. Dado que no existe una solución general, la dinámica de sistema se linealiza alrededor de una trayectoria en el espacio-estado. Iterativamente, y usando la teoría de control lineal existente, se recalcula la forma de onda de control óptima y se vuelve a linealizar el sistema alrededor de la nueva trayectoria hasta que se logra la convergencia.

Alternativamente, se puede usar un método numérico para calcular una forma de onda de voltaje óptima. Tal método se representa en la Fig. 15. En este diagrama de flujo, la forma de onda se representa como una serie finita, tal

como una serie de Fourier truncada o la suma de polinomios de Chebychef. Para una serie de Fourier truncada, el voltaje se puede representar como:

$$V(t) = \sum_{k=0}^N C_k * \cos(k * \omega_0 * t + \phi_k)$$

- 5 donde ω_0 es la frecuencia angular fundamental. Para que exista una óptima, se deben especificar algunas restricciones, o bien como límites sobre $V(t)$ o bien donde la potencia de señal P_0 es fija y la fase de la fundamental se supone que es cero:

$$P_0 = \sum_{k=0}^N C_k^2$$

$$\phi_0 = 0$$

Una técnica de optimización numérica, tal como un procedimiento de optimización de Levenberg-Marquardt con restricciones lineales y no lineales, se usa entonces para encontrar los parámetros desconocidos C_k y ϕ_k .

- 10 Si se encuentra que la forma de onda óptima necesita ser ajustada con la posición de la bobina receptora o a medida que cambia el nivel de almacenamiento de energía del receptor, la misma técnica se puede usar iterativamente en tiempo real a medida que el receptor se mueve.

- 15 La Fig. 15 presenta detalles de un algoritmo ejemplar para encontrar una forma de onda óptima para transferencia de potencia. En general, este procedimiento implica adquirir primero un modelo no lineal (700). Entonces, usando ese modelo no lineal para simular la potencia en la bobina, se emplea una técnica de optimización para localizar la mejor forma de onda.

- 20 El modelo no lineal para el sistema transmisor y receptor se puede adquirir como se ha descrito anteriormente. Aunque esto se puede hacer en tiempo real, cuando se usan sistemas de carga inalámbricos predefinidos, generalmente no es el caso de que la forma de onda óptima varíe significativamente entre diferentes realizaciones del sistema. Así, la determinación de la forma de onda de señal óptima se puede hacer fuera de línea antes del proceso de carga.

- 25 Después de que se ha adquirido el modelo no lineal, los parámetros para la representación de una serie finita de la forma de onda de voltaje, que se trató anteriormente, se inicializan de modo que la forma de onda sea una senoide pura (702). Es decir, C_0 se ajusta igual a V_0 , la amplitud de la señal de voltaje aplicada y la fase ϕ_0 se ajusta a cero, como lo son todos los otros parámetros, C_k y ϕ_k . Además, los diversos parámetros para el algoritmo de optimización que se ha de usar también se inicializan en la preparación para comenzar la búsqueda de optimización (704).

- 30 Una vez que se completa la inicialización, el sistema procesador sobre el cual ésta está siendo ejecutada comienza a ejecutar el algoritmo de inicialización (706-718). Esto implica una secuencia de pasos que se repiten hasta que encuentra un conjunto de valores de parámetros, C_k y ϕ_k , que maximiza la función objetivo, esto es, la potencia de salida de la bobina de transmisión. El procesador usa el modelo no lineal adquirido para simular la forma de onda de corriente que resulta de accionar el sistema con la forma de onda de voltaje seleccionada (706). Entonces calcula la potencia de salida a la bobina de transmisión y ajusta la función objetivo igual a esa potencia de salida calculada (708). A continuación, el procesador invoca un procedimiento de minimización no lineal conocido para encontrar un conjunto de valores de parámetros que maximice la potencia de salida (712). Durante esta búsqueda de la forma de onda óptima, el controlador usa el modelo no lineal para simular repetidamente la forma de onda de corriente, cambiando cada vez los valores de los parámetros, C_k y ϕ_k , para la señal de accionamiento hasta que se encuentra un óptimo evidente.

- 35 Después de encontrar el conjunto de valores de parámetros que maximiza la potencia de salida, el procesador actualiza la señal de voltaje con esos nuevos parámetros (714) y comprueba si se ha encontrado una óptima (716).
40 Si se determina que no se ha encontrado una óptima, el sistema procesador se ramifica de vuelta al principio de este bucle de optimización y repite los cálculos para encontrar un conjunto mejor de valores (718).

Una vez que se encuentra el conjunto de valores, el procesador guarda esos valores para uso por el controlador de potencia del transmisor (720).

- 45 Si existe un canal de comunicación adecuado entre el receptor y el transmisor y es posible obtener la señal de potencia real que va al paquete de almacenamiento de energía, el algoritmo se puede adaptar para predecir directamente la potencia almacenada y entonces ajustar la forma de onda de entrada para optimizar la potencia almacenada.

Detección de la presencia de objetos extraños

La detección de objetos extraños cerca de las bobinas de potencia se requiere tanto por seguridad como por eficiencias. Dadas las frecuencias relativamente bajas usadas en la transmisión de potencia y dado que la transmisión de potencia se logra mediante acoplamiento inductivo con poca radiación electromagnética generada por las bobinas, RIC es inherentemente más seguro que la mayoría de los otros métodos de transmisión inalámbrica de potencia, particularmente los que usan microondas o luz.

Los objetos que no interfieren con el campo magnético rara vez serían de preocupación desde el punto de vista de la seguridad o la interferencia con el sistema de carga inalámbrica. Si tales objetos necesitan ser detectados, tiene que ser usados otros medios, tales como métodos ópticos, mecánicos o acústicos.

De mayor preocupación son los objetos que son eléctricamente conductores, tales como piezas de metal, material de fibra de carbono, o incluso tejido vivo. Si tal objeto está presente, se podrían generar corrientes parásitas fuertes causando pérdidas de transmisión, calentamiento local en el objeto, y conducen potencialmente a degradación o incluso peor causan daño celular en seres humanos. Cuando se transmiten cientos de kilovatios, el calentamiento de Joule podría elevar la temperatura de los objetos extraños por encima de 50°C y dar como resultado quemaduras en la piel. Al alcanzar cientos de kilovatios, existirían riesgos de exposición para una exposición prolongada y posiblemente para personas que usan marcapasos. Así, es importante detectar cuándo objetos conductores, incluyendo tejido vivo, entran en las proximidades de la bobina de transmisión.

Se pueden usar sensores de proximidad y técnicas ópticas. Se han propuesto métodos para detectar la presencia de objetos extraños basados en modelos para determinar pérdidas de potencia inesperadas. Véase, por ejemplo, Kuyvenhoven, N., Dean, C., Melton, J., Schwannecke, J. y Umenei, A. E., "Development of a Foreign Object Detection and Analysis Method for Wireless Power Systems", IEEE, Wireless Power Consortium (2011). Cuando el subsistema de la bobina receptora puede comunicar con el subsistema transmisor, puede informar al transmisor de la cantidad de potencia recibida. El controlador en el subsistema transmisor puede calcular las pérdidas a partir de la cantidad conocida de energía que va a las bobinas. Y si la cantidad de energía no contabilizada excede un umbral predefinido, se interrumpiría la transmisión de potencia.

No obstante, es mucho más práctica la detección de tales objetos directamente a partir de las modificaciones que causan en los campos detectados por las bobinas. Como se ha descrito en la presente memoria, estimando continuamente la respuesta dinámica no lineal de la bobina de transmisión, es posible detectar un objeto extraño de la manera en que altera la dinámica del transmisor. Las no linealidades tienden a ocurrir ante todo en el sistema electrónico del receptor. Es menos probable que las no linealidades ocurran en sistemas metálicos u otros eléctricamente conductores, tales como tejidos biológicos, que no presentan saturación.

Además, los componentes eléctricos típicos reaccionan linealmente en presencia de un campo eléctrico y, en el dominio de frecuencia, los diagramas de Bode de su impedancia se definen por líneas rectas con pendientes enteras en un gráfico logarítmico-logarítmico. También, la fase está linealmente relacionada con la pendiente de la impedancia frente a la frecuencia y se comportan como sistemas de fase mínima. En el caso del tejido vivo, típicamente la pendiente no es un número entero y no responde como un sistema de fase mínima. Así, diversos objetos extraños, particularmente en el caso de estructuras complejas o grandes masas distribuidas, afectarán ante todo a la parte lineal de un sistema no lineal de una manera muy característica.

Un sistema de detección en el controlador de potencia del transmisor se puede entrenar con diferentes tipos de materiales, de modo que pueda detectar, en base a cambios en los componentes lineales y no lineales del sistema de bobinas, que un objeto extraño ha entrado en las proximidades de la bobina de transmisión. En primer lugar, se identifica una gran colección de modelos no lineales y se almacena en una base de datos como representativa de objetos típicos, tejidos metálicos o artificiales, a ser detectados. Posteriormente, estos modelos se clasifican usando técnicas matemáticas existentes tales como redes neuronales, Análisis de Componentes Principales (PCA) o SVD. PCA y SVD se pueden usar para definir una base óptima para representar los modelos a partir de los cuales se obtiene una representación altamente reducida del espacio del modelo y se usa para detección.

Dado que diferentes objetos afectan a los componentes lineales y/o no lineales de modelos no lineales de forma diferente, sus características únicas se pueden aislar en diferentes componentes de las funciones base óptimas. Por lo tanto, si un objeto, tal como el cuerpo humano, entra en las proximidades de un sistema de transmisión inalámbrico, sus componentes específicos aparecerán en los coeficientes relacionados con sus funciones base particulares y llegará a ser detectable a partir de los valores de los coeficientes. En tal caso, es suficiente mirar los coeficientes característicos de los modos humano o animal para determinar si un ser humano o un animal está en las proximidades de la bobina. Alternativamente, el espacio se puede dividir en regiones que caracterizan cada objeto de interés. Posteriormente, cuando un modelo se mueve hacia o fuera de los límites de su espacio de agrupación, da una indicación de la presencia de objetos extraños.

Las Fig. 16A y 16B ilustran una implementación de un algoritmo de entrenamiento para un sistema tal. En general, la identificación de sistemas no lineales se usa para recoger un gran número de modelos de sistemas dinámicos para diferentes tipos de objetos en diferentes ubicaciones en relación con la bobina de transmisión. Después de la

recogida de datos para esos objetos, las funciones base óptimas se derivan usando descomposición SVD. Posteriormente, los modos que son en su mayoría representativos de cada tipo de objeto se aíslan en el espacio del modelo localizando qué modos tienen componentes significativos que son únicos para ese tipo de objeto.

5 La FIG. 17 indica cómo se realiza la detección en campo usando la información recogida a partir del algoritmo de entrenamiento. En general, se adquieren continuamente datos en bruto y modelos no lineales derivados continuamente de esos datos en bruto. Cada vez que se adquiere un nuevo modelo, se descompone en sus coeficientes base óptimos. Entonces, para cada tipo representativo de objeto de interés en la base de datos, cuando los coeficientes de modo correspondientes superan un umbral predefinido, eso señala la presencia probable de ese tipo de objeto y se interrumpe la transferencia inalámbrica de potencia o se emite una señal de advertencia.

10 Sigue ahora una descripción más detallada de las realizaciones ilustradas en las Fig. 16A, 16B y 17.

Con referencia a la Fig. 16A, la construcción de una base de datos (o entrenamiento previo) para la detección de objetos extraños implica un conjunto de pasos que son similares a los realizados para detectar la presencia de un receptor, como se ilustra en la Fig. 9. Comienza identificando y ensamblando una colección de objetos que uno desea detectar (800). Así, por ejemplo, dado que se desea que el proceso de carga sea terminado cuando un ser humano o animal entra en campo de transferencia inalámbrica de potencia, los objetos representativos de tejido humano y animal necesitan ser incluidos en la colección de objetos. Dado que también es deseable detectar la presencia de objetos que o bien interfieran con la transferencia inalámbrica de potencia y/o bien se dañen o puedan causar daño potencial a personas si están presentes en el campo de transferencia inalámbrica de potencia, esos objetos también necesitan ser identificados y añadidos a la colección de objetos.

20 Una vez que se ha identificado la colección de objetos, se define (802) un conjunto de posiciones para dichos objetos con respecto a la bobina de transmisión. Éste es un conjunto representativo de posiciones en las que se desea detectar la presencia de cualquiera de los objetos en el campo de transferencia de potencia.

Con la colección de objetos identificada y el conjunto de ubicaciones definido, el procedimiento de entrenamiento implica realizar experimentos sobre cada uno de los objetos (804) en cada una de esas posiciones (806) para derivar un modelo no lineal correspondiente del sistema. Para un objeto seleccionado situado en una de las posiciones definidas, se aplica a la bobina de transmisión (808) una señal de voltaje pseudoaleatoria (por ejemplo, una señal GWN). Mientras está siendo aplicada esa señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión, se registra la señal de voltaje y la señal de corriente de la bobina de transmisión y las señales registradas se ajustan a un modelo de Wiener de la impedancia de la bobina de transmisión (810). El resultado es una parte lineal representada por una respuesta al impulso para la impedancia y una parte no lineal representada por una forma de onda de no linealidad. Tanto la respuesta al impulso como la forma de onda de no linealidad se almacenan en asociación con el objeto seleccionado y esa posición seleccionada (812).

Este proceso se repite para cada objeto (814) y en cada una de las posiciones definidas (816) hasta que todos los objetos hayan sido probados en todas las posiciones definidas.

35 Después de recoger los datos de cada objeto en cada una de las posiciones definidas y usando técnicas bien conocidas, se calcula una base óptima para la recogida de las formas de onda de impedancia almacenadas (818) y se calcula una base óptima para la colección almacenada de las formas de onda de no linealidad (820). Este proceso emplea una de la técnica de descomposición bien conocida, tal como SVD o PCA, etc. A partir de las dos bases óptimas que se han calculado, se identifica un conjunto reducido de funciones base (822).

40 Con referencia ahora a la Fig. 16B, como parte del procedimiento de entrenamiento, se ejecuta otro conjunto de pasos para cada objeto de la colección (824). Para cada posición de un objeto seleccionado de esa colección de objetos, el modelo no lineal calculado previamente para ese objeto en esa posición (826) se descompone en las funciones bases reducidas que fueron identificadas durante la primera parte del algoritmo de entrenamiento (828). Cuando el sistema procesador ha realizado esta tarea para cada posición para la que se registraron datos para ese objeto (830), entonces determina los modos de función de base que son particulares para ese objeto para esa colección de modelos (832). En otras palabras, identifica el subconjunto de funciones base que son más relevantes para el conjunto calculado de datos para ese objeto. Los coeficientes de esas funciones base definen un punto en el espacio del modelo para el modelo correspondiente. Para la recogida de tales puntos para todos los modelos para ese objeto que representan las diferentes posiciones/orientaciones es posible usar una técnica de clasificación bien definida conocida para definir una región de ese espacio que corresponde al objeto correspondiente.

El proceso recién descrito se realiza para cada uno de los objetos de la colección hasta que se hayan analizado todos (834). Los resultados definen las regiones del espacio del modelo que corresponden a la presencia detectada de uno correspondiente de los objetos extraños. Es el conjunto reducido de funciones base junto con la información de clasificación o agrupación que se almacena en el controlador de potencia del transmisor a ser usado durante la detección de objetos. Estos datos se almacenan en memoria en el sistema transmisor inalámbrico de potencia para su uso por el algoritmo de detección.

Con referencia a la Fig. 17, para realizar la detección de objetos, el controlador de potencia del transmisor aplica una señal de voltaje pseudoaleatoria (por ejemplo, GWN) a la bobina de transmisión (900) y mide y registra las formas de

onda de voltaje y corriente en la bobina (902). Entonces, usando identificación de sistemas no lineales como se ha descrito anteriormente, el controlador ajusta un modelo de sistema dinámico no lineal para la bobina (por ejemplo, impedancia) a los datos para las formas de onda registradas (904). A continuación, usando el conjunto reducido de funciones base identificadas durante la fase de entrenamiento, el controlador descompone las formas de onda obtenidas para el modelo no lineal en esas funciones base para obtener un vector que representa el conjunto de coeficientes para las funciones base (906).

Para un objeto extraño seleccionado representado en su base de datos (908), el controlador determina entonces los coeficientes de las funciones base que se determinaron durante el entrenamiento para ser particulares a ese objeto (910). Usando esos coeficientes, se determina entonces dónde cae ese vector en el espacio del modelo con respecto a la región que había sido determinada previamente a través de métodos de clasificación para representar el objeto extraño (912). Si se determina que el conjunto de coeficientes define un punto en el espacio del modelo que está dentro o lo suficientemente cerca de la región (por ejemplo, agrupación de tamaño del objeto), entonces se concluye que se ha detectado un objeto extraño cercano y el controlador establece una marca haciendo por ello que la carga termine y/o no tenga lugar (914).

Si se determina que el objeto no ha sido detectado, el controlador borra cualquier marca que pudiera haber sido establecida para interrumpir la carga y se mueve para probar el siguiente objeto en su base de datos (916). Este proceso se repite para cada objeto en la base de datos hasta que todos hayan sido probados (916).

Después de que se hayan ejecutado pruebas para todos los objetos en la base de datos, el controlador se ramifica de vuelta al principio, aplica otra señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión, y dirige una nueva búsqueda de la presencia de objetos extraños.

Un método alternativo más directo y computacionalmente más eficiente se muestra en las Fig. 18A y 18B. Emplea el planteamiento de Green tal como se describió en conexión con el algoritmo de sintonización automática representado en las Fig. 14A y 14B. Los detalles son como sigue.

Como se ha descrito anteriormente, el proceso comienza identificando y ensamblando una colección de objetos de una clase particular que uno desea detectar (1000). Además, para cada objeto en la colección, se definen todas las posiciones que han de ser probadas, como lo son la identidad y las posiciones de cualesquiera otros objetos que uno podría esperar encontrar en las proximidades de ese objeto. Un clasificador importante podría ser cualquier cosa como tejido biológico en las proximidades de la bobina de potencia. Otro clasificador podría ser la presencia de metal en el que las corrientes parásitas son inducidas y dan como resultado pérdidas de potencia. La realización de las Fig. 18A-B ilustra un proceso para detectar tejido biológico.

En general, para ensamblar un modelo no lineal para detectar tejidos biológicos, los diversos tipos y masas de tejido biológico se colocan en diferentes ubicaciones con respecto a la bobina de transmisión y se hacen mediciones. Más específicamente, para cada objeto y cada posición (1002), se realizan los siguientes pasos. Una señal de perturbación de voltaje pseudoaleatorio se aplica a la bobina de transmisión y, mientras se hace así, se mide y se registra la corriente resultante en la bobina de transmisión (1006). Además, se crea una señal de seguridad para ese objeto/posición que indica si el campo se considera que es peligroso o produce una condición insegura (1008). Esto se puede determinar empíricamente durante esta fase usando, por ejemplo, bobinas de captación calibradas. Si se experimenta que el objeto está en una zona de peligro (es decir, resultará que están en esa ubicación posibles efectos perjudiciales o condiciones inseguras), el valor de la señal de seguridad se ajusta a un valor constante (por ejemplo, -1). Mientras que si se experimenta que el objeto está en una zona segura (es decir, no resultará que están en esa ubicación efectos perjudiciales o condiciones inseguras), el valor de la señal de seguridad se ajusta a un valor constante diferente (por ejemplo +1). Esta secuencia de pasos se repite hasta que se ha completado para todos los objetos en todas las posiciones definidas (1010).

Después de que se hayan recogido todos los datos, todas las señales de corriente registradas se concatenan juntas para crear una señal de entrada (1012) a ser usada para propósitos de identificación del sistema y todas las señales de seguridad se concatenan juntas de una manera similar para crear una señal de salida correspondiente (1014). Entonces, se usa identificación de sistemas no lineales para derivar un modelo no lineal para un sistema caracterizado por esas señales de entrada y salida. El modelo no lineal resultante se usa por el controlador del transmisor de potencia como un filtro no lineal que emite una señal que indica si está presente un objeto extraño.

La operación del controlador del transmisor de potencia se muestra en la Fig. 18B. Posteriormente, en el entorno desconocido, el controlador del transmisor de potencia inicia una búsqueda de objetos extraños (1018). Esto implica aplicar una señal de voltaje pseudoaleatoria a la bobina de transmisión (la misma que se usó para construir la base de datos de información acerca de objetos extraños), y medir y registrar la forma de onda de corriente (1020). La forma de onda de corriente registrada se procesa por el sistema no lineal derivado previamente (1022). Una salida que tiene un valor positivo indica la posible presencia de un objeto extraño (por ejemplo, tejido vivo) y el controlador de potencia genera una señal de interrupción que hace que se interrumpa la alimentación a la bobina de transmisión (1024). Y el controlador repite el bucle de búsqueda para determinar cuándo ya no está presente el objeto extraño.

Si el filtro no lineal emite un valor negativo, indicando que no se encontró ningún objeto extraño, se borra cualquier señal de interrupción establecida previamente y se repite el bucle de búsqueda.

5 Los dos ejemplos específicos de señales pseudoaleatorias mencionados anteriormente fueron Ruido Blanco Gaussiano (GWN) y Secuencias Binarias Pseudoaleatorias (PRBS). Eso, no obstante, no pretende ser limitativo. La referencia a pseudoaleatoria también pretende incluir, por ejemplo, señales de tipo ruido en las que la potencia se puede concentrar para excitar ciertos modos en el sistema objetivo. Además, se pretende cubrir cualquier señal que se pueda usar para derivar una respuesta al impulso o una función de transferencia para el sistema estimulado.

10 Otras realizaciones están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. Por ejemplo, hay una serie de "espacios" usados para representar los sistemas dinámicos lineales paramétricamente: métodos de estado-espacio; funciones de transferencia; funciones de frecuencia; ecuaciones de diferencia en forma de modelos ARX, ARMA, ARMAX; polinomios de dominio Z; y métodos en el dominio de tiempo en los que la respuesta al impulso se representa como una función paramétrica del tiempo. Hay métodos para correlacionar representaciones entre un espacio y otro espacio, tales como funciones de transferencia para representación de estado-espacio. En las realizaciones descritas anteriormente, se mencionaron explícitamente representaciones en el dominio de tiempo y en el dominio de frecuencia. No obstante, eso no pretendía ser limitante. El uso de cualquiera de las representaciones alternativas se pretende que caiga dentro del alcance de la invención.

20 En las realizaciones descritas anteriormente, las representaciones de sistemas dinámicos que fueron modeladas fueron la impedancia de la bobina de transmisión y la corriente de la bobina de transmisión. Uno podría, por supuesto, modelar otras representaciones de sistemas dinámicos incluyendo, por ejemplo, la potencia transferida, la pérdida de potencia y la eficiencia energética. Para algunas representaciones, sería necesario obtener información del receptor a través de otro canal. Por ejemplo, la pérdida de potencia o la eficiencia energética requieren ser capaz de monitorizar la potencia que se suministra al módulo de batería; y de esta manera requeriría depender del sistema receptor para suministrar esa información.

25 Aunque las realizaciones descritas anteriormente hacen referencia específica a una plataforma de vehículo, no se pretende que el uso de las invenciones descritas en la presente memoria se limite solamente a esa plataforma. Las invenciones descritas en la presente memoria tienen aplicabilidad a cualquier sistema de transferencia inalámbrica de potencia en el que un transmisor inalámbrico de potencia y un sistema receptor se podrían poner en proximidad uno de otro con el propósito de transferir potencia de un sistema al otro.

30 En el caso de los algoritmos de detección, se indicó que la bobina de transmisión se usó para detectar la presencia de una bobina receptora o un objeto extraño. Ese no necesita ser el caso. En su lugar, uno podría usar una bobina adicional, separada para usar por la función de detección.

35 Se debería señalar además que los algoritmos presentados en la presente memoria no necesitan ser ejecutados solamente en un único procesador, como podría parecer que se ha implicado. Se podrían usar múltiples procesadores con las tareas divididas entre ellos de una forma adecuada. Por ejemplo, en el caso del algoritmo representado en la Fig. 9, se podría considerar adecuado realizar toda la recogida de datos en un procesador y realizar la identificación de sistemas no lineales en otro procesador.

REIVINDICACIONES

1. Un método de detección de si una bobina receptora (L2) está cerca de una bobina de transmisión (L1) en un sistema de transferencia inalámbrica de potencia (WPTS), dicho método que está caracterizado por:
aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión;
5 mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada;
usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y
usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con datos de entrenamiento almacenados para
10 determinar si un objeto que tiene características que distinguen el objeto como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión.
2. El método de la reivindicación 1, que además comprende, si se determina que la bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión, iniciar una transferencia inalámbrica de potencia a través de la bobina de transmisión a la bobina receptora.
3. El método de la reivindicación 1, en donde la señal pseudoaleatoria es una señal de voltaje pseudoaleatoria.
- 15 4. El método de la reivindicación 1, en donde la señal pseudoaleatoria es suficientemente fuerte para estimular las no linealidades en un sistema receptor conectado a la bobina receptora.
5. El método de la reivindicación 3, en donde una o más señales incluyen una señal de corriente de la bobina de transmisión.
6. El método de la reivindicación 3, en donde una o más señales incluyen una señal de corriente y una señal de
20 voltaje de la bobina de transmisión.
7. El método de la reivindicación 1, en donde usar el modelo de sistema dinámico generado comprende comparar información contenida en el modelo de sistema dinámico generado con información almacenada, derivada empíricamente, que es indicativa de una presencia cercana de una bobina receptora.
8. El método de la reivindicación 1, en donde generar el modelo de sistema dinámico comprende usar una
25 identificación de sistema para ajustar un modelo seleccionado con datos derivados a partir de una o más señales registradas.
9. El método de la reivindicación 1, en donde generar el modelo de sistema dinámico comprende usar una identificación de sistemas no lineales para ajustar un modelo seleccionado con datos derivados a partir de una o más señales registradas.
- 30 10. El método de la reivindicación 9, en donde el modelo seleccionado es un sistema de Wiener, o un sistema de Hammerstein, o una cascada paralela de bloques de estructuras, o una serie de Volterra, o un modelo lineal paramétrico.
11. El método de la reivindicación 9, en donde el modelo seleccionado tiene una parte lineal dinámica y una parte no lineal estática.
- 35 12. El método de la reivindicación 5, en donde el modelo de sistema dinámico es una función de impedancia para la bobina de transmisión.
13. El método de la reivindicación 6, en donde el modelo de sistema dinámico es una función de potencia transmitida para la bobina de transmisión.
14. El método de la reivindicación 1, en donde usar el modelo de sistema dinámico generado comprende
40 descomponer el modelo de sistema dinámico en funciones base para generar un conjunto de parámetros de función base.
15. El método de la reivindicación 14, en donde usar el modelo de sistema dinámico generado además comprende usar el conjunto de parámetros de función base para determinar si una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión.
- 45 16. El método de la reivindicación 1, en donde la señal pseudoaleatoria es una seleccionada de una señal de Ruido Blanco Gaussiano y una Secuencia Binaria Pseudoaleatoria (PRBS).
17. El método de la reivindicación 9, en donde el modelo de sistema dinámico generado comprende una representación en el dominio de tiempo, o en donde el modelo de sistema dinámico generado comprende una representación en el dominio de frecuencia.

18. El método de la reivindicación 1, en donde los datos de entrenamiento almacenados se representan por una función de filtro almacenada y en donde usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con los datos de entrenamiento almacenados comprende procesar el modelo de sistema dinámico generado para generar una señal de salida, en donde la señal de salida indica si un objeto que tiene características reconocibles a partir de los datos de entrenamiento almacenados como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión y en donde procesar el modelo de sistema dinámico comprende aplicar la función de filtro almacenada.
19. El método de la reivindicación 18, en donde una o más señales incluyen una señal de corriente de la bobina de transmisión.
20. El método de la reivindicación 18, en donde el modelo de sistema dinámico generado es la señal de corriente medida.
21. El método de la reivindicación 18, en donde la función de filtro es una función de filtro no lineal.
22. El método de la reivindicación 21, en donde la función de filtro no lineal se derivó a partir de las mediciones hechas en un sistema de prueba incluyendo una bobina de transmisión de prueba y una bobina receptora de prueba situadas a diferentes distancias de separación una de otra.
23. El método de la reivindicación 18, que además comprende, si se detecta una bobina receptora cerca de la bobina de transmisión, iniciar una transferencia inalámbrica de potencia a través de la bobina de transmisión a la bobina receptora detectada.
24. Un sistema de transferencia inalámbrica de potencia que comprende:
- una bobina de transmisión (L1);
 - un circuito transmisor de potencia conectado a la bobina de transmisión;
 - un circuito detector conectado a la bobina de transmisión; y
 - un controlador para controlar el circuito transmisor de potencia y el circuito detector, en donde dicho controlador incluye una memoria para almacenar los datos de entrenamiento y un sistema procesador programado para:
 - hacer al circuito transmisor de potencia aplicar una señal pseudoaleatoria a la bobina de transmisión;
 - mientras que la señal pseudoaleatoria está siendo aplicada a la bobina de transmisión, hacer al circuito detector registrar una o más señales producidas dentro del WPTS en respuesta a la señal pseudoaleatoria aplicada;
 - usando una o más señales registradas, generar un modelo de sistema dinámico para algún aspecto del WPTS; y
 - usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con los datos de entrenamiento almacenados para determinar si un objeto que tiene características que distinguen el objeto como una bobina receptora (L2) está cerca de la bobina de transmisión.
25. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia de la reivindicación 24, en donde una o más señales incluyen una señal de corriente y una señal de voltaje de la bobina de transmisión.
26. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia de la reivindicación 24, en donde los datos de entrenamiento almacenados se representan por una función de filtro almacenada y en donde el sistema procesador (24) está programado para usar el modelo de sistema dinámico generado en combinación con los datos de entrenamiento almacenados procesando el modelo de sistema dinámico generado con la función de filtro para generar una señal de salida, en donde la señal de salida indica si un objeto que tiene características reconocibles a partir de los datos de entrenamiento almacenados como una bobina receptora está cerca de la bobina de transmisión.
27. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia de la reivindicación 26, en donde una o más señales registradas incluyen una señal de corriente de la bobina de transmisión.
28. El sistema de transferencia inalámbrica de potencia de la reivindicación 26 en donde el modelo de sistema dinámico generado es la señal de corriente medida.

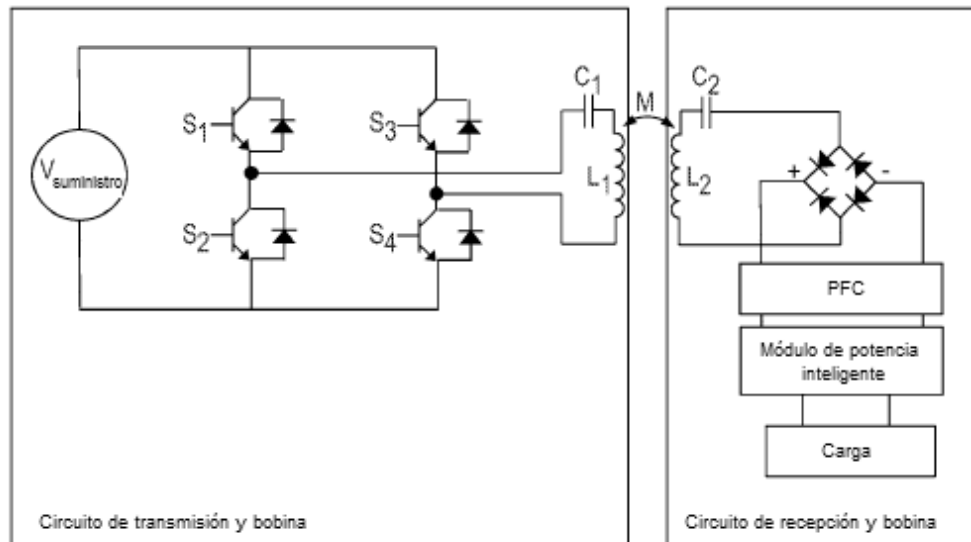


FIG. 1

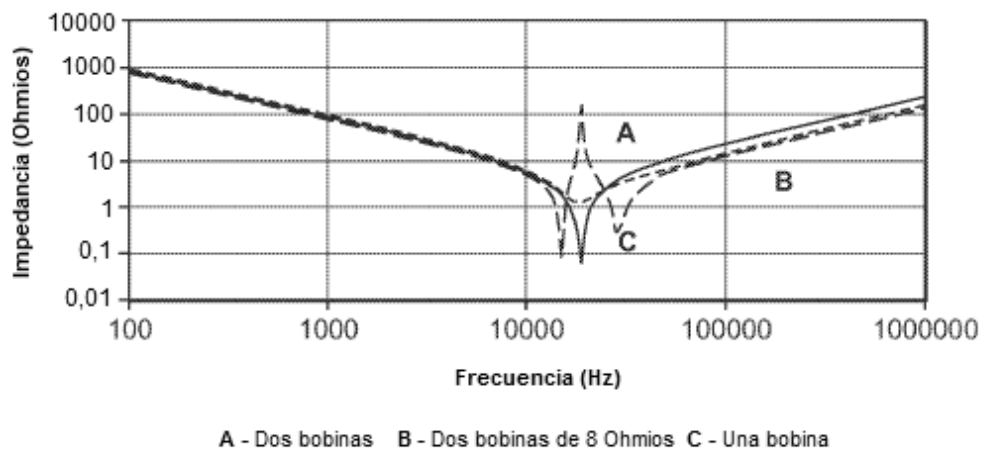


FIG. 2

Espectro de Impedancia de Bobina Transmisora

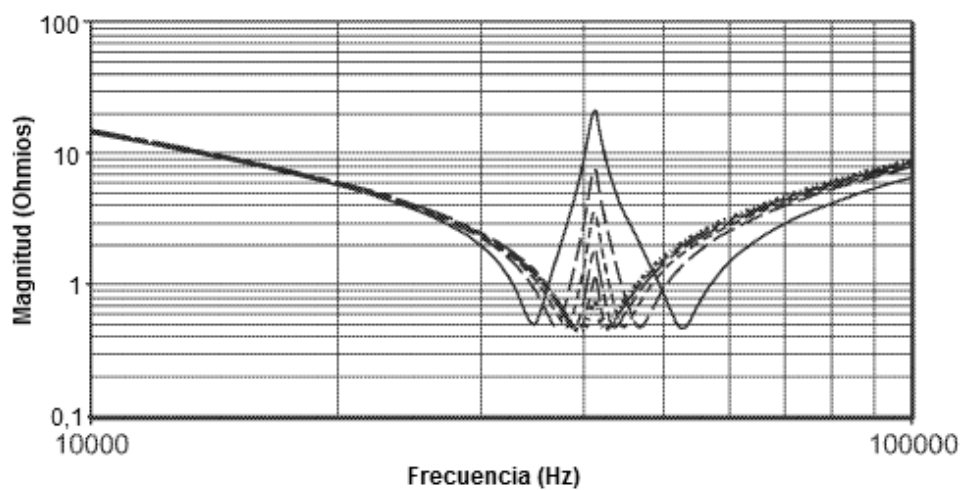


FIG. 3

Espectro de Potencia de Bobina Transmisora

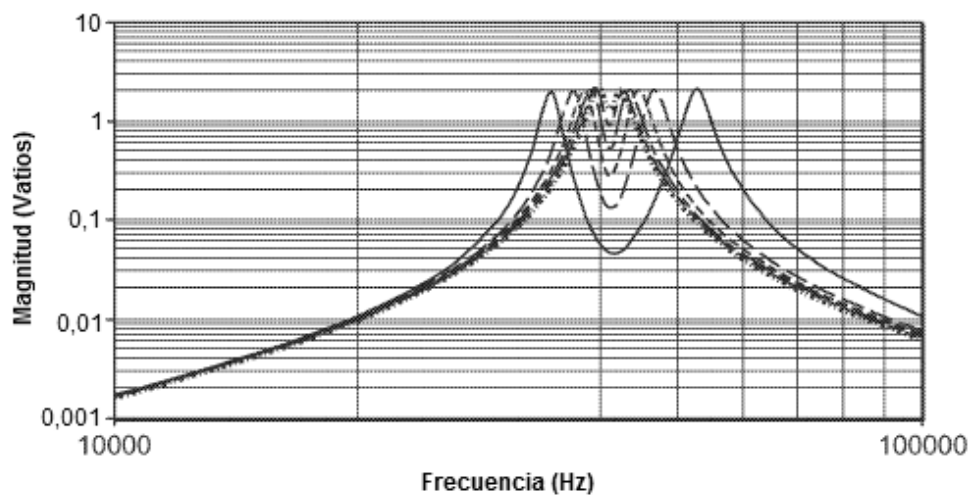


FIG. 4

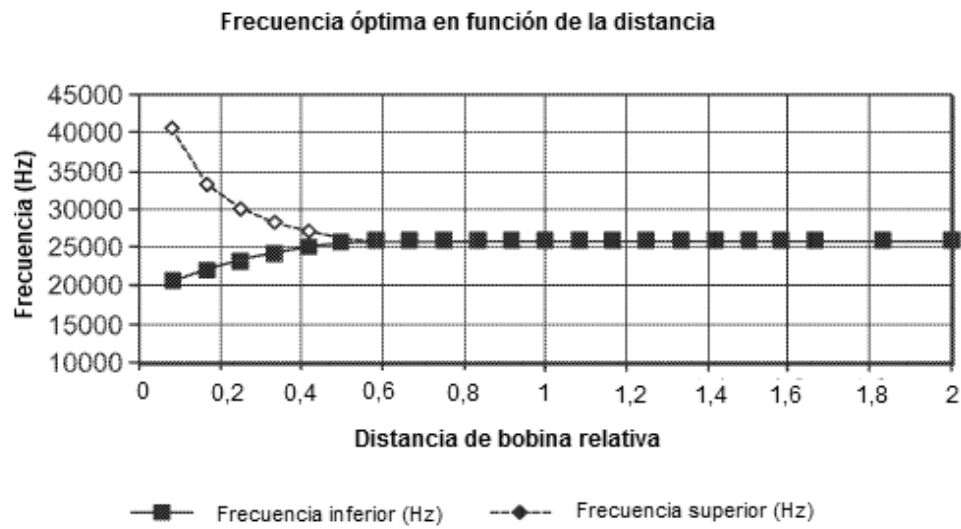


FIG. 5



FIG. 6

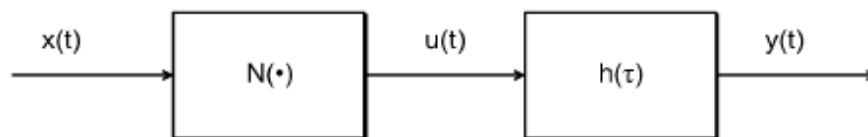


FIG. 7

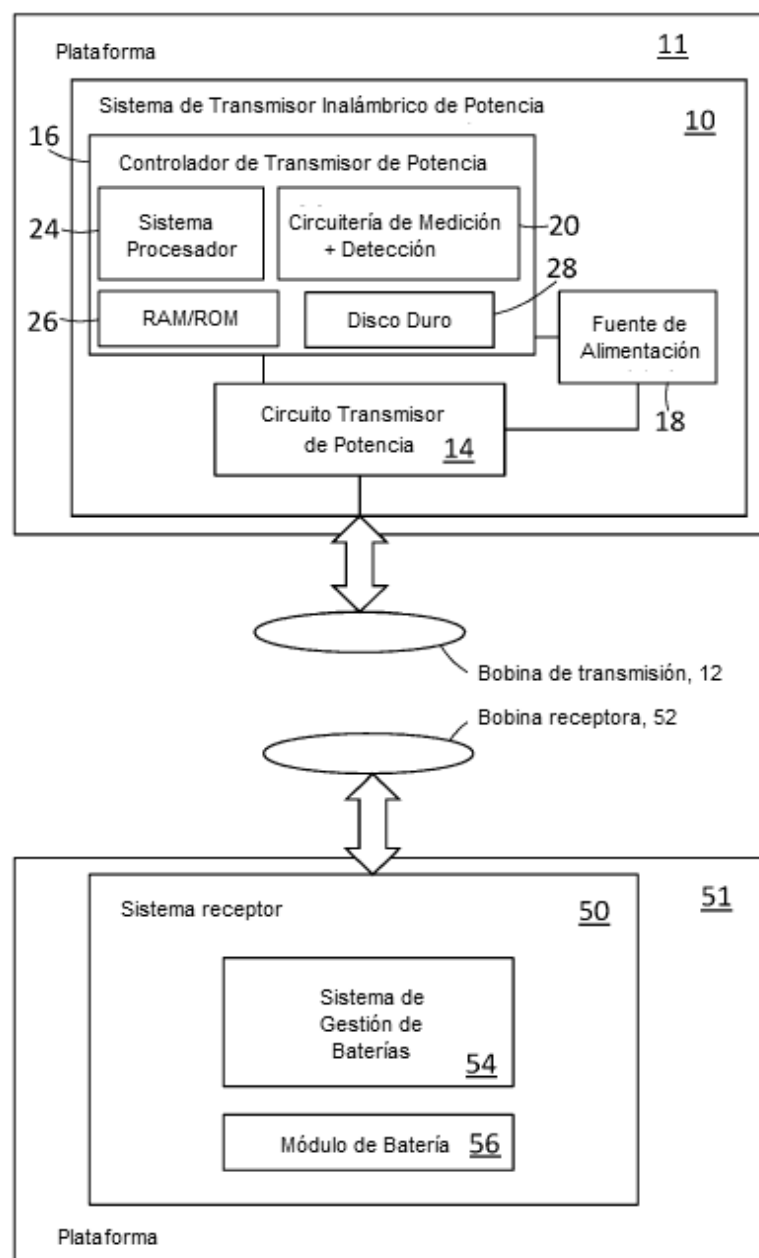


FIG. 8

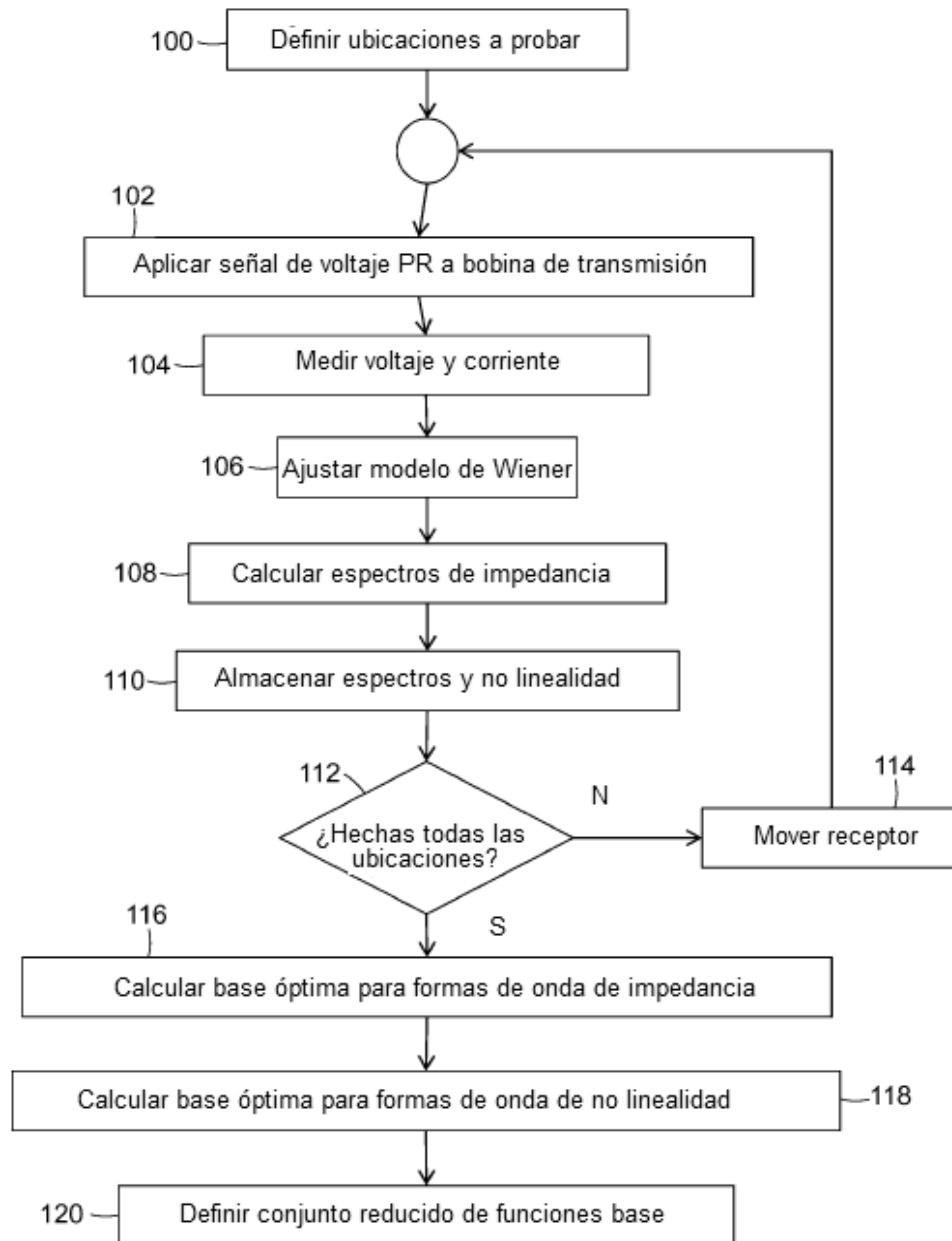


FIG. 9

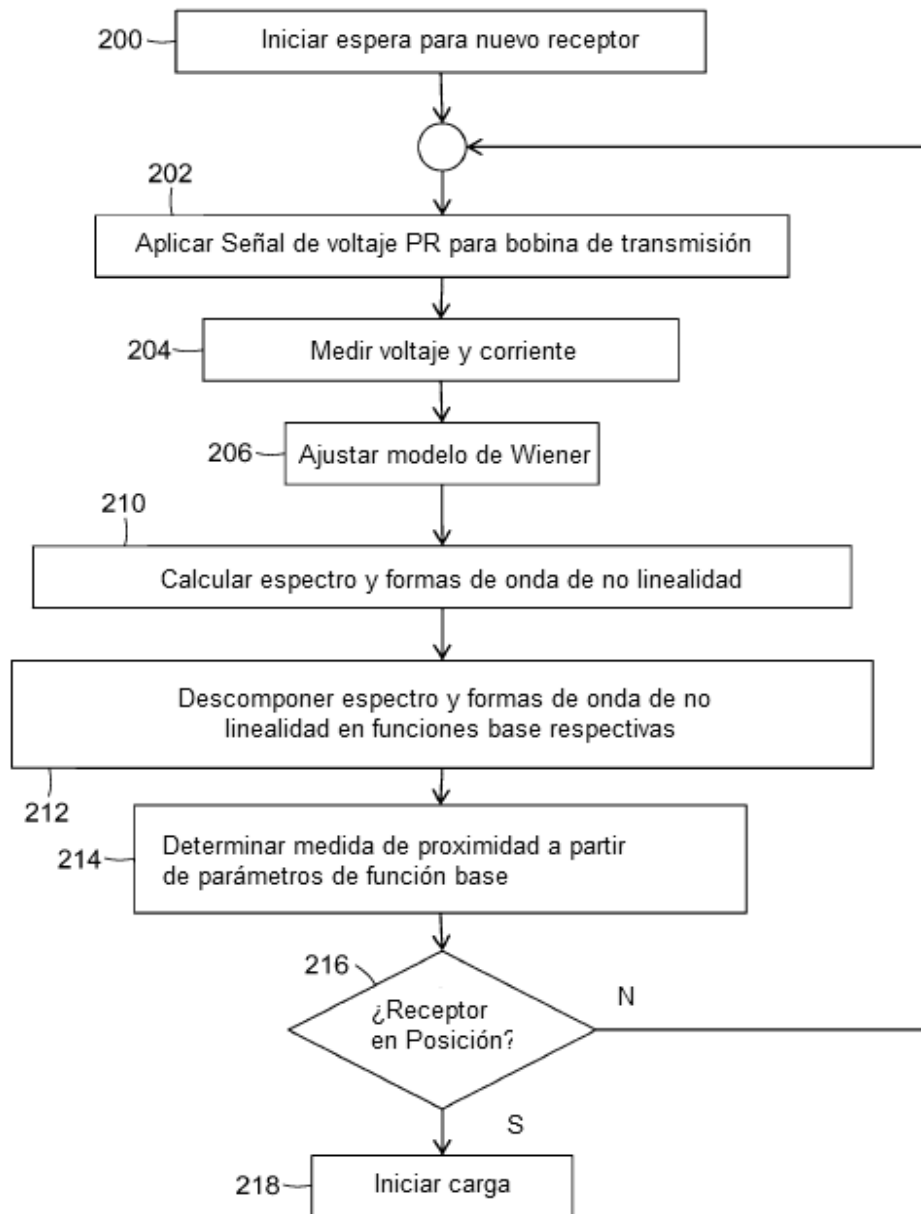


FIG. 10

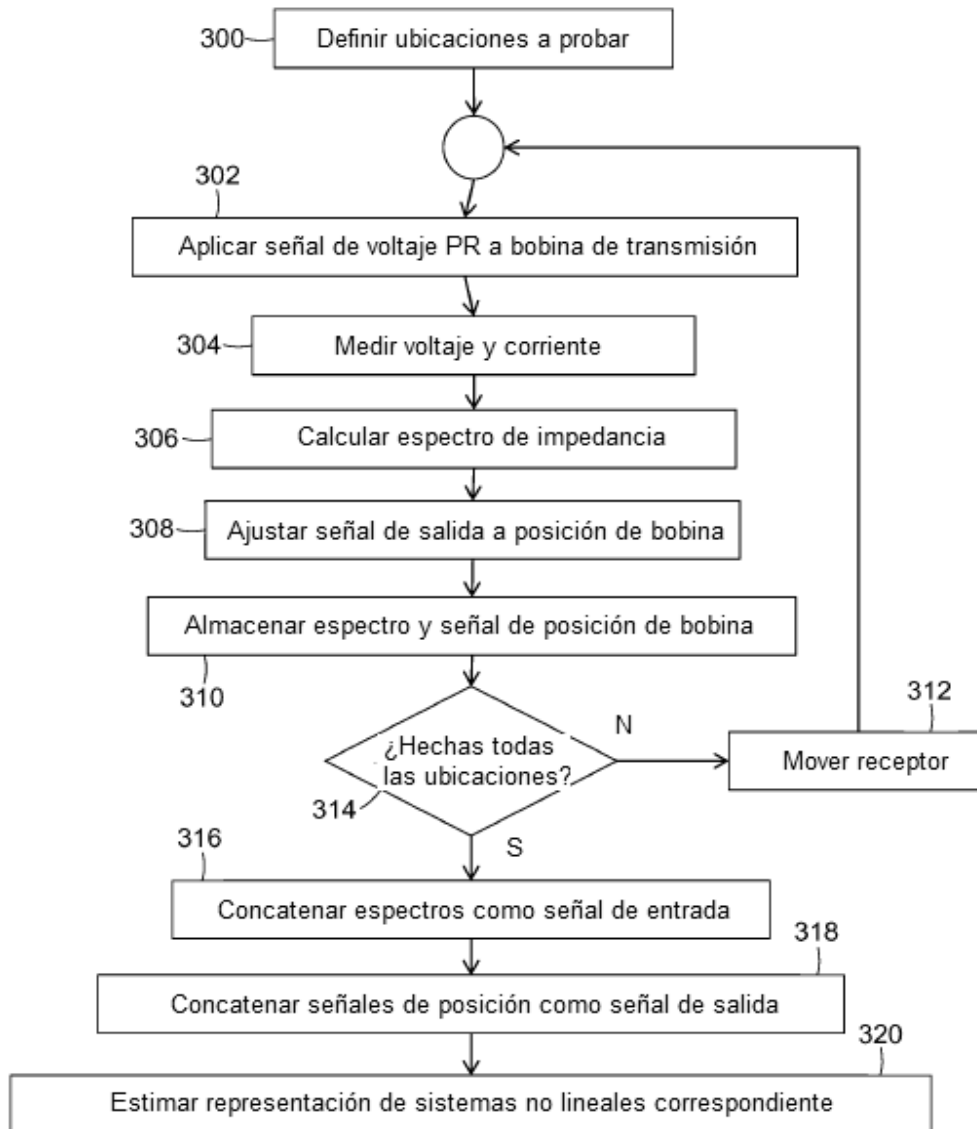


FIG. 11

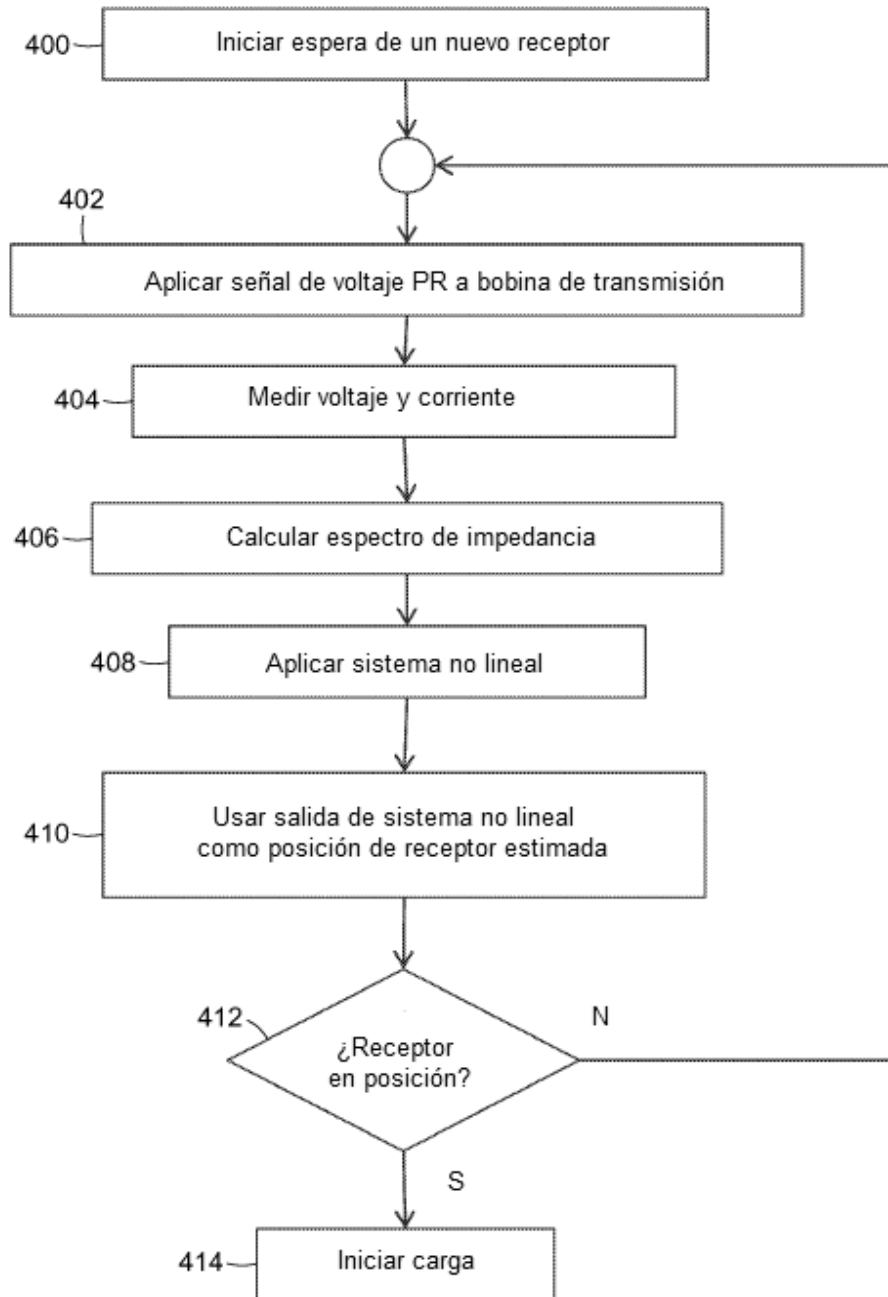


FIG. 12

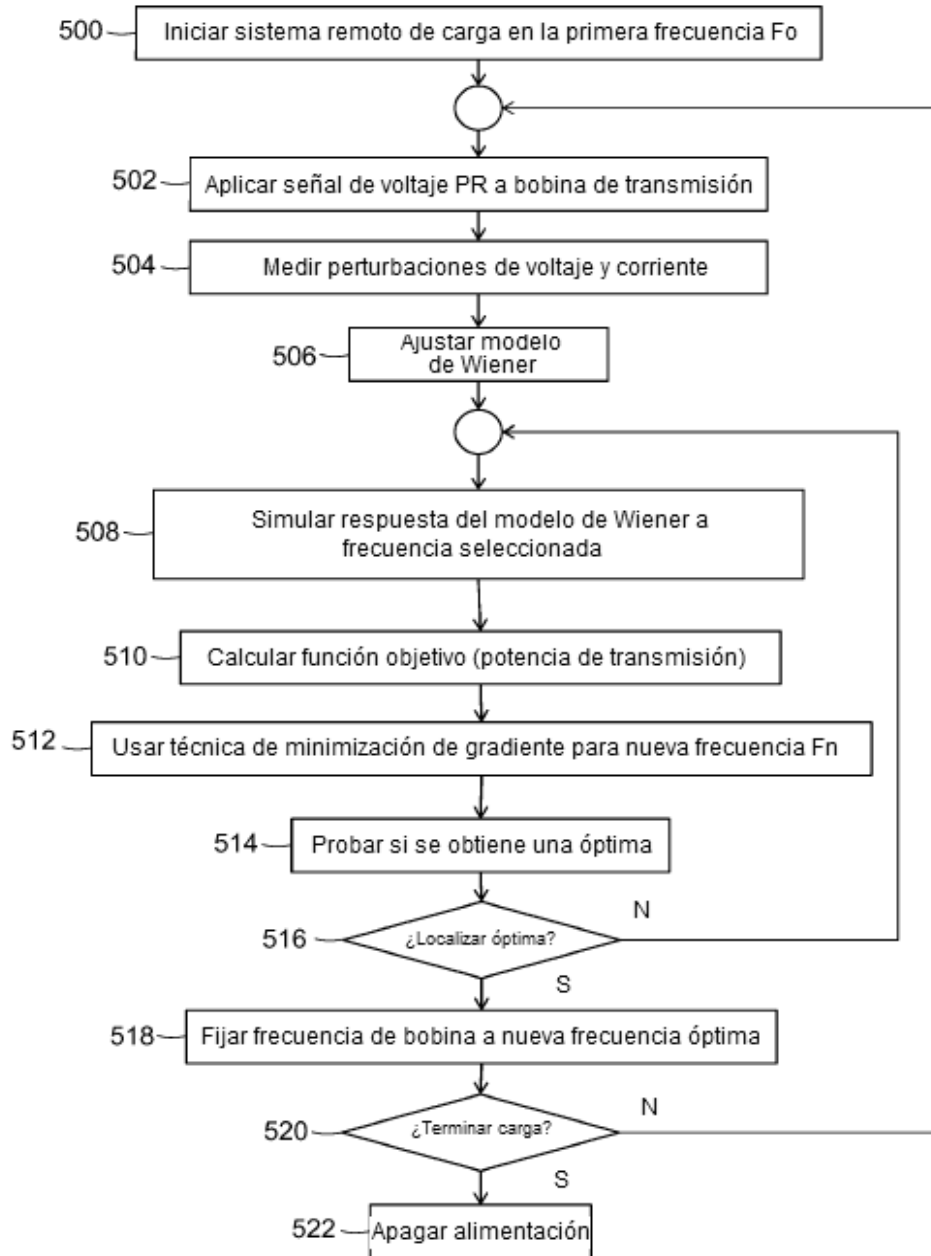


FIG. 13

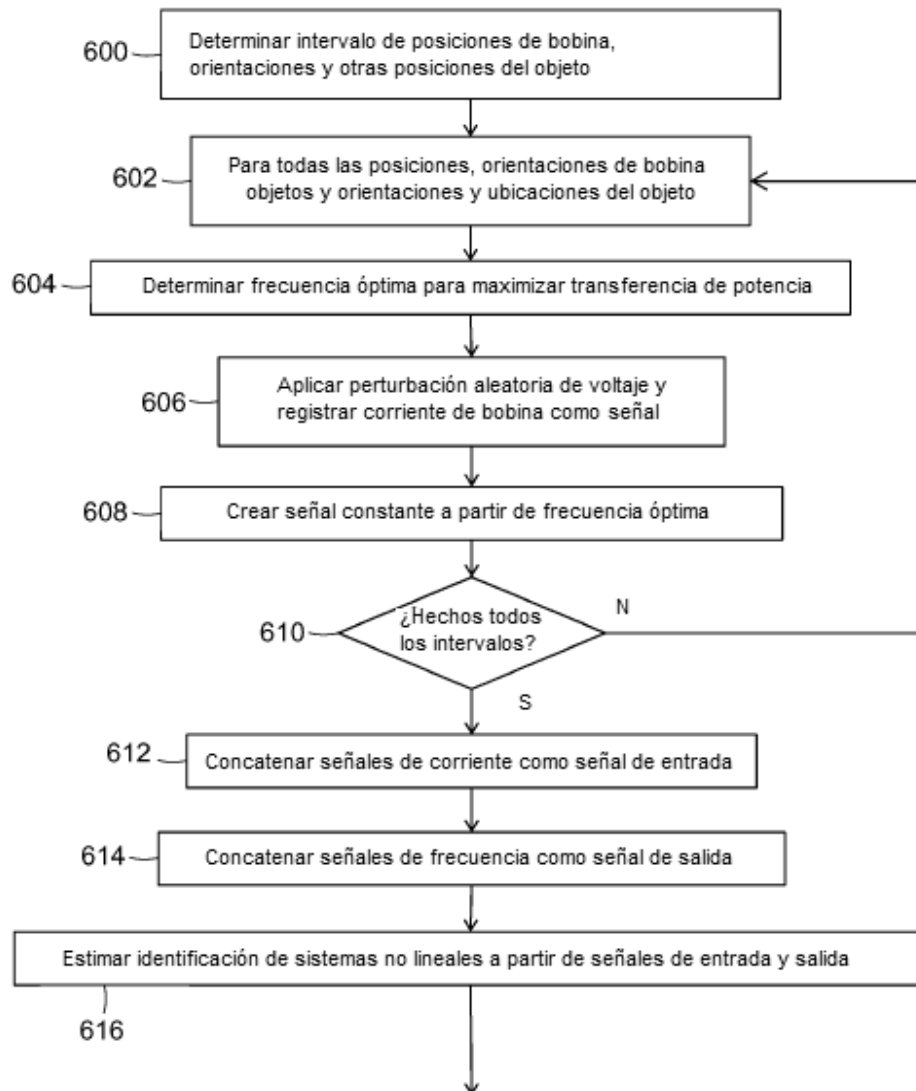


FIG. 14A

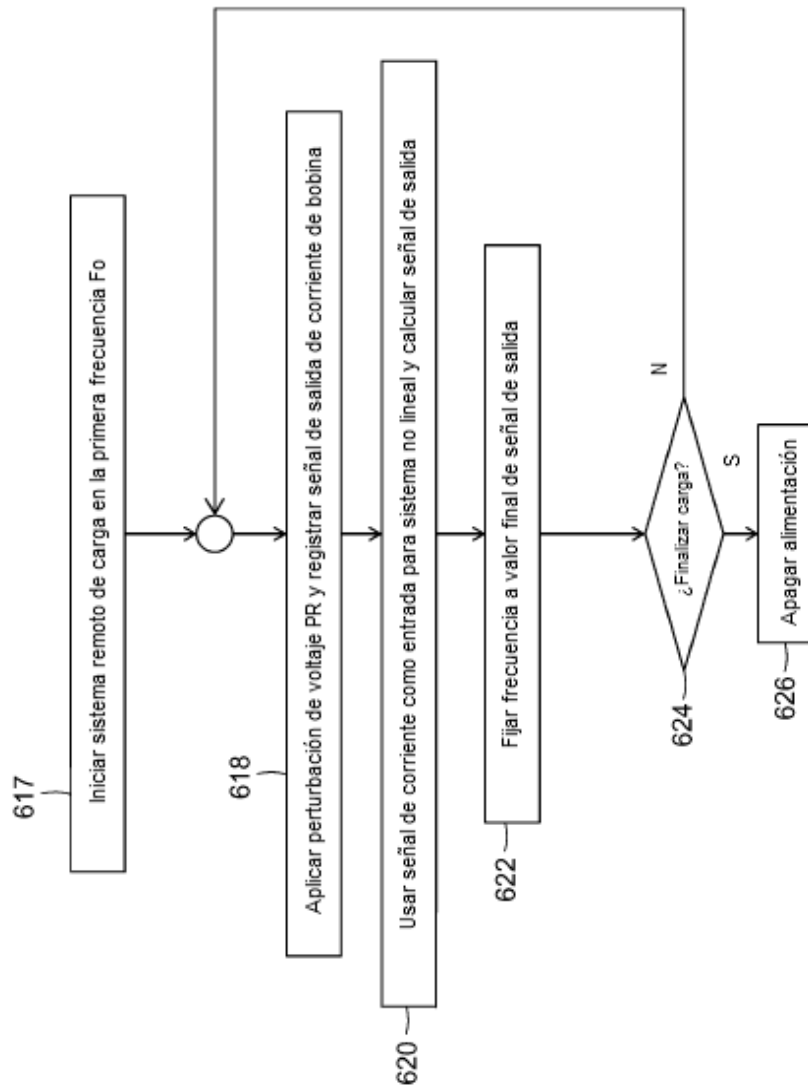


FIG. 14B

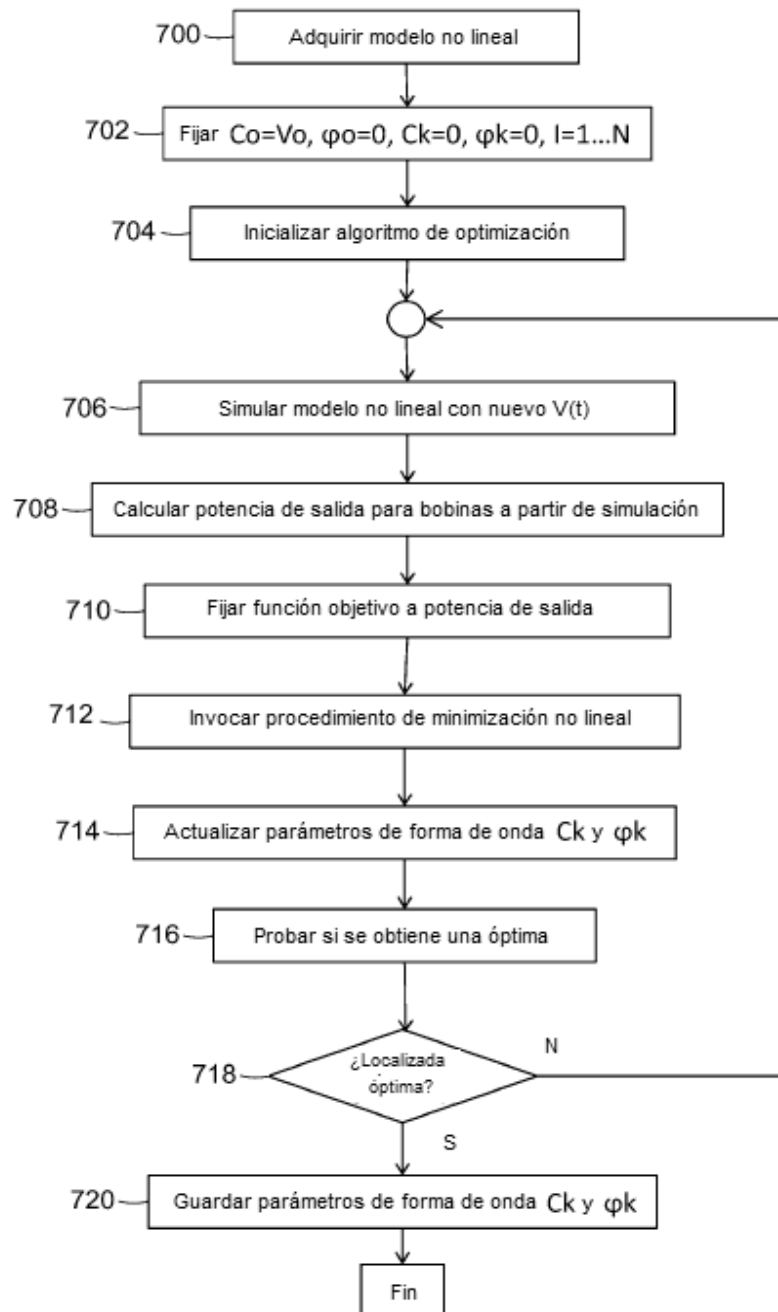


FIG. 15

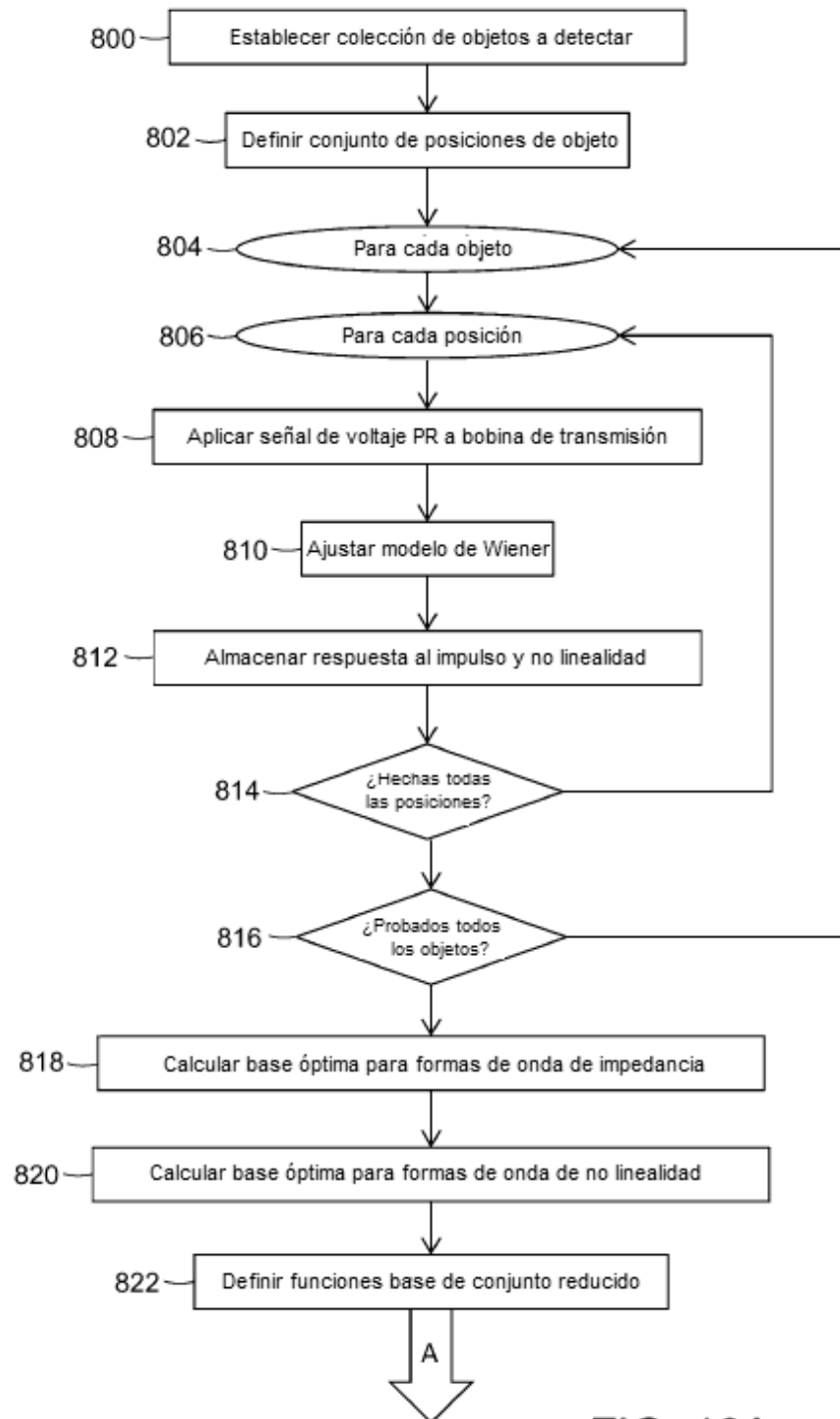


FIG. 16A

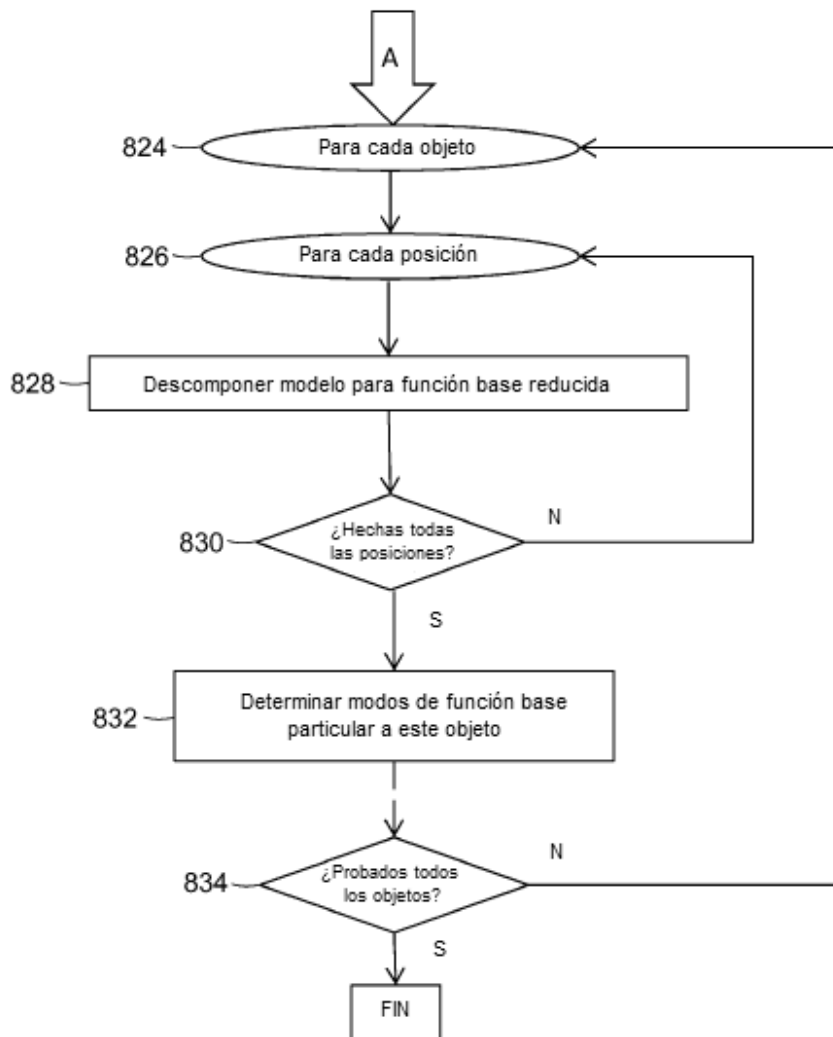


FIG. 16B

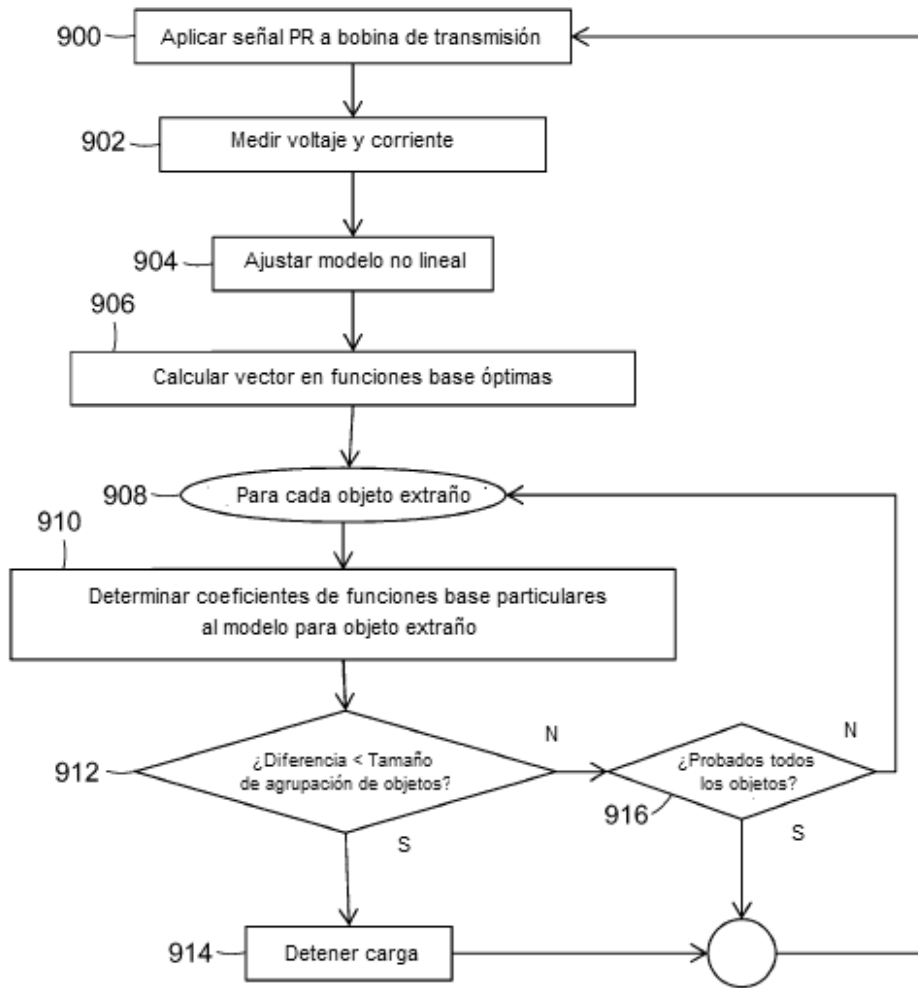


FIG. 17

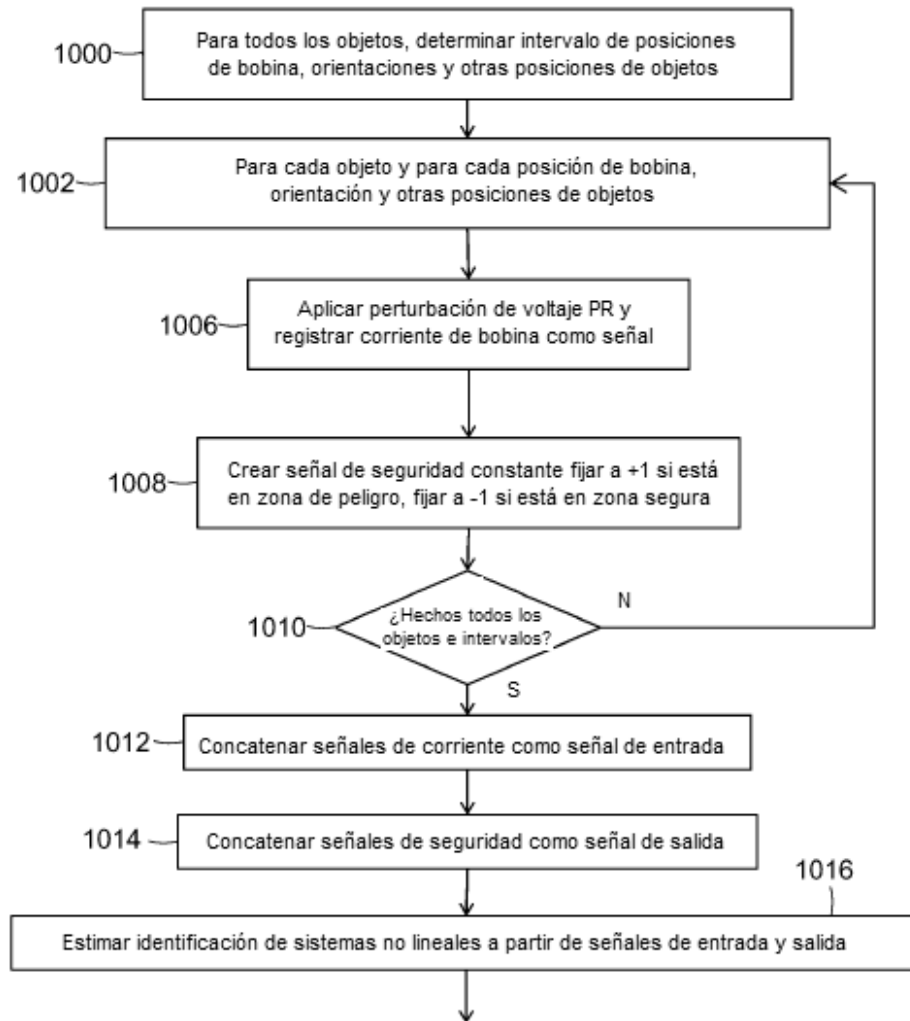


FIG. 18A

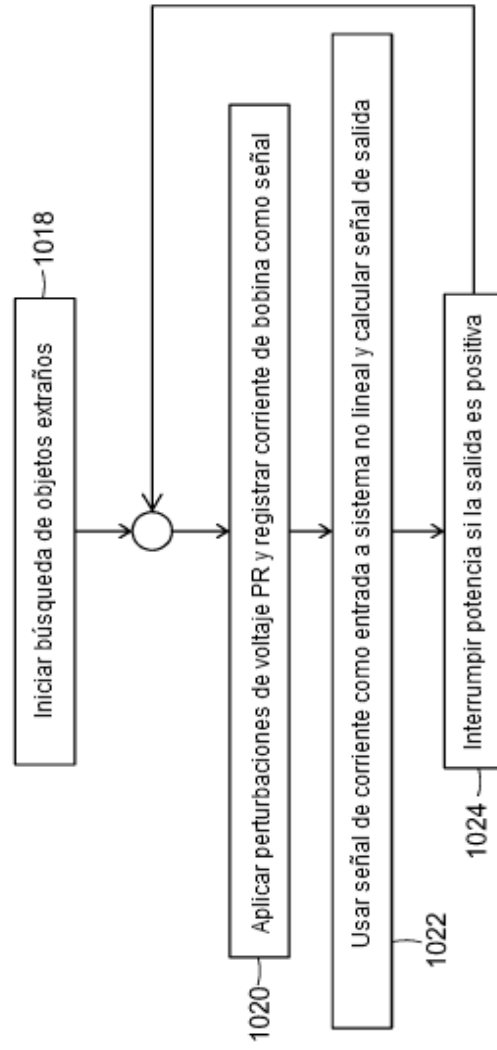


FIG. 18B