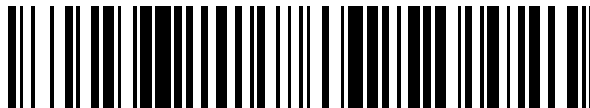


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 911 334**

51 Int. Cl.:

**G01R 27/26** (2006.01)

**G01R 31/58** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2015 PCT/US2015/053185**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2016 WO16054184**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2015 E 15846076 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.01.2022 EP 3201636**

54 Título: **Sistema de diagnóstico de cable eléctrico**

30 Prioridad:

**03.10.2014 US 201414505857**

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

**18.05.2022**

73 Titular/es:

**INSTRUMENT MANUFACTURING COMPANY  
(100.0%)  
50 Utopia Road  
Manchester, CT 06042, US**

72 Inventor/es:

**SZATKOWSKI, ANDRZEJ PAWEL y  
MASHIKIAN, MATTHEW S.**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 911 334 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de diagnóstico de cable eléctrico

**Campo técnico**

5 Las realizaciones ejemplares de la presente descripción están dirigidas a sistemas y métodos para realizar pruebas de diagnóstico de cables de energía y, más particularmente, a sistemas y métodos que incluyen un equipo de prueba resonante que tiene una inductancia y frecuencia de salida ajustables.

**Antecedentes**

10 Los equipos de energía eléctrica instalados a menudo se someten a pruebas de diagnóstico, tales como pruebas de descarga parcial, que requieren un alto voltaje alterno a la frecuencia de potencia. Aunque la frecuencia de potencia a veces se define como cualquier frecuencia en el rango de 20 Hz a 300 Hz, en realidad, la mayoría, si no todos los equipos eléctricos terrestres operan o bien a 50 Hz o bien a 60 Hz. Una prueba de diagnóstico realizada a un voltaje que tenga una amplitud constante y una frecuencia en el rango de 50 Hz a 60 Hz es, por lo tanto, lo más deseable, en la medida que duplica las condiciones de operación diarias del equipo instalado. De este modo, las pruebas de voltaje alterno estándar realizadas en la fábrica por los fabricantes de equipos usan fuentes de frecuencia de potencia que tienen un voltaje alterno constante a 50 Hz o 60 Hz.

15 Las fuentes de voltaje de frecuencia de potencia convencionales usadas en fábricas para pruebas de alto voltaje consisten en transformadores relativamente pesados y voluminosos que no son prácticos para el transporte al campo donde el equipo instalado necesita ser probado. Afortunadamente, cuando el equipo eléctrico instalado a ser probado se puede considerar como un condensador eléctrico, como es claramente el caso de un cable de potencia, es posible usar un equipo de prueba resonante para generar el voltaje de prueba deseado. Si bien los equipos de prueba convencionales a menudo son significativamente más pequeños y ligeros que las fuentes de voltaje de frecuencia de potencia de la misma clasificación usados en una fábrica, estos equipos de prueba convencionales siguen siendo generalmente pesados y voluminosos y, a menudo, requieren un camión pesado para su transporte al campo. Como resultado, los equipos de prueba convencionales pueden ser costosos de transportar (debido, por ejemplo, al consumo de combustible y las regulaciones gubernamentales). Además, a menudo es el caso de que el voltaje de la fuente de estos equipos de prueba convencionales se genera directamente desde el motor de los camiones, añadiendo un desgaste adicional al motor, dando como resultado mayores costes de mantenimiento para los camiones. Los voltajes de prueba generados usando esta configuración también pueden ser inestables debido a cambios en la operación del motor y una respuesta del motor a la carga adicional de los equipos de prueba y los cables bajo prueba.

20 En principio, un equipo de prueba resonante consta de una fuente de voltaje alterno relativamente pequeña (con un voltaje y potencia nominal del orden de 1/25 a 1/50 del voltaje y potencia nominal del equipo de prueba) conectada en serie con un inductor (reactor) y el cable eléctrico a ser probado. Si  $L$  es la inductancia del reactor,  $C$  la capacitancia del cable y  $f$  la frecuencia de la fuente de voltaje, se dice que se ha alcanzado la resonancia cuando  $2\pi fL = 1/(2\pi fC)$ . Bajo condiciones de resonancia, el voltaje a través del cable de prueba llega a ser un múltiplo grande,  $Q$ , del de la fuente de voltaje alterno. El múltiplo  $Q$ , también llamado calidad del circuito, normalmente está en el rango de 25-75. De este modo, comenzando con una magnitud de voltaje modesta de 1 kV, es posible generar aproximadamente 25 a aproximadamente 75 kV. A medida que aumenta la longitud del cable de prueba, la capacitancia del cable aumenta proporcionalmente. Con el fin de lograr la resonancia, la inductancia  $L$  y/o la frecuencia  $f$  tienen que ser disminuidas en consecuencia.

25 En general, hay dos tipos convencionales de equipos de prueba resonantes: (a) equipos con frecuencia constante pero inductancia variable; y (b) equipos con inductancia constante pero frecuencia variable. Un ejemplo de un equipo de prueba resonante convencional con una frecuencia constante pero inductancia variable puede incluir un reactor de inductancia variable que tiene un devanado de alto voltaje, algunas veces dividido en dos bobinas construidas alrededor de una o dos ramas de un núcleo magnético dividido formado por dos trayectorias magnéticas en forma de U una frente a la otra a través de entrehierros abiertos. Mientras que uno de estos núcleos en forma de U es estacionario, el otro está conectado a actuadores mecánicos que permiten que el hueco se abra o se cierre. El conjunto completo, incluyendo los actuadores mecánicos y los núcleos opuestos en forma de U, a menudo se aloja en un tanque de metal relativamente grande, normalmente lleno de aceite aislante. Las fuerzas de origen electromagnético en las caras del núcleo a través de los entrehierros tienden a dictar diseños mecánicos y estructurales que dan como resultado conjuntos de núcleo pesados. Cuando se prueban objetos de pequeña capacitancia, tales como cables cortos, no se puede lograr la resonancia mientras que se usan estos equipos de prueba de manera convencional y, a menudo, tienen que ser incorporados esquemas complejos en el equipo de prueba para trabajar alrededor de esta limitación. En uno de los esquemas, el reactor está conectado en paralelo con el cable bajo prueba, mientras que se permite que el equipo de prueba funcione como un autotransformador. Además, con cables que tienen capacitancias grandes, el entrehierro de los reactores usados en equipos de prueba convencionales se ve forzado a asumir valores grandes (por ejemplo, del orden de 15 cm o más). Esto, a su vez, requiere que dichos equipos de prueba convencionales sean mucho más grandes (y más pesados) de lo deseado para las pruebas de campo.

Un ejemplo de un equipo de prueba resonante convencional con una frecuencia variable, pero con una inductancia de reactor fija, a menudo incluye una fuente de voltaje de frecuencia variable. Con el fin de lograr la resonancia con cables que se extienden desde unos pocos cientos de metros hasta varios kilómetros, como los que se encuentran en las instalaciones de cables comerciales, a menudo es necesario operar estos equipos de prueba convencionales dentro de un rango relativamente amplio de frecuencias, tal como de 20 Hz a más de 300 Hz, dando como resultado una operación indeseablemente apartada de la operación normal a 50 o 60 Hz.

El documento de Hauschild W., titulado "Frequency-tuned resonant test system for HV on-site testing of XLPE cables and SF6 insulated apparatus", Propiedades y aplicaciones de materiales dieléctricos, Actas de la 5ª conferencia internacional en Seúl, Corea del Sur, vol. 2, 25 de mayo de 1997, págs. 1151-1158, describe el principio, las características, el diseño y la aplicación de circuitos sintonizados en frecuencia para pruebas in situ. No obstante, los problemas mencionados anteriormente permanecen sin resolver.

### Compendio

Según la presente invención, para superar los problemas asociados con los equipos de prueba resonantes convencionales, se proporcionan un sistema de prueba resonante para pruebas de diagnóstico de cables eléctricos y un método de realización de pruebas de diagnóstico de cables eléctricos usando el sistema de prueba resonante, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Las realizaciones ejemplares de la presente descripción proporcionan ventajosamente sistemas de prueba resonantes híbridos que pueden ser operables para controlar de manera ajustable tanto una inductancia del sistema de prueba resonante como una frecuencia de salida del sistema de prueba resonante para realizar ventajosamente pruebas de diagnóstico de cables de energía eléctrica en un amplio rango de longitudes y capacitancias. Las realizaciones ejemplares de los sistemas de prueba resonantes pueden incluir un equipo de prueba resonante que logra la prueba de diagnóstico de los cables de energía eléctrica en un amplio rango de longitudes y capacitancias, al tiempo que se mejora la estabilidad del equipo de prueba resonante y se reduce el tamaño y el peso asociados con las realizaciones ejemplares de los equipos de prueba resonantes en comparación con los equipos de prueba resonantes convencionales. La reducción de tamaño y peso de los equipos de prueba resonantes de las realizaciones ejemplares de la presente descripción permiten ventajosamente que el equipo de prueba resonante se instale en vehículos más pequeños y más eficientes que los equipos de prueba resonantes convencionales, permitiendo costes operativos reducidos.

De acuerdo con las realizaciones de la presente descripción, se describen un método de realización de pruebas de diagnóstico de cables eléctricos usando un equipo de prueba resonante y un medio legible por ordenador no transitorio que almacena instrucciones, en donde la ejecución de las instrucciones por un dispositivo de procesamiento hace que el dispositivo de procesamiento implemente el método para la prueba de diagnóstico de un cable eléctrico. El método incluye ajustar una inductancia del equipo de prueba resonante para establecer la inductancia del equipo de prueba resonante en un valor de inductancia, y ajustar una frecuencia de salida del equipo de prueba resonante para establecer la frecuencia de salida en una frecuencia de prueba. El valor de inductancia de prueba y la frecuencia de prueba se establecen para lograr resonancia en serie con un cable eléctrico bajo prueba. El método también incluye realizar pruebas de diagnóstico del cable eléctrico con el equipo de prueba resonante en el valor de prueba de inductancia y el valor de frecuencia de prueba. En realizaciones ejemplares, el equipo de prueba resonante se puede configurar para operar en un rango de frecuencia de potencia de aproximadamente cincuenta hercios a aproximadamente sesenta hercios.

De acuerdo con las realizaciones de la presente descripción, se describe un sistema de prueba resonante para la prueba de diagnóstico de cables eléctricos que incluye un inversor, un excitador, un reactor y un dispositivo de procesamiento. El inversor está configurado para recibir un voltaje de corriente continua (DC) en una entrada y para emitir un voltaje de corriente alterna (AC) en una salida. El excitador está acoplado operativamente al inversor y amplifica una amplitud del voltaje de AC. El reactor tiene una entrada que está acoplada operativamente al excitador y una salida que está configurada para ser acoplada operativamente a un cable eléctrico. El dispositivo de procesamiento está acoplado operativamente al inversor y al reactor y está programado para ajustar una inductancia del reactor y una frecuencia de salida del inversor para lograr resonancia en serie con el cable eléctrico. La frecuencia de salida del inversor se puede disminuir o aumentar hasta que se alcance la resonancia.

De acuerdo con las realizaciones de la presente descripción, una frecuencia de salida del equipo de prueba resonante se puede establecer en un primer valor de frecuencia antes de ajustar la inductancia del equipo de prueba resonante, en donde la frecuencia de salida se controla por el inversor en respuesta a un dispositivo de procesamiento para emitir el primer valor de frecuencia del inversor. Se puede usar una señal de realimentación asociada con la salida del inversor para determinar si la frecuencia de salida corresponde al primer valor de frecuencia, y la frecuencia de salida del inversor se puede ajustar para que sea el primer valor de frecuencia en respuesta a la determinación de que la señal de realimentación no corresponde al primer valor de frecuencia.

De acuerdo con realizaciones de la presente descripción, se puede estimar una capacitancia del cable eléctrico, antes de ajustar la inductancia del equipo de prueba resonante, en base al menos a una entrada de usuario o

medición eléctrica del cable eléctrico. El valor de inductancia de prueba se puede determinar, al menos en parte, en base a la capacitancia estimada y el primer valor de frecuencia.

5 De acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción, la inductancia del equipo de prueba resonante se puede ajustar en base a las señales de realimentación asociadas con la inductancia del reactor para determinar si la inductancia del reactor corresponde a un ángulo de fase mínimo por el dispositivo de procesamiento, y la inductancia del reactor se puede ajustar al valor de inductancia de prueba cuando las señales de realimentación no corresponden al valor de inductancia de prueba.

10 De acuerdo con las realizaciones de la presente descripción, el reactor puede tener un núcleo magnético dividido que incluye un primer segmento de núcleo y un segundo segmento de núcleo que se puede mover con respecto al primer segmento de núcleo. Para ajustar la inductancia, se pueden transmitir señales de control a un actuador del reactor para ajustar la distancia entre el primer y el segundo segmento del núcleo hasta que se alcance el valor de inductancia de prueba. La distancia entre el primer y el segundo segmento de núcleo puede ser ajustable entre aproximadamente una décima de centímetro y aproximadamente cinco centímetros. La inductancia del reactor puede ser de aproximadamente cuatrocientos Henrios cuando la distancia se establece en aproximadamente una  
15 décima de centímetro y es de aproximadamente quince Henrios cuando la distancia se establece en aproximadamente cinco centímetros.

20 De acuerdo con las realizaciones de la presente descripción, una fuente de alimentación de DC se puede acoplar operativamente a una entrada del inversor. La fuente de alimentación de DC puede ser una batería recargable configurada para ser recargada mediante la operación de un motor de combustión de un vehículo de campo dentro del cual está instalado el sistema de prueba resonante, un filtro acoplado operativamente y en serie con la salida del inversor y una entrada del excitador, el filtro que está configurado para filtrar la salida del inversor.

25 Se prevé cualquier combinación o permutación de realizaciones. Otros objetos y características llegarán a ser evidentes a partir de la siguiente descripción detallada considerada junto con los dibujos que se acompañan. Se ha de entender, no obstante, que los dibujos están diseñados solamente como ilustración y no como definición de los límites de la invención.

### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de prueba resonante híbrido de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

30 Las Figuras 2-4 son diagramas esquemáticos de transformadores resonantes que pueden formar un reactor de un equipo de prueba resonante de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 5 representa una sección transversal de una parte ejemplar de una disposición de bobinas tomada transversalmente a un eje central de la disposición de bobinas de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

35 La Figura 6 representa una sección transversal de una parte ejemplar de una disposición de bobinas tomada a lo largo de un eje central de la disposición de bobinas de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un devanado de cable ejemplar para formar una bobina de conexión a tierra para una disposición de bobinas de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

40 La Figura 8 es un diagrama esquemático de una disposición de control de esfuerzo eléctrico ejemplar para una disposición de bobinas de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso para configurar un sistema de prueba resonante ejemplar para operar en o cerca de la resonancia de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso ejemplar de operación de una realización del sistema de prueba resonante para implementar un perfil de prueba.

45 La Figura 11 es una representación gráfica de un perfil de prueba 1100 ejemplar que se puede implementar mediante las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 12 es un diagrama esquemático que ilustra una realización de un sistema de prueba resonante dispuesto dentro de un vehículo de campo para facilitar las pruebas de campo de cables de energía eléctrica de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

50 La Figura 13 es un diagrama de bloques de una realización ejemplar del dispositivo informático de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

La Figura 14 representa un entorno de comunicación en red ejemplar que se puede utilizar para implementar las realizaciones ejemplares de la presente descripción.

### Descripción detallada

5 Las realizaciones ejemplares de la presente descripción están relacionadas con las pruebas de diagnóstico de cables de energía eléctrica. Las realizaciones ejemplares pueden incluir un sistema de prueba resonante que incluye un equipo de prueba resonante, que es capaz de realizar pruebas de diagnóstico de cables de energía eléctrica que tienen un amplio rango de longitudes y capacitancias. Los equipos de prueba resonantes pueden tener una inductancia variable así como una frecuencia de salida variable para acomodar las diferentes capacitancias asociadas con los cables de energía eléctrica. Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares de la presente descripción, la inductancia del equipo de prueba resonante se puede controlar para aproximarse a la resonancia de manera aproximada en base a una capacitancia estimada de un cable eléctrico a ser probado y la frecuencia de salida del equipo de prueba resonante se puede controlar para sintonizar con precisión la salida del equipo de prueba resonante para alcanzar la resonancia o casi resonancia. Se pueden realizar una o más pruebas de diagnóstico en el cable de energía eléctrica (por ejemplo, según un perfil de prueba) cuando la resonancia o casi resonancia se alcanza por el circuito formado por el equipo de prueba resonante y el cable de energía eléctrica.

10 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de prueba resonante híbrido 100 de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción. El sistema de prueba resonante híbrido 100 se puede implementar para realizar pruebas de diagnóstico de cargas capacitivas, por ejemplo, en forma de cables eléctricos (por ejemplo, cable eléctrico 102). Los cables de energía eléctrica que se pueden probar usando el sistema de prueba 100 pueden variar en longitud, diámetros de conductor, tipo de aislamiento, clase de voltaje y pueden tener diferentes valores de capacitancia, que se pueden acomodar por el sistema de prueba 100 cuando se realizan pruebas de diagnóstico de los cables de energía eléctrica. Como ejemplo no limitativo, las pruebas de diagnóstico realizadas por el sistema de prueba resonante 100 pueden incluir, por ejemplo, pruebas de descarga parcial entre aproximadamente cincuenta (50) a aproximadamente sesenta (60) hercios y un voltaje de aproximadamente cero (0) a aproximadamente doscientos cincuenta (250) kilovoltios. El rango de frecuencia de aproximadamente cincuenta (50) a aproximadamente sesenta (60) hercios, al que se hace referencia en la presente memoria como rango de "frecuencia de potencia", generalmente corresponde a una frecuencia de las señales de voltaje que se transmiten a través de los cables de energía de empresa de servicios públicos. Si bien las realizaciones ejemplares de la presente descripción se describen usando ejemplos no limitantes de frecuencias y voltajes operativos, así como las inductancias del sistema de prueba resonante híbrido 100, las realizaciones ejemplares de la presente descripción se pueden implementar usando diferentes frecuencias operativas y a diferentes voltajes, aunque las realizaciones ejemplares que utilizan el rango de frecuencia de potencia pueden proporcionar ventajosamente pruebas de diagnóstico que reflejan más estrechamente un uso real de los cables de energía eléctrica en el campo que otros rangos de frecuencia.

35 Como se muestra en la Figura 1, el sistema de prueba resonante 100 puede incluir un equipo de prueba resonante 104 y un dispositivo informático 106 acoplado operativamente al equipo de prueba resonante 104. El equipo de prueba resonante 104 incluye un inversor 110 que recibe un voltaje de corriente continua (DC) de entrada o bien de una fuente de voltaje de DC 112 (por ejemplo, una o más baterías recargables) o bien de una fuente de alimentación de AC 114 (por ejemplo, una toma de alimentación de AC, tal como una toma de alimentación de pared de AC de 120 voltios) después del voltaje de AC de la toma de alimentación de AC 114 ha pasado a través de un rectificador 116 para convertir una señal de voltaje de AC de la fuente de alimentación de AC en un voltaje de DC. En algunas realizaciones, la fuente de voltaje de DC 112 se puede formar usando celdas de fosfato de iones de litio. La recarga de la fuente de voltaje de DC 112 se puede realizar directamente desde un alternador de un vehículo dentro del cual está dispuesto el sistema de prueba resonante, desde una toma de corriente eléctrica estacionaria conectada a una red de empresa de servicios públicos (por ejemplo, una red eléctrica), desde paneles solares montados en el vehículo de campo, o de cualquier combinación de los mismos.

Una operación del inversor 110 se puede controlar por un dispositivo de procesamiento 120. Por ejemplo, el dispositivo de procesamiento 120 puede ejecutar el microprograma 122 almacenado en la memoria 124 (es decir, un medio legible por ordenador no transitorio) acoplado operativamente al dispositivo de procesamiento 120 para controlar el inversor 110 en base a la entrada recibida del dispositivo informático 106 operado por un usuario y/o en base a las entradas recibidas de uno o más caminos de circuito de realimentación como se describe en la presente memoria. En las realizaciones ejemplares, el dispositivo de procesamiento 120 y la memoria 124 se pueden empaquetar como componentes autónomos o integrar en un controlador o microcontrolador. En algunas realizaciones, el microprograma 122 se puede integrar con la aplicación 108 de manera que el dispositivo informático 106 se pueda comunicar directamente con y controlar el inversor 110 y el reactor 150 y el dispositivo informático 106 pueda recibir directamente las señales de realimentación. En tales realizaciones, el dispositivo de procesamiento 120 y el miembro 124 se pueden omitir del equipo de prueba resonante 104.

El inversor 110 convierte el voltaje de DC en una señal de prueba de AC que se emite por el inversor 110. La señal de prueba de AC emitida por el inversor 110 es un voltaje de AC que tiene una frecuencia (es decir, una frecuencia de salida del inversor 110) que está controlada por el dispositivo de procesamiento 120. Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares, el dispositivo de procesamiento 120 puede ejecutar el microprograma 122 para controlar el

inversor 110 de manera que el inversor 110 emita la señal de prueba de AC a una frecuencia asociada con el rango de frecuencia de potencia. En las realizaciones ejemplares, una amplitud de la señal de prueba de AC emitida por el inversor 110 se puede controlar por el dispositivo de procesamiento para que esté entre, por ejemplo, aproximadamente cero (0) voltios y aproximadamente doscientos cuarenta (240) voltios de AC de manera que se pueda controlar el inversor 110 para ajustar una frecuencia y amplitud de la señal de prueba de AC.

La salida del inversor 110 se puede introducir en un filtro 130. En las realizaciones ejemplares, el filtro 130 se puede formar como un filtro paso bajo configurado para filtrar frecuencias altas de la señal de prueba de AC emitida por el inversor 110 (por ejemplo, frecuencias mayores que la frecuencia de salida del inversor 110). Por ejemplo, en algunas realizaciones, la salida del inversor 110 puede incluir ruido o armónicos de alta frecuencia (por ejemplo, debido a la conmutación de transistores que forman una parte del inversor 110). El filtro 130 se puede implementar usando uno o más componentes pasivos (por ejemplo, resistores, condensadores, inductores) y/o uno o más componentes activos (por ejemplo, transistores, amplificadores operacionales).

El excitador 140 se puede implementar como un transformador elevador, que recibe la señal de prueba de AC filtrada del filtro 130. Tras recibir la señal de prueba de AC filtrada, el excitador 140 puede aumentar la amplitud de la señal de prueba de AC filtrada a una amplitud intermedia en el equipo de prueba 104. Por ejemplo, en realizaciones ejemplares, la señal de prueba de AC filtrada puede tener una amplitud de aproximadamente cero (0) a aproximadamente doscientos cuarenta (240) VCA y el excitador 140 puede transformar la amplitud de la señal de prueba de AC a una amplitud de aproximadamente cero (0) a aproximadamente dos mil (2000) VCA, mientras que se mantiene la frecuencia de salida de la señal de prueba de AC establecida por el inversor 110.

Una salida del excitador 140 está acoplada operativamente a un reactor 150, que puede formar un inductor variable del equipo de prueba resonante 104. La señal de prueba de AC, emitida por el excitador 140 con la amplitud de voltaje intermedio, se recibe por una entrada del reactor, y una salida del reactor 150 forma una salida del equipo de prueba resonante 104 que se puede acoplar operativamente en serie a un cable de energía eléctrica a ser probado (por ejemplo, el cable de energía eléctrica 102). En las realizaciones ejemplares, la inductancia del reactor 150 se controla por el dispositivo de procesamiento 120 (por ejemplo, tras la ejecución del microprograma 122) en base a las entradas recibidas de un dispositivo informático 106 operado por un usuario y/o en base a las entradas recibidas de uno o más caminos de circuito de realimentación, como se describe en la presente memoria. El cable bajo prueba (por ejemplo, el cable de energía eléctrica 102) puede tener una capacitancia asociada con el mismo, de manera que el equipo de prueba resonante 104 y el cable de energía eléctrica 102 pueden formar un circuito resonante.

Para lograr la resonancia, la frecuencia de la señal de prueba de AC establecida por el inversor 110 y la inductancia del reactor 150 se puede sintonizar por el dispositivo de procesamiento 120, ejecutando el microprograma 122, en respuesta a las señales de realimentación recibidas por el dispositivo de procesamiento 120 de uno o más nodos en el equipo de prueba resonante 104. Por ejemplo, se pueden proporcionar la realimentación de corriente 170 y la realimentación de voltaje 172 desde la salida del filtro 130 a las entradas del dispositivo de procesamiento 120; se pueden proporcionar la realimentación de corriente 174 y la realimentación de voltaje 176 desde la salida del excitador 140 a las entradas del dispositivo de procesamiento 120; y se pueden proporcionar la realimentación de voltaje 178 desde la salida del reactor 150 a las entradas del dispositivo de procesamiento 120. La inductancia del reactor 150 se puede ajustar para aproximarse aproximadamente a la resonancia y la frecuencia de salida del inversor 110 se puede ajustar para sintonizar con precisión el circuito para alcanzar una condición de resonancia o casi resonancia. Cuando se alcanza la resonancia, la señal de prueba de AC emitida por el equipo de prueba resonante 104 y a través de la carga capacitiva formada por el cable de energía eléctrica 102 puede tener una amplitud que corresponde a un voltaje operativo asociado con el cable y/o uno o más voltajes de prueba especificados por el fabricante de los cables. Como ejemplo no limitativo, la amplitud de la salida de la señal de prueba de AC por el equipo de prueba resonante 104 puede ser de aproximadamente cero (0) a aproximadamente doscientos cincuenta mil (250000) voltios AC debido al factor de calidad (Q) del circuito resonante formado por el equipo de prueba resonante 104 y el cable de energía eléctrica a la frecuencia de salida. Se hace referencia en la presente memoria a la inductancia del reactor 150 requerida para alcanzar la resonancia como "valor de inductancia de prueba" y se hace referencia en la presente memoria a la frecuencia de la señal de prueba de AC (por ejemplo, la frecuencia de salida del inversor 110) para alcanzar la resonancia como el "valor de frecuencia de prueba".

El dispositivo de procesamiento 120 puede ejecutar el microprograma 122 para procesar la realimentación de corriente y voltaje desde diversos nodos en el equipo de prueba para controlar la frecuencia de salida del inversor 110, la amplitud de la salida del inversor 110 y/o la inductancia del reactor 150. Como ejemplo, el dispositivo de procesamiento 120 se puede programar para recibir la realimentación de corriente 170 y/o la realimentación de voltaje 172 desde la salida del filtro 130 para monitorizar la frecuencia y amplitud de la señal de prueba de AC emitida por el inversor 110, y para ajustar la operación del inversor 110 para cambiar la frecuencia y/o amplitud de la señal de prueba de AC para ajustarse a un valor especificado por un usuario a través del dispositivo informático 130 y/o para alcanzar una frecuencia y/o amplitud estable de la señal de prueba de AC (por ejemplo, para asegurar que la salida del inversor refleje una salida de inversor esperada o programada). Si el dispositivo de procesamiento 120 detecta que la frecuencia o amplitud de la señal de prueba de AC que se emite por el inversor 110 no corresponde a la frecuencia y amplitud esperadas o programadas, el dispositivo de procesamiento 120 puede ejecutar el microprograma 122 para controlar el inversor 110 para conducir el inversor 110 a la frecuencia y amplitud esperadas o programadas en base a la realimentación de corriente y/o voltaje 170 y 172. Como otro ejemplo, el dispositivo de

procesamiento 120 se puede programar para recibir la realimentación de corriente 174 desde la salida del excitador 140 para determinar una capacitancia de carga asociada con el cable eléctrico, por ejemplo, en base a una medición de corriente eléctrica en la entrada del reactor 150. Como otro ejemplo, la realimentación de voltaje 176 se puede usar para monitorizar una amplitud del voltaje de la entrada de señal de prueba resonante al reactor y se puede usar para limitar la amplitud. Por ejemplo, el dispositivo de procesamiento 120 se puede programar para limitar o restringir la amplitud del voltaje de la señal de prueba resonante y el voltaje monitorizado por la realimentación de voltaje 176 se puede usar por el dispositivo de procesamiento 120 para determinar si la amplitud del voltaje es menor o mayor que el voltaje especificado. La realimentación de voltaje 176 también se puede usar en combinación con la realimentación de voltaje 178 para determinar un factor de calidad del circuito resonante formado por la conexión en serie entre el equipo de prueba resonante 104 y el cable de energía eléctrica 102. Como otro ejemplo, el dispositivo de procesamiento puede ejecutar el microprograma para recibir la realimentación de corriente 174 desde la salida del excitador 140 y la realimentación de voltaje 178 desde la salida del reactor 150 para alcanzar la resonancia ajustando la inductancia del reactor 150 para que sea el valor de inductancia de prueba y ajustando la frecuencia de la salida del inversor 110 para que sea el valor de frecuencia de prueba en base a la capacitancia estimada del cable de energía eléctrica bajo prueba. En las realizaciones ejemplares, el valor de inductancia de prueba se puede alcanzar ajustando la inductancia del reactor 150 hasta que se alcance un ángulo de fase mínimo que se determina por el voltaje de salida, que se mide a través de la realimentación de voltaje 178, y la corriente de salida, que se mide por la corriente realimentación 174. Es decir, la inductancia del reactor 150 se puede ajustar hasta que un valor absoluto del ángulo de fase sea el más cercano a cero, en cuyo punto el reactor 150 deja de ajustar la inductancia del reactor 150. Después de que se establezca la inductancia del reactor 150, el dispositivo de procesamiento puede ejecutar el microprograma para lograr el valor de frecuencia de prueba ajustando la frecuencia de salida del inversor 110 hasta que se alcance un voltaje de salida máximo y una corriente de salida mínima que se miden por la realimentación de voltaje 178 y la realimentación de corriente 174, respectivamente.

El dispositivo informático 106 se puede programar para proporcionar una interfaz de usuario que permita a los usuarios interactuar con el equipo de prueba resonante 104. Por ejemplo, en realizaciones ejemplares, el dispositivo informático 106 puede ejecutar una aplicación de prueba de diagnóstico 108 para mostrar una o más interfaces gráficas de usuario. La interfaz gráfica de usuario puede permitir que el usuario introduzca información para su procesamiento por la aplicación de prueba de diagnóstico y/o que se puede usar por el dispositivo informático para interactuar con el equipo de prueba resonante 104 para controlar una operación del equipo de prueba resonante 104 (por ejemplo, a través del dispositivo de procesamiento 120) y realizar una o más pruebas de diagnóstico sobre los cables de energía eléctrica, tal como una prueba de descarga parcial. El dispositivo informático 106 puede recibir datos (por ejemplo, mediciones eléctricas) desde el equipo de prueba resonante 104, que se pueden almacenar por el dispositivo informático 106. Por ejemplo, el dispositivo informático 106 puede recibir, desde el dispositivo de procesamiento 120, mediciones eléctricas correspondientes a unas pruebas de diagnóstico realizadas por el equipo de prueba resonante 104 (por ejemplo, resultados de prueba de diagnóstico). En algunas realizaciones, el dispositivo informático 106 puede ejecutar la aplicación de pruebas de diagnóstico 108 para transmitir, a través de cables o de manera inalámbrica, resultados de pruebas de diagnóstico a través de una red de comunicaciones a un dispositivo informático remoto para el procesamiento de los resultados de pruebas de diagnóstico.

En algunas realizaciones, la aplicación de prueba de diagnóstico 108 puede residir y/o ser ejecutada por un servidor remoto del dispositivo informático 106 y la interfaz de usuario de la aplicación de prueba de diagnóstico se puede representar en una unidad de visualización electrónica del dispositivo informático. Los datos se pueden transmitir entre el servidor y el equipo de prueba resonante 104 a través del dispositivo informático 106, y se puede configurar el servidor para controlar el equipo de prueba resonante 104 a través del dispositivo informático 106.

La aplicación de prueba de diagnóstico 108 se puede programar para acceder a una base de datos de perfiles de prueba correspondientes a tipos de cable específicos para permitir que los usuarios de la aplicación 108 seleccionen un perfil de prueba a ser usado durante la prueba de diagnóstico de cables. Los perfiles de prueba pueden especificar voltajes a los que se deberían probar los cables, así como una duración de tiempo durante la cual se deberían probar los cables a los voltajes especificados. Después de que el usuario seleccione un perfil de prueba, e inicie las pruebas de diagnóstico de un cable a través del equipo de prueba resonante 104, el dispositivo informático que ejecuta la aplicación 108 puede interactuar con el dispositivo de procesamiento 120 para dar instrucciones al dispositivo de procesamiento para controlar el inversor 110 y el reactor 150 según el perfil de prueba seleccionado de manera que el equipo de prueba resonante se controle mediante programación por la aplicación para probar automáticamente el cable a cada uno de los voltajes de prueba durante la duración de tiempo especificado.

Las Figuras 2-8 son diagramas esquemáticos de realizaciones ejemplares de transformadores resonantes y disposiciones de bobina para transformadores resonantes, que se pueden utilizar para implementar el reactor 150 mostrado en la Figura 1. Las realizaciones ejemplares de reactores que se pueden utilizar para implementar el reactor 150 se describen con más detalle en la solicitud de EE.UU. con N° de serie \_\_\_\_\_, titulada "Resonant Transformer" (Expediente del agente: 114049-00008), presentada el 3 de octubre de 2014, la descripción de la cual se incorpora en la presente memoria como referencia en su totalidad.

Con referencia a la Figura 2, un transformador resonante 200 puede incluir un núcleo magnético 220 que tiene un primer segmento de núcleo 222 y un segundo segmento de núcleo 224. El núcleo 220 del transformador resonante 200 puede tener una configuración U/I, donde el segmento de núcleo 222 puede tener forma de U y el segmento de

núcleo 224 puede tener forma de I. El segmento de núcleo 222 puede tener una primera rama 226 con un extremo terminal 232 y una segunda rama 230 con un extremo terminal 236. Las bobinas conductoras o devanados 250 y 260, que se pueden disponer, enrollar o envolver alrededor de un mandril de núcleo 270 dispuesto sobre la primera y segunda ramas 226 y 230 del segmento de núcleo 222. Las ramas 226 y 230 se pueden acoplar entre sí en un extremo mediante un miembro magnético 228. En una operación ejemplar, el núcleo 220 se puede acoplar eléctricamente a tierra. El transformador resonante 200 se puede configurar para tener una inductancia ajustable y para emitir altos voltajes (por ejemplo, kilovoltios, decenas de kilovoltios, cientos de kilovoltios) en respuesta a un voltaje de entrada (por ejemplo, un voltaje de entrada recibido por un excitador 140). En las realizaciones ejemplares, las bobinas 250 y 260 pueden incluir tantas vueltas como sea necesario para alcanzar un voltaje deseado en una salida del transformador resonante 200. En algunas realizaciones, las bobinas 250 y 260 se pueden acoplar eléctricamente entre sí en paralelo o en serie como se describe en la presente memoria.

Como se muestra en la Figura 2, la bobina 250 puede incluir derivaciones de salida 252 y 254, y la bobina 260 puede incluir derivaciones de salida 262 y 264. Mientras que las bobinas 250 y 260 se han ilustrado con dos derivaciones cada una, los expertos en la técnica reconocerán que las bobinas 250 y 260 pueden incluir más o menos derivaciones. Cada una de las derivaciones 252 y 254 se puede acoplar eléctricamente a la bobina 250 en diferentes ubicaciones de la bobina 250, y cada una de las derivaciones 262 y 264 se puede acoplar eléctricamente a la bobina 260 en diferentes ubicaciones de la bobina 260. Las ubicaciones de derivaciones diferentes corresponden a un número diferente de vueltas en la bobina, de manera que se puede configurar el transformador resonante 200 para emitir diferentes voltajes en cada derivación en respuesta al mismo voltaje de entrada. Debido a que las ubicaciones de derivaciones corresponden a un número diferente de vueltas en las bobinas 250 y 260, la inductancia del transformador resonante 200 asociado con cada una de las ubicaciones de derivaciones en las bobinas puede ser diferente.

Las bobinas 250 y 260 se pueden acoplar eléctricamente entre sí en paralelo de manera que cada una de las bobinas 250 y 260 pueda recibir el mismo voltaje de entrada (por ejemplo, desde la salida del excitador 140). En las realizaciones ejemplares, las bobinas 250 y 260 se pueden formar para que sean sustancialmente similares o idénticas (por ejemplo, cada una puede incluir el mismo número de vueltas usando el mismo tipo de hilo), y las derivaciones 252 y 262 pueden corresponder a ubicaciones de derivaciones sustancialmente idénticas en las bobinas 250 y 260 de manera que cuando se usen las derivaciones 252 y 262 (para bobinas 250 y 260 paralelas), las bobinas 250 y 260 se puedan configurar para tener inductancias sustancialmente idénticas y para emitir voltajes sustancialmente idénticos en respuesta al mismo voltaje de entrada. Asimismo, las derivaciones 254 y 264 pueden corresponder a ubicaciones de derivaciones sustancialmente idénticas en las bobinas 250 y 260 de manera que cuando se usen las derivaciones 254 y 264 (para bobinas 250 y 260 paralelas), las bobinas 250 y 260 se puedan configurar para tener inductancias sustancialmente idénticas y emitir voltajes sustancialmente idénticos en respuesta al mismo voltaje de entrada. En las realizaciones ejemplares, cuando las bobinas 250 y 260 están conectadas en paralelo, cualquiera de las bobinas 250 o 260, o ambas de las bobinas 250 y 260, se pueden acoplar operativamente a un cable a ser probado (por ejemplo, la derivación 252 se puede acoplar eléctricamente a un cable a ser probado o las derivaciones 252 y 262 se pueden acoplar eléctricamente al cable en paralelo). El uso de las bobinas 250 y 260 en paralelo puede permitir que el transformador resonante opere a valores nominales de corriente más altos que usando una sola bobina porque la corriente de salida se divide entre las dos bobinas y se puede usar para cambiar un rango de inductancias que se pueden alcanzar por el transformador resonante 200.

En algunas realizaciones, el transformador resonante 200 se puede configurar para acoplar eléctricamente las bobinas 250 y 260 en serie de manera que la salida de la bobina 250 forme la entrada a la bobina 260. En algunas realizaciones, el transformador resonante 200 puede ser reconfigurable para conmutar entre una disposición en serie y en paralelo de las bobinas 250 y 260. Para conectar las bobinas 250 y 260 en serie, la entrada a la bobina 250 se puede conectar a la salida del excitador 140 y la derivación 252 se puede conectar a la entrada de la bobina 260 de manera que una salida de la bobina 250 forme la entrada a la bobina 260. En una configuración en serie, los voltajes y las inductancias de las bobinas 250 y 260 son aditivos entre sí.

En las realizaciones ejemplares, el segmento de núcleo 222 y las bobinas 250 y 260 se pueden disponer dentro de una carcasa 285, mientras que el segmento de núcleo 222 se puede disponer interno o externo a la carcasa 285. Colocar el segmento de núcleo 124 externo a la carcasa 285 de manera que la pared 202 de la carcasa 285 separe los segmentos de núcleo 222 y 224, permite que un hueco entre los segmentos de núcleo 222 y 224 sea colocado fuera de la carcasa 285. El segundo extremo 244 del segmento de núcleo 224 se puede acoplar operativamente a una pared 202 de la carcasa 285 mediante una articulación 246 (por ejemplo, una bisagra, una articulación de rótula esférica, un mecanismo de trinquete y/o cualquier otra estructura pivotante o giratoria adecuada), y el primer extremo 242 del segmento de núcleo 224 se puede mover lejos de o hacia el extremo terminal 232 mediante la operación de la articulación 246 (por ejemplo, entre una primera posición y una segunda posición) para ajustar una inductancia del transformador resonante. Por ejemplo, la distancia entre el primer extremo 242 del segmento de núcleo 224 y el extremo terminal 232 de la primera rama 226 del segmento de núcleo 222 se puede variar para cambiar el tamaño de un hueco 275 para controlar una inductancia del transformador resonante 200. Como ejemplo, el primer extremo 242 se puede mover para ser colocado cerca del extremo terminal 232 para definir un tamaño de hueco mínimo o se puede alejar (o alejar aún más) del extremo terminal 232 para aumentar el tamaño del hueco 275 (por ejemplo, a un tamaño de hueco máximo o un tamaño de hueco intermedio) y ajustar la inductancia del transformador resonante 200.

Colocando el segmento de núcleo 224 (y el hueco 275) fuera de la carcasa principal 285, las realizaciones ejemplares de la presente descripción pueden reducir sustancialmente las dimensiones de la carcasa principal en comparación con las carcasas de tanque de los transformadores resonantes convencionales que son adecuados para producir voltajes altos (por ejemplo, decenas o centenas de kilovoltios), lo que puede dar como resultado un transformador resonante más pequeño y ligero que los diseños de transformadores resonantes convencionales. El segmento de núcleo 224 se puede exponer a la atmósfera a presión atmosférica. En algunas realizaciones, el segmento de núcleo 224 se puede disponer dentro de un carenado o carcasa secundaria. Aunque el segmento de núcleo 224 se describe como que es externo a la carcasa principal 285, el segmento de núcleo 224 de las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria se puede disponer dentro de la carcasa.

El tamaño del hueco 275 se puede variar entre un valor mínimo y un valor máximo de manera que se puedan alcanzar uno o más rangos de valores de inductancia usando el transformador resonante 200. Como ejemplo, donde ambas de las derivaciones 252 y 262 de las bobinas 250 y 260, respectivamente, se usan en paralelo con una carga, se puede controlar el tamaño del hueco 275 para operar el transformador resonante 200 dentro de un primer rango de valores de inductancia. Como otro ejemplo, cuando solamente se usa una de las derivaciones de una de las bobinas (por ejemplo, la derivación 252 de la bobina 250), el hueco 275 se puede controlar para operar el transformador resonante 200 dentro de un segundo rango de valores de inductancia (por ejemplo, dos veces los valores de inductancia del primer rango). Como otro ejemplo más, donde ambas de las bobinas 250 y 260 se usan en serie con una carga, y la derivación 262 se usa como salida del transformador resonante 200, el tamaño del hueco 275 se puede controlar para operar el transformador resonante 200 dentro de un tercer rango de valores de inductancia (por ejemplo, dos veces los valores de inductancia del segundo rango).

Como ejemplo no limitativo para ilustrar una operación de las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria, las bobinas 250 y 260 se pueden acoplar eléctricamente en paralelo y pueden incluir las disposiciones de bobina descritas en la presente memoria que tienen un número específico de vueltas para generar un voltaje superior a, por ejemplo, cuarenta (40) kilovoltios en respuesta a un voltaje de entrada de alrededor de dos mil (2000) a cuatro mil (4000) kilovoltios. La disposición de bobinas de las bobinas 250 y 260 para alcanzar este voltaje de salida puede crear una inductancia en la bobina que permite que el tamaño del hueco sea relativamente pequeño cuando se compara con los transformadores resonantes convencionales. Por ejemplo, en algunas realizaciones, cuando solamente se usan las bobinas 250, el tamaño del hueco puede variar de aproximadamente un (1) milímetro a aproximadamente cincuenta (50) milímetros para generar una inductancia de aproximadamente cuatrocientos (400) Henrios a aproximadamente treinta (30) Henrios, respectivamente, mientras que algunos transformadores resonantes convencionales generalmente requieren un tamaño de hueco máximo de ciento cincuenta (150) milímetros para alcanzar el extremo inferior del rango de inductancia. Cuando las bobinas 250 y 260 se usan en paralelo, se puede usar el mismo rango para el tamaño del hueco para generar una inductancia de aproximadamente doscientos (200) Henrios a aproximadamente quince (15) Henrios, mientras que se permite un valor nominal de corriente del transformador resonante en aproximadamente el doble. Cuando se usan las bobinas 250 y 260 en serie, se puede usar el mismo rango para el tamaño del hueco para generar una inductancia de aproximadamente ochocientos (800) Henrios a aproximadamente sesenta (60) Henrios.

En las realizaciones ejemplares, la disposición de bobinas de las bobinas 250 y 260 se puede configurar como se describe en la presente memoria con respecto a las Figuras 5-8 para reducir y/o minimizar la descarga no deseada de las bobinas 250 y 260 de manera que las realizaciones ejemplares de la presente descripción no requieran generalmente que el interior de la carcasa principal se llene con un aceite aislante. En la presente realización, el interior de la carcasa principal 285 se puede llenar con un gas a presión atmosférica o moderada. Por ejemplo, el interior de la carcasa principal 285 se puede llenar con aire (por ejemplo, atmósfera) o un gas inerte (tal como nitrógeno). Se puede sellar la carcasa principal 285 para mantener el gas 290 bajo una presión de baja a moderada (por ejemplo, ~ 0 a ~ 5 psig). La pared 202 se puede formar a partir de un material no conductor, no magnético. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la pared 202 se puede formar de Plexiglás, fibra de vidrio, acrílico, plástico u otros polímeros, materiales compuestos a base de carbono y/o cualquier otro material adecuado.

Debido a que las disposiciones de bobina descritas en la presente memoria permiten que el interior de la carcasa 285 se llene con aire o un gas inerte, en lugar de un aceite insulante, las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria pueden ser más ligeras que los transformadores resonantes convencionales. La combinación de la disposición de bobinas y la posición del segmento de núcleo 224 externa a la carcasa 285 proporciona un transformador resonante de inductancia variable más pequeño, más ligero, eficiente y estable. Si bien el segmento de núcleo 224 se ha descrito como que es externo a la carcasa en algunas realizaciones, los expertos en la técnica reconocerán que el segmento de núcleo 224 se puede disponer dentro de la carcasa 285 sin dejar de obtener algunas ventajas de las realizaciones ejemplares de la presente descripción en comparación con los diseños de transformadores resonantes convencionales.

En algunas realizaciones, el transformador resonante 200 puede incluir un miembro inflable no magnético 248 que se puede colocar en el hueco 275 entre el extremo terminal 232 y el primer extremo 242, de manera que el miembro inflable 248 se puede inflar para llenar o al menos llena parcialmente el hueco 275. El miembro inflable 248 puede proporcionar estabilidad mecánica al transformador resonante llenando el hueco 275 para evitar o reducir el movimiento no deseado del segmento de núcleo 224 con respecto al extremo terminal 232 del segmento de núcleo

222 debido, por ejemplo, a vibraciones u otros choques mecánicos. Si bien se han ilustrado realizaciones ejemplares en la presente memoria usando miembros inflables, las realizaciones ejemplares de la presente descripción pueden usar miembros en forma de cuña no magnéticos de suelo en lugar de o además de los miembros inflables para proporcionar estabilidad a los transformadores resonantes insertando los miembros sólidos no magnéticos en el hueco entre los segmentos de núcleo.

En las realizaciones ejemplares, un actuador 280 se puede acoplar operativamente al segmento de núcleo 224 para mover el segmento de núcleo 224 alrededor de la articulación 246. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 2, el actuador 280 se puede acoplar operativamente al primer extremo 242 del segmento de núcleo 224 para controlar una distancia (por ejemplo, el hueco 275) entre el primer extremo 242 y el extremo terminal 232; controlando por ello la inductancia del transformador resonante 200. En algunas realizaciones, el actuador 280 puede ser un actuador de tipo tornillo en el que un eje roscado 282 operativo acoplado al segmento de núcleo 224 gira para mover el segmento de núcleo hacia o lejos del segmento de núcleo 222. El actuador 280 se puede disponer dentro o fuera de la carcasa 285.

En algunas realizaciones, el actuador 280 se puede controlar manualmente y/o mediante programa para ajustar la inductancia del transformador resonante 200 a un valor especificado. Como ejemplo, en algunas realizaciones, una interfaz de control 286 que incluye uno o más controles (por ejemplo, botones, mandos, etc.) se puede acoplar operativamente al actuador para permitir que un usuario del resonante transformado controle el actuador 280. Como otro ejemplo, en algunas realizaciones, el dispositivo de procesamiento 220 se puede acoplar operativamente al actuador 280 y se puede programar y/o configurar para controlar automática y/o mediante programa el actuador 280 para controlar una inductancia del transformador resonante 200 en base a una distancia entre el primer extremo 242 y el extremo terminal 232 en respuesta a las entradas del usuario y/o en respuesta a los parámetros detectados y/o monitorizados a partir de los cuales se puede derivar una inductancia deseada del transformador resonante 200.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un transformador resonante 300 de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción. El transformador resonante 300 puede incluir realizaciones del núcleo magnético 220 formado por el segmento de núcleo 222 y el segmento de núcleo 224, las bobinas o devanados conductores 250 y 260 dispuestos, enrollados o envueltos sobre el mandril de núcleo 270 dispuesto en las ramas 226 y 230 del segmento de núcleo 222, y la carcasa principal 285 dentro de la cual están dispuestos el segmento de núcleo 222, las bobinas 250 y 260 y el gas 290, como se describe en la presente memoria. El primer y segundo extremos 242 y 244 del segmento de núcleo 224 se pueden mover de manera lineal y uniforme lejos o hacia el segmento de núcleo 222 para cambiar el tamaño del hueco 275. Por ejemplo, se puede disponer un miembro de guía 310 en cada uno del primer y segundo extremos 242 y 244 del segmento de núcleo 224, y se pueden configurar para engancharse a una pista 320 correspondiente que está montada y se extiende de manera sustancialmente perpendicular lejos de la pared de la carcasa principal 285. A medida que los actuadores 280 manipulan los ejes roscados 282 para trasladar el segmento de núcleo 224, el miembro de guía 310 en cada uno del primer y segundo extremos 242 y 244 se desliza a lo largo de la pista 320 correspondiente de modo que el segmento de núcleo 224 se traslade solo a las pistas 320 y se pueda colocar para estar en contacto con los extremos terminales 232 y 236 o separados lejos de los extremos terminales 232 y 236 para ajustar el tamaño del hueco 275 y, por lo tanto, la inductancia del transformador resonante 300.

En algunas realizaciones, se pueden insertar uno o más miembros inflables no magnéticos 348 entre la pared 202 y el segmento de núcleo 224 para proporcionar estabilidad mecánica al transformador resonante. En algunas realizaciones, uno o más miembros resilientes (por ejemplo, resortes) se pueden acoplar operativamente entre el segmento de núcleo 224 y la pared 202. Los miembros resilientes se pueden desviar para empujar el segmento de núcleo 224 hacia la pared 202. En algunas realizaciones, en lugar de, o además de usar ejes roscados 282, los miembros inflables 348 se pueden controlar por actuadores 280 para inflar los miembros inflables 348 y empujar el segmento de núcleo 224 lejos del segmento de núcleo 222, superando la fuerza aplicada por el miembro resiliente para cambiar el tamaño del hueco y, por lo tanto, la inductancia del transformador resonante.

La Figura 4 es un diagrama esquemático de un transformador resonante 400 de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción. El transformador resonante 400 puede incluir realizaciones del núcleo magnético 220 formado por el segmento de núcleo 222 y el segmento de núcleo 224, las bobinas o devanados conductores 250 y 260 dispuestos, enrollados o envueltos sobre los mandriles de núcleo 270 dispuestos en las ramas 226 y 230 del segmento del núcleo 222. Como se muestra en la Figura 4, los segmentos de núcleo 222 y 224 del núcleo 220 se pueden conectar permanentemente o formar integralmente, y una rebanada de material magnético que forma el segmento de núcleo 224 se puede retirar del segmento del núcleo 224 para formar una muesca 495 en el segmento de núcleo 224 que está desprovisto de material magnético. El tamaño de la muesca 495 puede corresponder a un tamaño máximo de un hueco 402. Los segmentos de núcleo 222 y 224 se pueden disponer en una carcasa 485, que se puede llenar con el gas 290 y se puede formar un rebaje 475 en una pared 492 de la carcasa 485 y se puede extender hacia la muesca 495. El rebaje 475 en la carcasa puede coincidir con la muesca 495 y puede tener una anchura  $W_N$ . El rebaje 475 se puede configurar para recibir el inserto de émbolo 410. Las dimensiones del inserto de émbolo 410 pueden corresponder al rebaje 475 de manera que el inserto de émbolo 410 encaje completamente y firmemente o cómodamente dentro del rebaje 475 para llenar la muesca 495. Para alcanzar una inductancia variable, el inserto de émbolo 410 se puede insertar y/o retirar del rebaje 475. Un actuador 480 se puede acoplar operativamente al inserto de émbolo 410 para controlar un movimiento del inserto de émbolo 410.

El inserto de émbolo 410 puede estar formado por una parte magnética 412 cónica o en forma de cuña compuesta por un material magnético y una parte no magnética 414 cónica o en forma de cuña compuesta por un material no magnético. Como se muestra en la Figura 4, el inserto de émbolo 410 puede tener un cuerpo rectangular que se extiende a lo largo de un eje longitudinal L del inserto de émbolo 410. El cuerpo puede tener una anchura  $W_b$  medida perpendicularmente al eje longitudinal L, la parte 412 puede tener una anchura  $W_{MP}$  y la parte 414 puede tener una anchura  $W_{NP}$ . La anchura  $W_b$  del cuerpo puede ser ligeramente menor que la anchura  $W_N$ . La suma matemática de la anchura  $W_{MP}$  y la anchura  $W_{NP}$  en cualquier punto a lo largo del eje longitudinal L del cuerpo puede ser igual a la anchura  $W_b$  del cuerpo en tal punto. En las realizaciones ejemplares, en un primer extremo del cuerpo, la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética puede ser aproximadamente igual a la anchura  $W_b$  del cuerpo, y en un segundo extremo del cuerpo, la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética puede ser aproximadamente cero. En el primer extremo del cuerpo, la anchura  $W_{NP}$  de la parte no magnética puede ser aproximadamente cero, y en el segundo extremo del cuerpo, la anchura  $W_{NP}$  de la parte magnética puede ser aproximadamente igual a la anchura  $W$  del cuerpo. En algunas realizaciones, la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética puede disminuir linealmente desde el primer extremo hasta el segundo extremo, y la anchura  $W_{NP}$  de la parte no magnética puede aumentar linealmente desde el primer extremo hasta el segundo extremo. En algunas realizaciones, la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética y la anchura  $W_{NP}$  de la parte no magnética pueden cambiar de manera no lineal a lo largo del eje longitudinal L.

El actuador 480 se puede acoplar operativamente al inserto de émbolo 410 para mover el inserto de émbolo 410 dentro y fuera del rebaje 475 para ajustar el tamaño del hueco 402 y, por lo tanto, la inductancia del transformador resonante 400. Por ejemplo, el inserto de émbolo 410 se puede controlar por el actuador 480 para colocar el inserto de émbolo 410 de modo que la parte magnética 412 esté dispuesta en la muesca 495. La anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética 412 del inserto de émbolo 410 puede determinar la inductancia del transformador resonante 400. Como ejemplo, cuando la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética 412 que es sustancialmente igual a la anchura  $W_b$  del cuerpo está dispuesto en la muesca, el tamaño del hueco 402 se puede reducir por la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética 412 dispuesta en el rebaje 475 y la inductancia del transformador resonante estará en su valor máximo. Como otro ejemplo, cuando la parte magnética 412 del inserto 410 se retira del rebaje 475, el tamaño del hueco 402 puede estar en su máximo y la inductancia del transformador resonante estará en su mínimo. De este modo, se puede usar la anchura  $W_{MP}$  de la parte magnética 412 para cambiar la anchura del hueco 402 para cambiar la inductancia del transformador resonante 400.

Las figuras 5-8 representan una disposición de bobinas 500 de un transformador resonante y partes del mismo de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción. Por ejemplo, se pueden usar las realizaciones ejemplares de la disposición de bobinas 500 para realizaciones de bobinas conductoras o devanados 250 y/o 260 dispuestos, enrollados o envueltos alrededor de partes (por ejemplo, ramas) del segmento de núcleo 222, como se describe en la presente memoria. La Figura 5 representa una sección transversal ejemplar de una parte ejemplar de la disposición de bobinas 500 tomada transversalmente a un eje central 502 de la disposición de bobinas 500. La Figura 6 representa una sección transversal ejemplar de una parte ejemplar de la disposición de bobinas 500 tomada a lo largo del eje central 502 de la disposición de bobinas 500.

Haciendo referencia a las Figuras 5 y 6, la disposición de bobinas 500 se puede envolver o enrollar de manera coaxial y concéntrica sobre un mandril de núcleo no metálico 510 que rodea un segmento de núcleo magnético 505. La disposición de bobinas 500 puede incluir capas dispuestas de manera coaxial y concéntrica de cinta de presión, material aislante comprimible e hilo conductor enrollado en capas sucesivas sobre el mandril de núcleo 510 en un patrón generalmente repetitivo. En algunas realizaciones, la cinta de presión se puede formar a partir de Mylar y el material aislante comprimible puede ser caucho de etileno-propileno (EPR) de alto voltaje. En algunas realizaciones, una (primera) capa 512 de un material aislante puede cubrir sustancialmente una superficie externa del mandril de núcleo 510, y una (primera) capa 514 de cinta de presión se puede disponer de manera coaxial y concéntrica sobre la (primera) capa 512 del material aislante.

Un trayecto 516 de hilo de conexión a tierra se puede envolver o enrollar de manera coaxial y concéntrica alrededor de la (primera) capa 514 de la cinta de presión a lo largo de la parte de la longitud del mandril de núcleo 510 para formar una bobina que tiene una forma generalmente helicoidal y un número específico de vueltas totales. La cinta de presión evita generalmente que los giros de las bobinas marquen individualmente el material aislante de manera que las bobinas compriman uniformemente el material aislante. En algunas realizaciones, el hilo de conexión a tierra se puede envolver directamente en el mandril de núcleo 510. El trayecto 516 de hilo de conexión a tierra puede formar una bobina de conexión a tierra de la disposición de bobinas 500 y se puede envolver o enrollar de manera que la bobina de conexión a tierra proporcione un voltaje inducido neto cero medido entre un primer extremo del trayecto 516 y un segundo extremo del trayecto 516. Un primer extremo del hilo de conexión a tierra se puede acoplar operativamente a tierra en el primer extremo del mandril y un segundo extremo del hilo de conexión a tierra puede ser un extremo libre o "flotante" (por ejemplo, no acoplado eléctricamente directa o indirectamente a tierra u otro potencial de voltaje).

Todavía haciendo referencia a las Figuras 5 y 6, una (segunda) capa 518 de la cinta de presión se puede disponer sobre el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra para cubrir sustancialmente el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra, y una (segunda) capa 520 del material aislante comprimible se puede disponer sobre la (segunda) capa 518 de la cinta de presión para cubrir sustancialmente la (segunda) capa 518 de la cinta de presión. Se puede disponer una (tercera) capa 522 de la cinta de presión sobre la (segunda) capa 520 del material aislante comprimible para

cubrir sustancialmente la (segunda) capa 520 del material aislante comprimible. En algunas realizaciones, se puede hacer referencia a las capas 512, 514, 516, 518, 520 y 522 como la capa de bobina de conexión a tierra de la disposición de núcleo 500.

5 Las capas que se añaden a la disposición de núcleo 500 después de (o incluyendo) la (tercera) capa 522 de la cinta de presión pueden formar un patrón repetitivo. Aunque se describen dos iteraciones del patrón repetitivo con respecto a las Figuras 5 y 6, las realizaciones ejemplares de la presente descripción pueden incluir más o menos iteraciones del patrón repetitivo. Por ejemplo, el patrón se puede repetir, según sea necesario, para alcanzar una inductancia o voltaje de salida especificado o deseado con el transformador resonante. Una primera iteración del patrón repetitivo puede incluir un (primer) trayecto 524 de hilo escalonado que se puede envolver o enrollar de manera coaxial y concéntrica alrededor de la (tercera) capa 522 de la cinta de presión a lo largo de la parte de la longitud del mandril de núcleo 510 para formar una bobina que tiene una forma generalmente helicoidal y un número específico de vueltas totales. La cinta de presión generalmente evita que las vueltas de las bobinas den hendiduras individualmente en el material aislante de manera que las bobinas compriman uniformemente el material aislante. Un primer extremo del (primer) trayecto 524 de bobina se puede conectar a un nodo de entrada del transformador resonante o a una salida de otra bobina en el transformador resonante. El (primer) trayecto 524 de hilo escalonado puede formar una bobina escalonada de voltaje de la disposición de bobinas 500 y se puede envolver o enrollar de manera que se pueda generar un voltaje distinto de cero en la bobina escalonada (por ejemplo, en un segundo extremo o en cualquier lugar a lo largo de la bobina escalonada) en respuesta a un voltaje de entrada recibido en un primer extremo del hilo escalonado.

20 Una (cuarta) capa 526 de la cinta de presión se puede disponer sobre el (primer) trayecto 524 del hilo escalonado para cubrir sustancialmente el (primer) trayecto 524 del hilo escalonado, y una (tercera) capa 528 del material aislante comprimible se puede disponer sobre la (cuarta) capa 526 de la cinta de presión para cubrir sustancialmente la (cuarta) capa 526 de la cinta de presión. Una (quinta) capa 530 de la cinta de presión se puede disponer sobre la (tercera) capa 528 del material aislante comprimible para cubrir sustancialmente la (tercera) capa 528 del material aislante comprimible. En algunas realizaciones, se puede hacer referencia a las capas 524, 526, 528 y 530 como (primera) capa de bobina escalonada de la disposición de núcleo 500.

30 Para ilustrar el patrón repetitivo, se muestra una segunda iteración del patrón repetitivo que incluye un (segundo) trayecto 532 del hilo escalonado que se puede envolver o enrollar de manera coaxial y concéntrica alrededor de la (quinta) capa 530 de la cinta de presión a lo largo de la parte de la longitud del mandril de núcleo 510 para formar una bobina que tiene una forma generalmente helicoidal y un número específico de vueltas totales que es menor que el número de vueltas de la bobina escalonada anterior. El (segundo) trayecto 532 de hilo es una continuación del hilo escalonado usado para formar la bobina escalonada anterior (o está eléctricamente acoplado a un extremo del hilo escalonado usado para formar la bobina escalonada anterior). La cinta de presión generalmente evita que las vueltas de las bobinas den hendiduras individualmente en el material aislante de manera que las bobinas compriman uniformemente el material aislante. El (segundo) trayecto 532 de hilo puede formar otra bobina escalonada de voltaje de la disposición de bobinas 500.

40 Se puede disponer una (sexta) capa 534 de la cinta de presión sobre el (segundo) trayecto 532 del hilo para cubrir sustancialmente el (segundo) trayecto 532 del hilo, y se puede disponer una (cuarta) capa 536 del material aislante comprimible sobre la (sexta) capa 534 de la cinta de presión para cubrir sustancialmente la (sexta) capa 534 de la cinta de presión. Se puede disponer una (séptima) capa 538 de la cinta de presión sobre la (cuarta) capa 536 del material aislante comprimible para cubrir sustancialmente la (cuarta) capa 536 del material aislante comprimible. En algunas realizaciones, se puede hacer referencia a las capas 532, 534, 536 y 538 como (segunda) capa de bobina escalonada de la disposición de núcleo 500.

45 Como se muestra en las Figuras 5 y 6, cada capa de bobina escalonada en la disposición de bobinas 500 se puede formar secuencialmente envolviendo o enrollando de manera coaxial y concéntrica un trayecto de hilo escalonado alrededor de una capa de bobina anterior (por ejemplo, una capa de bobina escalonada anterior o una capa de bobina de conexión a tierra) a lo largo de al menos una parte de la longitud del mandril de núcleo 510. La bobina en la capa de bobina de conexión a tierra se puede envolver o enrollar alrededor de al menos una parte de la longitud del mandril de núcleo 510 de manera que no haya capas de bobinas entre la capa de bobina de conexión a tierra y el mandril de núcleo 510. En las realizaciones ejemplares, las capas de bobinas de la disposición de núcleo 500 (por ejemplo, capas de bobinas escalonadas y una capa de bobina de conexión a tierra) y el mandril de núcleo 510, se pueden disponer cada una generalmente de manera coaxial y concéntrica entre sí.

55 Una cantidad de capas de bobinas escalonadas en la disposición de bobinas 500 puede determinar un voltaje de salida que se emite por un transformador resonante (por ejemplo, realizaciones de los transformadores descritos en la presente memoria) en respuesta a un voltaje de entrada. En las realizaciones ejemplares, cada capa de bobina escalonada sucesiva/consecutiva puede incluir menos vueltas que la capa de bobina escalonada anterior para formar una geometría escalonada o graduada de capas de bobinas escalonadas que tienen un perfil generalmente en pendiente en los extremos de la disposición de bobinas 500, como se muestra en la Figura 6. Se puede especificar un número total de vueltas acumuladas en las capas de bobinas escalonadas para alcanzar un voltaje de salida deseado en respuesta a un voltaje de entrada específico. La estructura escalonada o graduada de la disposición de bobinas puede proporcionar estabilidad eléctrica a la disposición de bobinas para reducir o mitigar las

descargas no deseables de la disposición de bobinas durante el uso. En las realizaciones ejemplares, la cantidad de capas de bobinas escalonadas se puede seleccionar para generar un alto voltaje (por ejemplo, la cantidad de capas de bobinas escalonadas se puede seleccionar para generar cientos de voltios, kilovoltios, decenas de kilovoltios, cientos de kilovoltios) en respuesta a un voltaje de entrada moderado (por ejemplo, kilovoltios). Como ejemplo no limitativo, en algunas realizaciones, se puede configurar la disposición de bobinas 500 para recibir un voltaje de entrada de aproximadamente cero (0) a aproximadamente dos (2) kilovoltios, y se puede configurar para emitir aproximadamente cero (0) a cuarenta (40) kilovoltios.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un devanado ejemplar del trayecto 516 del hilo de conexión a tierra para formar la bobina de conexión a tierra 700 para la disposición de bobinas 500. El trayecto 516 de hilo se puede envolver o enrollar alrededor del mandril de núcleo para alcanzar un voltaje inducido neto cero medido entre el primer extremo y el segundo extremo de la bobina de conexión a tierra 700 formada por el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra. Para alcanzar el voltaje inducido neto cero, el hilo de conexión a tierra se enrolla de manera que el número total de vueltas de la bobina de conexión a tierra en el sentido de las agujas del reloj a lo largo de la longitud del mandril de núcleo 510 sea igual o sustancialmente igual al número total de vueltas en el sentido contrario a las agujas del reloj a lo largo de la longitud del mandril de núcleo para el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra. Por ejemplo, la mitad de las vueltas del trayecto 516 del hilo de conexión a tierra (es decir, que forma la bobina de conexión a tierra) pueden ser en el sentido de las agujas del reloj y la mitad de las vueltas del trayecto 516 del hilo de conexión a tierra pueden ser en el sentido contrario a las agujas del reloj.

Para reducir la acumulación de voltaje dentro de la bobina de conexión a tierra, se puede alternar la dirección en la que se envuelve o enrolla el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra (por ejemplo, entre las direcciones en sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj alrededor del mandril de núcleo). Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares, el trayecto 516 de hilo (es decir, la bobina de conexión a tierra) se puede envolver o enrollar de modo que el hilo alterne entre un número específico de vueltas alrededor del mandril de núcleo 510 en una primera dirección generalmente circunferencial a lo largo de la longitud del mandril de núcleo 510 como se muestra por la flecha 702 (por ejemplo, un número específico de vueltas en la dirección en el sentido de las agujas del reloj) y un número específico de vueltas alrededor del mandril de núcleo 510 en una segunda dirección circunferencial a lo largo de la longitud del mandril de núcleo como se muestra por la flecha 704 (por ejemplo un número específico de vueltas en la dirección en el sentido contrario a las agujas del reloj). Como se muestra en la Figura 7, por ejemplo, el trayecto 516 del hilo de conexión a tierra se puede envolver y enrollar alrededor del mandril de núcleo 510 para alternar entre el mismo número de vueltas en las direcciones en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj (por ejemplo, alternando entre diez vueltas en la dirección en el sentido de las agujas del reloj y diez vueltas en la dirección en el sentido contrario a las agujas del reloj). Mientras que la Figura 7 ilustra un ejemplo no limitativo de un patrón de vueltas alternas que forman la bobina de conexión a tierra, se pueden implementar las realizaciones ejemplares de la presente descripción usando otros patrones de vueltas alternas de modo que el hilo se enrolle para formar una bobina de conexión a tierra que tenga un número igual o sustancialmente igual de vueltas en la dirección en el sentido de las agujas del reloj a lo largo de la longitud del mandril de núcleo 510 y en la dirección en el sentido contrario a las agujas del reloj a lo largo de la longitud del mandril de núcleo 510 para el (primer) trayecto 516 del hilo de conexión a tierra.

La Figura 8 muestra una disposición de control de esfuerzo eléctrico que se puede implementar para la disposición de bobinas 500. Como se muestra en la Figura 8, la cinta de graduación 802 se puede disponer a lo largo del perfil en pendiente de los extremos escalonados o graduados de la disposición de bobinas 500 para limitar el esfuerzo eléctrico en la disposición de bobinas 500 en los extremos de la disposición de bobinas 500. La cinta de graduación 802 se puede insertar entre las capas de bobinas escalonadas y se puede extender generalmente hacia el mandril de núcleo 510. A medida que la cinta de graduación 802 se acerca al mandril de núcleo 510, la cinta de graduación se puede doblar para hacer una transición de una dirección generalmente radial a una dirección generalmente longitudinal con respecto al mandril de núcleo. La cinta de graduación 802 se puede disponer con respecto al mandril de núcleo 510 de manera que la cinta de graduación 802 esté cerca, pero no entre en contacto con la bobina de conexión a tierra (por ejemplo, esté separada lejos de la bobina de conexión a tierra, por ejemplo, aproximadamente un centímetro). La cinta de graduación 802 puede estar formada por un material dieléctrico no lineal que limita el esfuerzo eléctrico en los extremos de la disposición de bobinas 500 para evitar o reducir descargas eléctricas no deseadas o averías en los extremos de la disposición de bobinas 500. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la cinta de graduación 802 puede estar formada por una base de polímero, tal como caucho EPR, con materiales en polvo ferroeléctricos o de óxido metálico para impartir no linealidad dieléctrica a la cinta de graduación 802.

En las realizaciones ejemplares, las piezas de la cinta de graduación 802 se pueden colocar en capas y apilar radialmente desde la bobina de conexión a tierra hasta una capa de bobina escalonada exterior. Por ejemplo, una primera pieza de cinta de graduación 810 se puede extender desde la próxima a la bobina de conexión a tierra hasta un número específico de bobinas escalonadas. Una segunda pieza de cinta de presión 820 puede comenzar en y superponerse al extremo de la primera pieza de cinta de graduación 810 y se puede extender hasta un número específico de capas de bobinas escalonadas. Una tercera pieza de cinta de graduación 830 puede comenzar en y superponerse al extremo de la segunda pieza de cinta de graduación 810 y se puede extender hasta un número específico de capas de bobinas escalonadas. En general, la cinta de graduación 802 está dispuesta para cubrir el

borde de la disposición de bobinas 500 y se extiende para estar cerca de la bobina de conexión a tierra para limitar o aliviar el esfuerzo eléctrico que se puede acumular en los extremos de la disposición de bobinas 500.

5 Las realizaciones de la disposición de bobinas 500 descritas con respecto a las Figuras 5-8 pueden reducir ventajosamente la probabilidad de descargas eléctricas no deseadas debido a la configuración de la capa de bobina de conexión a tierra, las capas de cinta de presión, las capas de material aislante, el uso de menos vueltas en capas sucesivas de bobina escalonada para crear un perfil en pendiente y/o el uso de la cinta de graduación a lo largo de los extremos de la disposición de bobinas. La reducción de la probabilidad de descarga eléctrica no deseable permite ventajosamente realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes que utilizan la disposición de bobinas 500 para operar de manera segura y efectiva sin requerir que la disposición de bobinas esté sumergida en un aceite aislante. Como resultado, las realizaciones ejemplares de la presente descripción pueden incluir transformadores resonantes que son más ligeros que los transformadores resonantes convencionales. La probabilidad reducida de descargas eléctricas no deseadas también permite que la disposición de bobinas 500 incluya más vueltas que las bobinas en los transformadores resonantes convencionales, lo que permite que las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes tengan inductancias más altas y voltajes de salida más altos que los transformadores resonantes convencionales. Creando bobinas según las realizaciones de la disposición de bobinas 500 con inductancias más altas que las disposiciones de bobinas convencionales, el tamaño del hueco en las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria puede ser más pequeño que el de los transformadores resonantes convencionales, al tiempo que se permite un amplio rango de inductancias adecuadas para lograr una resonancia con un amplio rango de capacidades de carga.

10 Las realizaciones ejemplares de la presente descripción proporcionan ventajosamente un transformador resonante relativamente pequeño y ligero que se puede controlar para proporcionar un valor de inductancia preciso y estable. Por ejemplo, las realizaciones de la disposición de bobinas descrita en la presente memoria pueden reducir las descargas eléctricas no deseadas para proporcionar un transformador resonante estable que puede operar sin estar encerrado en una carcasa que se mantiene a alta presión o llena de aceite como los transformadores resonantes de alto voltaje convencionales. A diferencia de los transformadores resonantes convencionales, que usan celulosa y un aceite aislante para mantener la estabilidad dieléctrica, la estabilidad (dieléctrica) proporcionada por realizaciones de la disposición de bobinas permite que la carcasa de las realizaciones ejemplares del transformador resonante (cuando se usa) se llene con materiales más ligeros, tales como aire con baja humedad (aire seco) o gases inertes (por ejemplo, nitrógeno) a una presión relativamente baja (0-5 psig). Además, disponiendo de una parte del núcleo magnético dividido externo a la carcasa principal, la carcasa principal se puede hacer más pequeña que los tanques de los transformadores convencionales, lo que proporciona ventajosamente una reducción de tamaño y peso adicional en comparación con los transformadores resonantes convencionales. Los datos experimentales indican que las realizaciones ejemplares del transformador resonante pueden tener un peso total (incluidas la fuente de alimentación y los controles) que es menor que aproximadamente el treinta y cinco por ciento (35%) a aproximadamente el sesenta y cinco por ciento (65%) del peso de un transformador resonante convencional equivalente. Por ejemplo, una realización ejemplar del transformador resonante que incluye dos bobinas puede pesar aproximadamente de 498,95 a aproximadamente 544,31 kilogramos (1100 a aproximadamente 1200 libras), mientras que un transformador resonante convencional puede pesar más de 1360,78 kilogramos (3000 libras). Una reducción en el tamaño y el peso del transformador resonante puede permitir que las realizaciones ejemplares del transformador resonante se alojen dentro de una furgoneta pequeña en lugar de un camión de tamaño mediano.

15 Cuando el entrehierro se establece en un valor mínimo, las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria pueden generar una inductancia que tiene un valor significativamente más alto que los transformadores resonantes convencionales; permitiendo que se alcance la resonancia con cables muy cortos. Por ejemplo, debido a la estabilidad dieléctrica de las disposiciones de bobina descritas en la presente memoria, las bobinas de los transformadores resonantes pueden incluir un número de vueltas para generar una inductancia suficientemente grande para formar un circuito resonante con una capacitancia de carga de diez (10) a veinte (20) nanofaradios cuando el hueco del transformador resonante se establece en el tamaño de hueco mínimo y la frecuencia de salida se establece entre aproximadamente cincuenta (50) hercios y aproximadamente sesenta (60) hercios. Tales inductancias normalmente no se logran a frecuencias de potencia de 50 Hz a 60 Hz en transformadores resonantes convencionales disponibles comercialmente.

20 De manera similar, los huecos de las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes de la presente descripción pueden ventajosamente ser más pequeños que los de un transformador resonante convencional y se pueden configurar de tal manera que el entrehierro se pueda colocar o bien fuera o bien dentro de la carcasa principal. Debido a que las disposiciones de bobinas descritas en la presente memoria pueden generar una inductancia adecuadamente grande mientras que se mantiene la estabilidad dieléctrica, el tamaño de los huecos se puede reducir en comparación con los transformadores resonantes convencionales, mientras que aún se alcanza un amplio rango de inductancias para permitir que el transformador resonante se configure para lograr una resonancia con capacitancias de carga pequeñas (por ejemplo, 10 nanofaradios) y capacitancias de carga grandes (por ejemplo, 800 nanofaradios). El tamaño del hueco se puede cambiar paso a paso o continuamente con la posibilidad de insertar un separador no magnético entre las caras de un núcleo magnético dividido y ejerciendo una fuerza de compresión sobre los insertos, para obtener una inductancia de reactor que cae muy cerca de la requerida para alcanzar una resonancia con la capacitancia del cable de prueba. La resonancia final se puede alcanzar cambiando

la frecuencia de un voltaje de entrada al transformador resonante entre, por ejemplo, aproximadamente 50 Hz y aproximadamente 60 Hz.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso 900 para configurar las realizaciones ejemplares del equipo de prueba resonante 104 para operar en o cerca de la resonancia. Para comenzar, en el paso 902, se puede establecer una amplitud máxima de un voltaje de una señal de prueba resonante en la entrada del reactor. Se puede especificar la amplitud máxima en base al tipo de cable de energía eléctrica a ser probado, que se puede introducir por un usuario a través del dispositivo informático del sistema de prueba resonante o se puede obtener de otro modo mediante el dispositivo informático. El sistema de prueba resonante puede monitorizar la amplitud del voltaje en la entrada del reactor usando realimentación de voltaje para asegurar que la amplitud no exceda la amplitud máxima especificada. En el paso 904 se determina la capacitancia de un cable para el que se realizarán las pruebas de diagnóstico. Como se describe en la presente memoria, en algunas realizaciones, la capacitancia del cable se puede estimar en base a información acerca del cable, tal como una longitud del cable, un diámetro conductor del cable, un tipo de aislamiento del cable y una clase de voltaje del cable, que se puede introducir por un usuario (por ejemplo, a través de una interfaz gráfica de usuario representada en un visualizador por el dispositivo informático 106). En algunas realizaciones, el usuario puede introducir la capacitancia estimada del cable. En algunas realizaciones, se pueden configurar las realizaciones del equipo de prueba resonante 104 para estimar la capacitancia del cable en base a las pruebas preliminares del cable.

Una vez que se ha estimado la capacitancia del cable, el proceso 900 puede continuar, para establecer la frecuencia de salida del inversor en un valor de frecuencia especificado, en el paso 906, y para establecer la inductancia del reactor en un valor de inductancia inicial especificado, en el paso 908. Por ejemplo, en realizaciones ejemplares, se puede establecer la frecuencia de salida para que esté en un punto medio de la frecuencia de potencia (por ejemplo, 55 Hz). Se puede determinar el valor de inductancia inicial especificado controlando el hueco entre un núcleo magnético dividido del reactor como se describe en la presente memoria (por ejemplo, ajustando el tamaño del hueco a un valor especificado).

En el paso 910, el controlador puede ajustar la inductancia del reactor para minimizar el ángulo de fase entre el voltaje de salida y la corriente del equipo de prueba resonante. Por ejemplo, en realizaciones ejemplares, el tamaño del hueco entre el núcleo dividido (por ejemplo, la distancia entre los segmentos del núcleo dividido) se puede ajustar para ajustar la inductancia del reactor hasta que se alcance un valor de ángulo de fase lo más cercano posible a cero, donde un ángulo de fase de cero generalmente corresponde a la resonancia. En algunas realizaciones, el tamaño del hueco se puede cambiar de manera continua o discreta, y a medida que se cambia el tamaño del hueco, el valor absoluto del ángulo de fase puede cambiar (por ejemplo, aumentar o disminuir). El controlador puede identificar el tamaño del hueco que corresponde al ángulo de fase mínimo y puede establecer el tamaño de hueco en el tamaño del hueco identificado. Dependiendo de la capacitancia del cable que se esté probando, el hueco del núcleo magnético dividido del reactor se puede establecer de manera que se alcance la resonancia a la frecuencia de salida inicial del inversor. No obstante, para muchos cables, el tamaño del hueco se puede ajustar para establecer una inductancia del reactor que se acerque o se aproxime a la resonancia.

En el paso 912, con la inductancia del reactor establecida, el controlador puede ajustar la frecuencia de salida del inversor (si es necesario) para alcanzar la resonancia. Por ejemplo, el controlador puede barrer la frecuencia de salida del inversor hasta que el controlador identifique una frecuencia de salida para la que se alcance la resonancia. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la frecuencia de salida del inversor se puede barrer hasta que se alcance un voltaje de salida máximo y una corriente de salida mínima. Para realizaciones en las que la frecuencia de salida se establece inicialmente en 55 Hz, la frecuencia de salida se puede disminuir y/o aumentar gradualmente hasta que se alcance la resonancia. En algunas realizaciones, se puede controlar la frecuencia de salida en incrementos de 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 Hz y/o en cualquier incremento de frecuencia adecuado. Una vez que se ha alcanzado la resonancia, se puede utilizar el equipo de prueba resonante, en el paso 914, para realizar las pruebas de diagnóstico del cable acoplado operativamente a la salida del reactor. Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares, se puede implementar una prueba de descarga parcial para identificar si el cable está experimentando descargas parciales y/o donde a lo largo de la longitud del cable están ocurriendo las descargas parciales.

La Figura 10 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso 1000 ejemplar de operación de una realización del sistema de prueba resonante 100 para implementar un perfil de prueba. En el paso 1002, el dispositivo informático puede ejecutar código para recuperar un perfil de prueba seleccionado de una base de datos que almacena perfiles de prueba para diferentes tipos de cables eléctricos. En las realizaciones ejemplares, se puede sugerir al usuario que seleccione un perfil de prueba a través de una interfaz gráfica de usuario generada por la aplicación de pruebas de diagnóstico o se puede seleccionar automáticamente el perfil de prueba por la aplicación en respuesta a la información recibida a través de la interfaz gráfica de usuario describiendo y/o identificando el tipo de cable eléctrico a ser probado. En respuesta a la activación de una prueba de diagnóstico (por ejemplo, tras la selección de un botón en la interfaz gráfica de usuario para iniciar las pruebas), el dispositivo informático puede comunicarse con el dispositivo de procesamiento del equipo de prueba resonante para configurar la frecuencia y la inductancia del equipo de prueba resonante en base a una capacitancia del cable eléctrico a ser probado como se describe en la presente memoria y para establecer el voltaje de salida del equipo de prueba resonante a un voltaje de prueba especificado en el perfil de prueba, en el paso 1004. Para establecer el voltaje de salida del equipo de prueba resonante en el voltaje de prueba, el dispositivo de procesamiento puede ejecutar el microprograma para controlar el

inversor del equipo de prueba resonante para establecer el voltaje de salida del inversor. El voltaje de salida del inversor y el equipo de prueba resonante se pueden monitorizar a través de caminos de realimentación como se describe en la presente memoria para asegurar que la salida del equipo de prueba resonante esté dentro de una tolerancia especificada del voltaje de prueba.

- 5 En el paso 1006, el equipo de prueba resonante puede aplicar el voltaje de prueba al cable que se está probando durante un período de tiempo especificado en el perfil de prueba y puede medir las características eléctricas del cable. Las características eléctricas medidas se pueden transmitir desde el equipo de prueba resonante al dispositivo informático para almacenar datos correspondientes a las características eléctricas del cable en una estructura de datos mantenida por el dispositivo informático, en el paso 1008. Después de que se complete la prueba, la estructura de datos que almacena los datos correspondientes a las características eléctricas del cable se puede transmitir desde el dispositivo informático a un servidor remoto para su procesamiento adicional. En el paso 1010, el dispositivo de procesamiento del equipo de prueba resonante y/o el dispositivo informático pueden determinar si el perfil de prueba incluye voltajes de prueba adicionales. Si es así, el proceso 1000 se repite desde el paso 1004. De otro modo, el proceso 1000 continúa en el paso 1012 para establecer el voltaje de salida del equipo de prueba resonante en cero para completar la prueba de diagnóstico.

La Figura 11 es una representación gráfica de un perfil de prueba 1100 ejemplar que se puede implementar mediante las realizaciones ejemplares de la presente descripción. Un eje y 1102 representa un voltaje de salida del equipo de prueba resonante y un eje x representa el tiempo. Inicialmente, en el tiempo igual a cero, el voltaje de salida del equipo de prueba resonante es voltajes cero. Una vez que se implementa una prueba de diagnóstico, el voltaje de salida hace una transición de un voltaje cero a un voltaje de prueba 1112 y comienza una fase de prueba 1110 del perfil de prueba 1100. El voltaje de prueba 1112 permanece constante durante un período de tiempo 1114 y las características eléctricas del cable eléctrico que se está probando se miden durante el período de tiempo. Cuando expira el período de tiempo 1114, el equipo de prueba resonante hace una transición automáticamente a un voltaje de prueba 1122 para comenzar una fase de prueba 1120, durante la cual el voltaje de prueba 1122 se mantiene constante durante un período de tiempo 1124. Las características eléctricas del cable que se prueba se miden durante la fase de prueba 1120. Cuando expira el período de tiempo 1124, el equipo de prueba resonante hace una transición automáticamente a un voltaje de prueba 1132 para comenzar una fase de prueba 1130, durante la cual el voltaje de prueba 1132 se mantiene constante durante un período de tiempo 1134. Las características eléctricas del cable que se prueba se miden durante la fase de prueba 1130. A la expiración del período de tiempo 1134, el equipo de prueba resonante puede hacer una transición automáticamente a una fase de prueba final 1140 que tiene un voltaje de prueba 1142, que se mantiene constante durante un período de tiempo 1144. Las características eléctricas del cable que se prueba se miden durante la fase de prueba 1140. Al final de la fase de prueba 1140, el voltaje de salida de la prueba resonante puede volver automáticamente a cero voltios para completar la prueba.

La Figura 12 es un diagrama esquemático que ilustra una realización del sistema de prueba resonante 100 dispuesto dentro de un vehículo de campo 1200 para facilitar las pruebas de campo de los cables de energía eléctrica. Como se muestra en la Figura 12, el sistema de prueba resonante 100 se puede disponer con el vehículo de campo 1200. El vehículo 1200 puede incluir un motor de combustión interna 1202 que se puede acoplar operativamente a la fuente de energía recargable 112 del equipo de prueba resonante 104. Cuando el motor 1202 está acoplado operativamente a la fuente de energía recargable del sistema de prueba resonante 100 a través de un alternador 1204, y el motor 1202 está operando, el motor 1202 puede cargar la fuente de energía recargable a través del alternador 1204. En algunas realizaciones, el vehículo 1200 puede incluir una matriz de células solares 1206 dispuestas o incrustadas en el techo del vehículo 1200. En algunas realizaciones, las células solares 1206 se pueden acoplar operativamente a la fuente de energía recargable para facilitar la carga de la fuente de energía recargable convirtiendo la luz en electricidad. En algunas realizaciones, la matriz de células solares 1206 puede ser independiente del vehículo 1200, de manera que las células solares se puedan disponer remotas al vehículo mientras que están acopladas operativamente a la fuente de energía recargable.

En las realizaciones ejemplares, el vehículo de campo 1200 puede ser una furgoneta (por ejemplo, una Dodge Sprinter) que tiene un solo eje trasero con dos ruedas. La furgoneta puede tener una clasificación de peso bruto del vehículo (GVWR) de 3878,21 kilogramos (8550 libras) y una carga útil máxima de 4989,52 kilogramos (3500 libras) en comparación con una GVWR de 8845,05 kilogramos (19500 libras) y una carga útil máxima de 4989,52 kilogramos (11000 libras) de los camiones que se requerirían usar para los sistemas de prueba resonantes convencionales. En las realizaciones ejemplares, el sistema de prueba resonante puede pesar aproximadamente 680,39 kilogramos (1500 libras) (de los cuales el transformador resonante comprende aproximadamente 498,95 a 544,31 kilogramos (1100 a 1200 libras) del total de los 680,39 kilogramos (1500 libras)), de manera que el sistema de prueba resonante se pueda instalar en cualquier vehículo que soporte una carga de aproximadamente 680,39 kilogramos (1500 libras) incluyendo, por ejemplo, vehículos que tengan una carga útil máxima de aproximadamente 680,39 kilogramos (1500 libras). Debido a que las realizaciones ejemplares se pueden instalar en un vehículo de campo más pequeño que los sistemas de prueba resonantes convencionales, las realizaciones ejemplares de la presente descripción se pueden implementar para lograr un coste operativo más bajo y un consumo de combustible más bajo en comparación con los sistemas convencionales, al tiempo que se reduce también el desgaste en el motor del vehículo de campo 1200.

Las ventajas anteriores de las realizaciones ejemplares de la presente descripción se pueden realizar, por ejemplo, porque el tamaño y peso de las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria se pueden reducir en comparación con los transformadores resonantes convencionales en base al posicionamiento de los segmentos de núcleo con respecto a la carcasa y las disposiciones de bobinas descritas en la presente memoria. Es decir, posicionando uno de los segmentos de núcleo externos a la carcasa principal del transformador resonante las dimensiones de la carcasa se pueden reducir y usando las disposiciones de bobina descritas en la presente memoria, se puede reducir la probabilidad de descargas eléctricas no deseadas para proporcionar un transformador resonante estable que puede operar sin estar encerrado en una carcasa que está llena de aceite aislante como lo están los transformadores resonantes de alto voltaje convencionales; dando como resultado por ello una reducción de peso significativa en comparación con los transformadores resonantes convencionales. Los datos experimentales indican que las realizaciones ejemplares del transformador resonante pueden tener un peso total (incluyendo el suministro de energía y los controles) que es menor que aproximadamente el treinta y cinco por ciento (35%) a aproximadamente el sesenta y cinco por ciento (65%) del peso de un transformador resonante convencional equivalente. Por ejemplo, una realización ejemplar del transformador resonante que incluye dos bobinas puede pesar aproximadamente de 498,95 a aproximadamente 544,31 kilogramos (1100 a aproximadamente 1200 libras), mientras que un transformador resonante convencional puede pesar más de 1360,78 kilogramos (3000 libras). Una reducción en tamaño y peso del transformador resonante puede permitir que las realizaciones ejemplares del transformador resonante se alojen dentro de una furgoneta pequeña en lugar de un camión de tamaño mediano.

Además de la reducción reconocida de peso y tamaño reconocida por las realizaciones ejemplares de la presente descripción, las realizaciones ejemplares del sistema de prueba resonante también pueden operar ventajosamente dentro de una frecuencia de potencia, mientras que se genera una condición de resonancia o casi resonancia con un amplio rango de cargas capacitivas (por ejemplo, la resonancia se puede alcanzar con capacitancias de carga pequeñas, tales como aproximadamente 10 nanofaradios y capacitancias de carga grandes, tales como aproximadamente 800 nanofaradios). Como ejemplo no limitativo, cuando el hueco del transformador resonante se establece en un tamaño de hueco mínimo, las realizaciones ejemplares de los transformadores resonantes descritos en la presente memoria pueden generar una inductancia que tiene un valor significativamente mayor que los transformadores resonantes convencionales; permitiendo que se alcance la resonancia con cables muy cortos. Por ejemplo, debido a la estabilidad dieléctrica de las disposiciones de bobinas descritas en la presente memoria, las bobinas de los transformadores resonantes pueden incluir un número de vueltas para generar una inductancia suficientemente grande para formar un circuito resonante con una capacidad de carga de diez (10) a veinte (20) nanofaradios cuando el hueco del transformador resonante se establece en un tamaño de hueco mínimo y la frecuencia de salida del equipo de prueba resonante se establece entre aproximadamente cincuenta hercios (50 Hz) y sesenta hercios (60 Hz). Tales inductancias típicamente no se alcanzan a frecuencias de potencia de 50 Hz a 60 Hz en transformadores resonantes convencionales disponibles comercialmente.

La Figura 13 es un diagrama de bloques de una realización ejemplar del dispositivo informático 106 de acuerdo con las realizaciones ejemplares de la presente descripción. El dispositivo informático 106 incluye uno o más medios legibles por ordenador no transitorios para almacenar una o más instrucciones, códigos o software ejecutables por ordenador para implementar las realizaciones ejemplares descritas en la presente memoria. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una aplicación de prueba de diagnóstico se puede almacenar en los medios legibles por ordenador no transitorios. Los medios legibles por ordenador no transitorios pueden incluir, pero no se limitan a, uno o más tipos de memoria de hardware, medios tangibles no transitorios (por ejemplo, uno o más discos magnéticos de almacenamiento, uno o más discos ópticos, uno o más unidades rápidas), y similares. Por ejemplo, la memoria 1306 incluida en el dispositivo informático 106 puede almacenar instrucciones, códigos o software legibles por ordenador y ejecutables por ordenador para generar una interfaz de usuario, a través de un usuario que realiza pruebas de diagnóstico de cables de energía eléctrica, puede interactuar con y/o controlar realizaciones del equipo de prueba resonante 104 y/o interactuar con un dispositivo informático remoto, tal como un servidor para cargar/descargar datos y/o para facilitar el control remoto de las realizaciones del equipo de prueba resonante 104. El dispositivo informático 106 también incluye un procesador configurable y/o programable 1302 y un núcleo asociado 1304, y opcionalmente, uno o más procesadores configurables y/o programables adicionales 1302' y un núcleo o núcleos asociados 1304' (por ejemplo, en el caso de sistemas informáticos que tienen múltiples procesadores/núcleos), para ejecutar instrucciones, códigos o software legibles por ordenador y ejecutables por ordenador almacenados en la memoria 1306 y otros programas para controlar el hardware de sistema. El procesador 1302 y el procesador o procesadores 1302' pueden ser cada uno un procesador de un solo núcleo o un procesador de múltiples núcleos (1304 y 1304').

La virtualización se puede emplear en el dispositivo informático 106 de modo que se puedan compartir dinámicamente la infraestructura y los recursos del dispositivo informático. Se puede proporcionar una máquina virtual 1314 para manejar un proceso que se ejecuta en múltiples procesadores de modo que el proceso parezca estar usando solamente un recurso informático en lugar de múltiples recursos informáticos. También se pueden usar múltiples máquinas virtuales con un procesador.

La memoria 1306 puede incluir una memoria de sistema informático o una memoria de acceso aleatorio, tal como DRAM, SRAM, MRAM, EDO RAM y similares. La memoria 1306 puede incluir también otros tipos de memoria, o combinaciones de los mismos.

Un usuario puede interactuar con el dispositivo informático 106 a través de un dispositivo de representación visual 1318, tal como un monitor de ordenador, que se puede acoplar operativamente, directa o indirectamente, al dispositivo informático 106 para mostrar una o más de las interfaces gráficas de usuario 1322 que se pueden proporcionar de acuerdo con las realizaciones ejemplares. El dispositivo informático 106 puede incluir otros dispositivos de I/O para recibir una entrada de un usuario, por ejemplo, un teclado o cualquier interfaz táctil multipunto adecuada 1308, y un dispositivo de apuntamiento 1310 (por ejemplo, un ratón). El teclado 1308 y el dispositivo de apuntamiento 1310 pueden estar acoplados al dispositivo de representación visual 1318. El dispositivo informático 106 puede incluir otros periféricos de I/O convencionales adecuados.

El dispositivo informático 106 también se puede incluir o estar acoplado operativamente a uno o más dispositivos de almacenamiento 1324, tales como un disco duro, CD-ROM u otros medios legibles por ordenador, para almacenar datos e instrucciones legibles por ordenador, código ejecutable y/o software que implementan las realizaciones ejemplares de la aplicación de pruebas de diagnóstico 108 o partes de la misma, así como procesos asociados descritos en la presente memoria. Por ejemplo, el dispositivo informático 106 puede ejecutar las instrucciones, el código y/o software para proporcionar las GUI 1322 a través de las cuales el usuario puede interactuar y/o controlar las realizaciones de la prueba resonante. El dispositivo de almacenamiento ejemplar 1324 también puede almacenar una o más bases de datos para almacenar cualquier información adecuada requerida para implementar realizaciones ejemplares. Por ejemplo, el dispositivo de almacenamiento ejemplar 1324 puede almacenar una o más bases de datos 1328 para almacenar información, tal como tipos de cables eléctricos y capacitancias asociadas, resultados de pruebas de diagnóstico realizadas sobre cables de energía eléctrica, datos de calibración/autodiagnóstico del equipo de prueba resonante, y/o cualquier otra información/datos adecuados que se puedan usar o generar mediante las realizaciones del sistema de prueba resonante 100 descrito en la presente memoria. Las bases de datos 1328 se pueden actualizar manual o automáticamente en cualquier momento adecuado para añadir, borrar y/o actualizar uno o más elementos en las bases de datos.

El dispositivo informático 106 puede incluir una interfaz de red 1312 configurada para interactuar a través de uno o más dispositivos de red 1320 con una o más redes, por ejemplo, Red de Área Local (LAN), Red de Área Extensa (WAN) o Internet a través de una variedad de conexiones incluyendo, pero no limitado a, líneas telefónicas estándar, enlaces LAN o WAN (por ejemplo, 802.11, T1, T3, 56 kb, X.25), conexiones de banda ancha (por ejemplo, ISDN, Frame Relay, ATM), conexiones inalámbricas, red de área de controlador (CAN), o alguna combinación de cualquiera o todas las anteriores. La interfaz de red 1312 puede incluir un adaptador de red incorporado, una tarjeta de interfaz de red, una tarjeta de red PCMCIA, un adaptador de red de bus de tarjeta, un adaptador de red inalámbrica, un adaptador de red USB, un módem o cualquier otro dispositivo adecuado para interactuar el dispositivo informático 106 con cualquier tipo de red capaz de comunicación y realización de las operaciones descritas en la presente memoria. Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares, la interfaz de red puede incluir un transceptor de RF y una antena para facilitar las comunicaciones inalámbricas entre el dispositivo informático 106 y otro dispositivo (por ejemplo, servidores 1410-1411 y bases de datos 1430-1431 de la Figura 14) a través de la red de comunicaciones 950. Además, el dispositivo informático 106 puede ser cualquier sistema informático, tal como una estación de trabajo, un ordenador de escritorio, un servidor, un ordenador portátil, un ordenador de mano, una tableta (por ejemplo, la tableta iPad™), un dispositivo informático o de comunicación móvil (por ejemplo, el dispositivo de comunicación iPhone™), un terminal de punto de venta, dispositivos corporativos internos u otra forma de dispositivo informático o de telecomunicaciones que sea capaz de comunicación y que tenga suficiente potencia de procesador y capacidad de memoria para realizar los procesos y/u operaciones descritas en la presente memoria.

El dispositivo informático 106 puede ejecutar cualquier sistema operativo 1316, tal como cualquiera de las versiones de los sistemas operativos Microsoft® Windows®, las diferentes versiones de los sistemas operativos Unix y Linux, cualquier versión de MacOS® para ordenadores Macintosh, cualquier sistema operativo incorporado, cualquier sistema operativo en tiempo real, cualquier sistema operativo de código abierto, cualquier sistema operativo propietario o cualquier otro sistema operativo capaz de ejecutarse en el dispositivo informático y realizar los procesos y/u operaciones descritas en la presente memoria. En las realizaciones ejemplares, el sistema operativo 1316 se puede ejecutar en modo nativo o en modo emulado. En una realización ejemplar, el sistema operativo 1316 se puede ejecutar en una o más instancias de máquinas en la nube.

Si bien en la presente memoria se describe que una realización ejemplar del dispositivo informático 106 incluye ciertos componentes, los expertos en la técnica reconocerán que el dispositivo informático 106 puede incluir más o menos componentes. Además, un experto en la técnica reconocerá que cualquier dispositivo informático que se pueda programar y/o configurar para interactuar con y/o controlar realizaciones del equipo de prueba resonante 104 o partes del mismo.

La Figura 14 representa un entorno de comunicación en red 1400 ejemplar que se puede utilizar para implementar las realizaciones ejemplares de la presente descripción. El entorno 1400 incluye servidores 1410-1411 acoplados operativamente a los sistemas de prueba resonantes 1420-1422 (realizaciones del sistema de prueba resonante 100), a través de una red de comunicación 1450, que puede ser cualquier red a través de la cual se pueda transmitir información entre dispositivos acoplados comunicativamente a la red. Por ejemplo, la red de comunicación 1450 puede ser Internet, una red Intranet, una red privada virtual (VPN), una red de área extensa (WAN), una red de área local (LAN) y similares. El entorno 1400 puede incluir repositorios o bases de datos 1430-1431, que se pueden

5 acoplar operativamente a los servidores 1410-1411, así como a los sistemas de prueba resonantes 1420-1422, a través de la red de comunicaciones 1450. Los servidores 1410-1411 y las bases de datos 1430- 1431 se pueden implementar como dispositivos informáticos. Los expertos en la técnica reconocerán que los dispositivos de base de datos 1430-1431 se pueden incorporar en uno o más de los servidores 1410-1411 de manera que uno o más de los servidores puedan incluir bases de datos.

10 Las bases de datos 1430-1431 pueden almacenar información para su uso por los sistemas de prueba resonantes 1420-1422. Por ejemplo, la base de datos 1430 puede almacenar información relacionada con los tipos de cables de energía eléctrica así como perfiles de prueba para los tipos de cables eléctricos, y la base de datos 1431 puede almacenar información relacionada con los resultados de las pruebas de diagnóstico realizadas por los sistemas de prueba resonantes 1420-1422.

15 En las realizaciones ejemplares, los sistemas de prueba resonante 1420-1422 pueden ser operador por los usuarios para realizar pruebas de campo de diagnóstico de cables de energía eléctrica. Por ejemplo, los sistemas de prueba resonantes 1420-1422 se pueden instalar en vehículos de campo 1460-1462, respectivamente, que pueden transportar los sistemas de prueba resonantes a diferentes áreas geográficas. Una vez en la ubicación de prueba, los usuarios pueden acoplar operativamente un cable de energía eléctrica a ser probado al sistema de prueba resonante como se describe en la presente memoria. El usuario puede interactuar con el dispositivo informático del sistema de prueba resonante para especificar información relacionada con el cable de energía eléctrica a través de una interfaz de usuario y puede iniciar las pruebas de diagnóstico del cable de energía eléctrica a través del equipo de prueba resonante. Tras finalizar (o durante) una prueba de diagnóstico, los datos asociados con los resultados de las pruebas se pueden transmitir, de manera inalámbrica o a través de cables, desde los sistemas de prueba resonantes al servidor 1410, a través de la red de comunicaciones 1450. El servidor 1410 puede procesar los datos y/o almacenar los datos en la base de datos 1431. Por ejemplo, en las realizaciones ejemplares, se puede programar el servidor 1410 para ejecutar uno o más procesos para determinar si los cables de energía eléctrica que han sido probados tienen descargas eléctricas no deseadas y/o puede identificar una ubicación de tales descargas eléctricas.

20  
25  
30 En algunas realizaciones, se puede programar el servidor 1411 para facilitar el control remoto de uno o más de los sistemas de prueba resonantes. De manera que el usuario pueda comunicarse con el servidor para indicar que el cable de energía eléctrica ha sido conectado y/o para proporcionar información acerca del cable de energía eléctrica, que se puede utilizar por el servidor 1411 cuando se implementa una prueba de diagnóstico sobre el cable de energía eléctrica. El servidor 1411 puede controlar de manera remota uno o más de los sistemas de prueba resonantes 1420-1422 para realizar pruebas de diagnóstico de cables y para facilitar la transmisión de datos asociados con los resultados de las pruebas de diagnóstico al servidor 1411 para procesamiento por el servidor 1411 y/o por el servidor 1410, y/o ser almacenados en la base de datos 1431.

En la descripción de las realizaciones ejemplares, se usa terminología específica por el bien de la claridad.

35 Además, en algunos casos donde una realización ejemplar particular incluye una pluralidad de elementos de sistema, componentes del dispositivo o pasos del método, esos elementos, componentes o pasos se pueden sustituir por un solo elemento, componente o paso. Asimismo, se puede sustituir un solo elemento, componente o paso por una pluralidad de elementos, componentes o pasos que sirvan al mismo propósito.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de prueba resonante (100) para pruebas de diagnóstico de cables eléctricos, el sistema de prueba resonante que comprende:
- 5 un inversor (110) configurado para recibir un voltaje de corriente continua, DC, (112) en una entrada y para emitir un voltaje de corriente alterna, AC, en una salida;
- un excitador (140) acoplado operativamente al inversor, el excitador que amplifica una amplitud del voltaje de AC;
- un reactor (150) que tiene una entrada que está acoplada operativamente al excitador y una salida que está configurada para ser acoplada operativamente a un cable eléctrico (102); y
- 10 un dispositivo de procesamiento (120) acoplado operativamente al inversor y al reactor, estando programado el dispositivo de procesamiento para ajustar una inductancia del reactor y una frecuencia de salida del inversor para lograr la resonancia en serie con el cable eléctrico.
2. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 1, que comprende además:
- una fuente de alimentación de DC (112) acoplada operativamente a la entrada del inversor.
3. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 2, en donde la fuente de alimentación de DC es una batería recargable configurada para recargarse mediante una operación de un motor de combustión, y que comprende además un filtro acoplado operativamente a, y en serie con, la salida del inversor y una entrada del excitador, el filtro que está configurado para filtrar la salida del inversor.
- 15 4. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 1, en donde el inversor está configurado para recibir un voltaje de AC rectificado desde una toma de potencia de AC (114).
- 20 5. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 1, en donde el dispositivo de procesamiento está programado para establecer una frecuencia de salida del sistema de prueba resonante en un primer valor de frecuencia antes de ajustar la inductancia del sistema de prueba resonante.
6. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 5, en donde el dispositivo de procesamiento está programado para establecer la frecuencia de salida del inversor al primer valor de frecuencia controlando la frecuencia de salida del inversor mediante un dispositivo de procesamiento para emitir desde el inversor el primer valor de frecuencia; recibir una señal de realimentación (170, 172) asociada con la salida del inversor; determinar si la señal de realimentación corresponde al primer valor de frecuencia; y ajustar la frecuencia de salida del inversor para que sea el primer valor de frecuencia en respuesta a determinar que la señal de realimentación no corresponde al primer valor de frecuencia.
- 25 7. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 5, en donde el dispositivo de procesamiento está programado para estimar una capacitancia del cable eléctrico antes de ajustar la inductancia del sistema de prueba resonante, el dispositivo de procesamiento que estima la capacitancia en respuesta a al menos una de una entrada de usuario o medición eléctrica del cable eléctrico,
- 30 en donde el dispositivo de procesamiento ajusta el valor de inductancia de prueba al menos en parte en base a la capacitancia estimada y el primer valor de frecuencia.
- 35 8. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 1, en donde el dispositivo de procesamiento está programado para:
- recibir señales de realimentación (170, 172) asociadas con la inductancia del reactor;
- ajustar la inductancia del reactor en base a las señales de realimentación;
- 40 determinar, a medida que se está ajustando la inductancia, si las señales de realimentación corresponden a un ángulo de fase mínimo entre un voltaje de salida y una corriente de salida del equipo de prueba resonante en base a las señales de realimentación; y
- en respuesta a determinar que las señales de realimentación corresponden al ángulo de fase mínimo, establecer un valor de inductancia de prueba fijo en la inductancia a la que las señales de realimentación corresponden al ángulo de fase mínimo.
- 45 9. El sistema de prueba resonante de la reivindicación 1, en donde el reactor tiene un núcleo magnético dividido que incluye un primer segmento de núcleo (222) y un segundo segmento de núcleo (224) que se puede mover con respecto al primer segmento de núcleo,

en donde el dispositivo de procesamiento está programado para ajustar la inductancia de la prueba resonante que controla un actuador (280) del reactor, el actuador que se controla por la señal de control para ajustar una distancia (275) entre el primer y segundo segmentos de núcleo hasta que se alcance el valor de inductancia de prueba.

5 10. Un método de realización de pruebas de diagnóstico de cables eléctricos usando un sistema de prueba resonante según la reivindicación 1, el método que comprende:

ajustar una inductancia del sistema de prueba resonante para establecer la inductancia del sistema de prueba resonante en un valor de inductancia de prueba;

10 ajustar una frecuencia de salida del sistema de prueba resonante para ajustar la frecuencia de salida a una frecuencia de prueba, el valor de inductancia de prueba y la frecuencia de prueba que se establecen para alcanzar la resonancia en serie con un cable eléctrico bajo prueba; y

realizar pruebas de diagnóstico del cable eléctrico con el sistema de prueba resonante en el valor de prueba de inductancia y el valor de frecuencia de prueba.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además:

15 establecer una frecuencia de salida del sistema de prueba resonante en un primer valor de frecuencia antes de ajustar la inductancia del sistema de prueba resonante.

12. El método de la reivindicación 11, en donde establecer la frecuencia de salida comprende:

controlar la frecuencia de salida del inversor mediante un dispositivo de procesamiento para emitir el primer valor de frecuencia desde el inversor;

recibir una señal de realimentación asociada con la salida del inversor;

20 determinar si la señal de realimentación corresponde al primer valor de frecuencia; y

ajustar la frecuencia de salida del inversor para que sea el primer valor de frecuencia en respuesta a determinar que la señal de realimentación no corresponde al primer valor de frecuencia.

13. El método de la reivindicación 11, que comprende además:

25 estimar una capacitancia del cable eléctrico antes de ajustar la inductancia del reactor del sistema de prueba resonante en respuesta a al menos una de una entrada de usuario o medición eléctrica del cable eléctrico,

en donde el valor de inductancia de prueba se determina al menos en parte en base a la capacitancia estimada y el primer valor de frecuencia.

14. El método de la reivindicación 10, en donde el sistema de prueba resonante incluye un reactor y ajustar la inductancia del sistema de prueba resonante comprende:

30 recibir señales de realimentación asociadas con la inductancia del reactor por un dispositivo de procesamiento;

ajustar la inductancia del reactor en base a las señales de realimentación;

determinar, mediante el procesador, a medida que se está ajustando la inductancia, si las señales de realimentación corresponden a un ángulo de fase mínimo entre un voltaje de salida y una corriente de salida del sistema de prueba resonante en base a las señales de realimentación; y

35 en respuesta a determinar que las señales de realimentación corresponden al ángulo de fase mínimo, establecer el valor de inductancia de prueba en la inductancia en la que las señales de realimentación corresponden al ángulo de fase mínimo.

40 15. El método de la reivindicación 10, en donde el reactor del sistema de prueba resonante tiene un núcleo magnético dividido que incluye un primer segmento de núcleo y un segundo segmento de núcleo que se puede mover con respecto al primer segmento de núcleo y ajustar la inductancia del sistema de prueba resonante comprende:

recibir señales de control desde un dispositivo de procesamiento por un actuador del reactor, el actuador que está controlado por la señal de control para ajustar una distancia entre el primer y segundo segmentos de núcleo hasta que se alcanza el valor de inductancia de prueba.

45 16. El método de la reivindicación 10, en donde ajustar la frecuencia de salida del inversor del sistema de prueba resonante comprende:

disminuir o aumentar la frecuencia de salida del inversor desde el primer valor de frecuencia en respuesta a señales de control recibidas desde un dispositivo de procesamiento hasta que se logra la resonancia.

17. El método de la reivindicación 10, en donde realizar una prueba de diagnóstico del cable eléctrico comprende realizar una prueba de descarga parcial en el cable eléctrico.

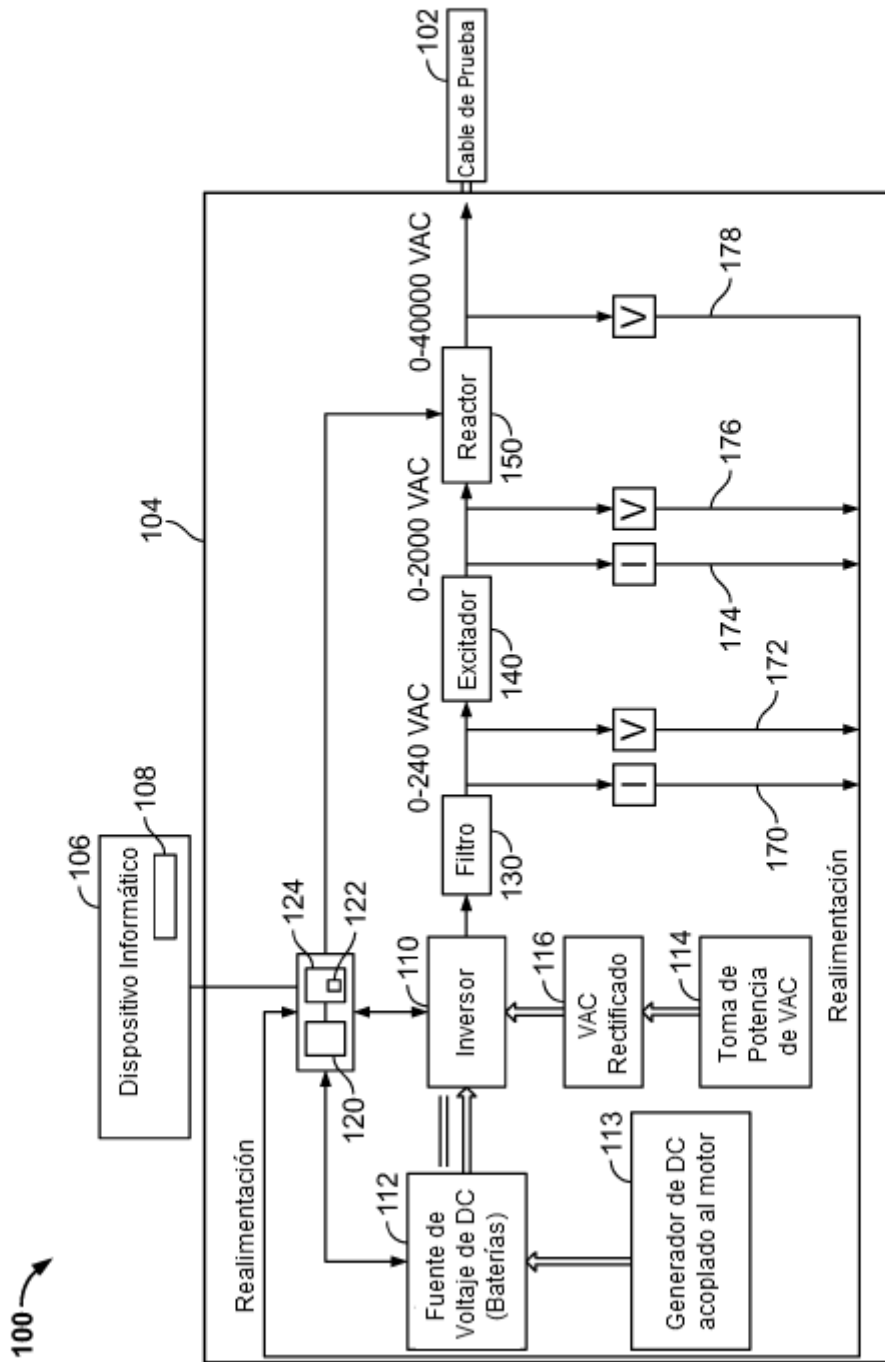


FIG. 1

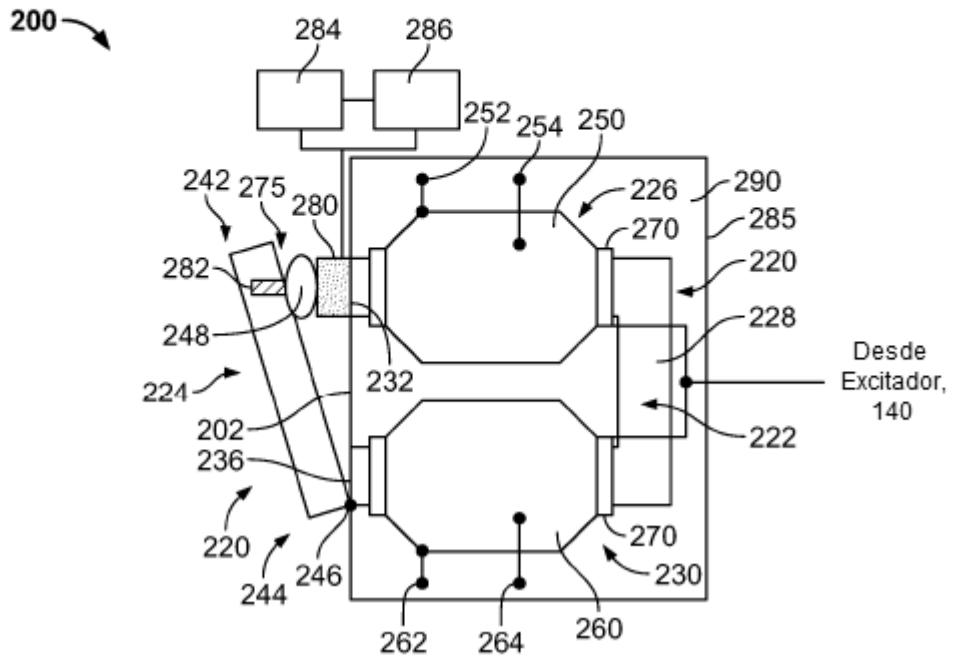


FIG. 2

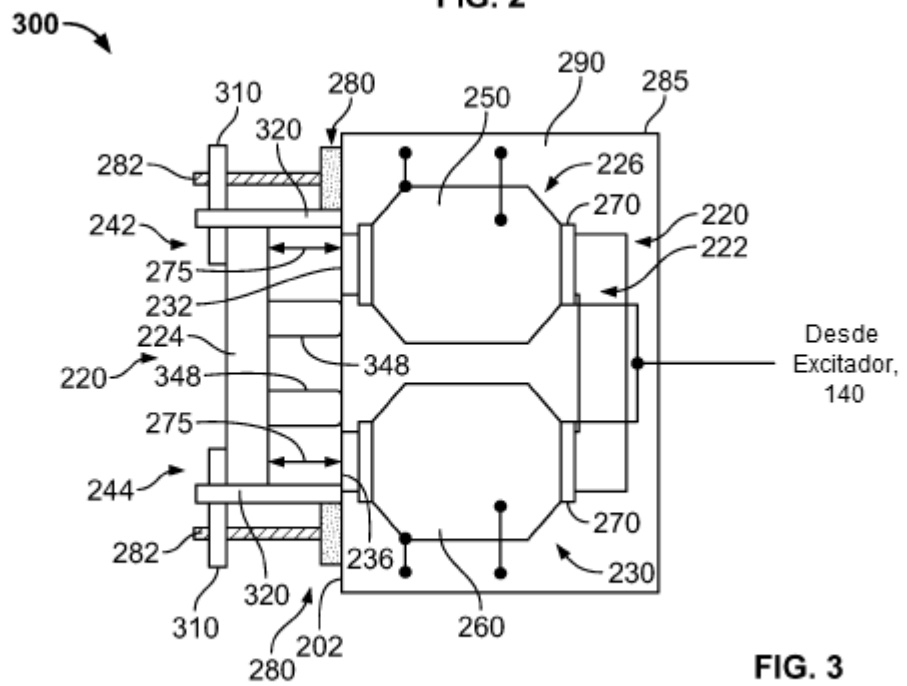


FIG. 3

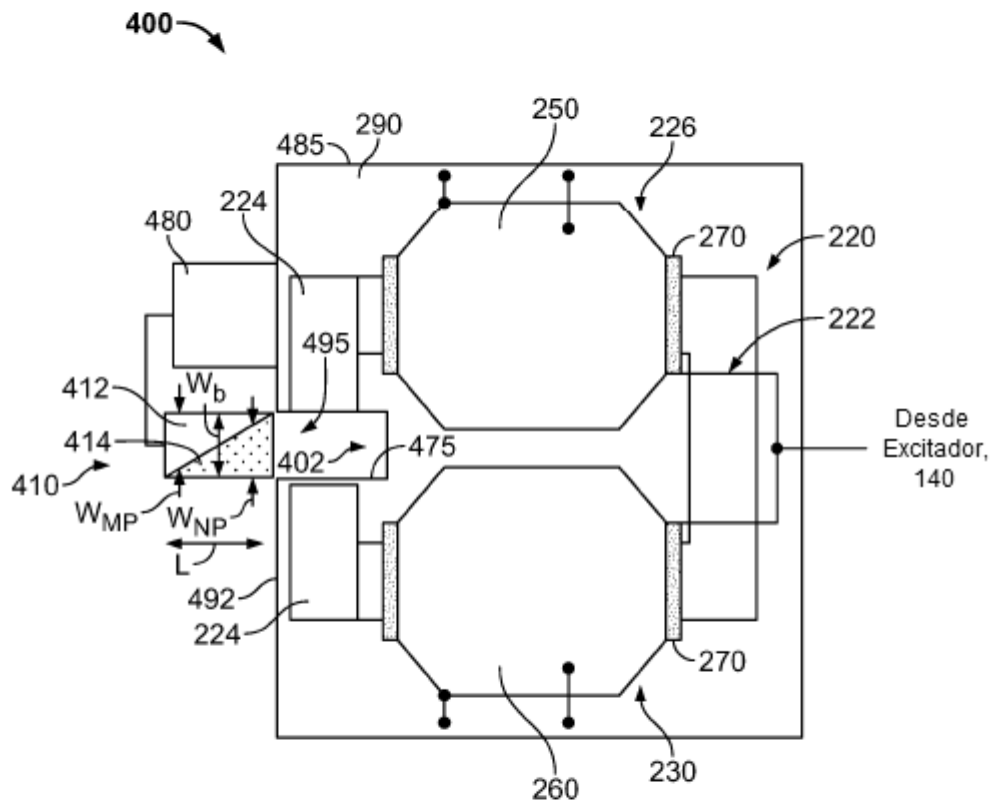


FIG. 4

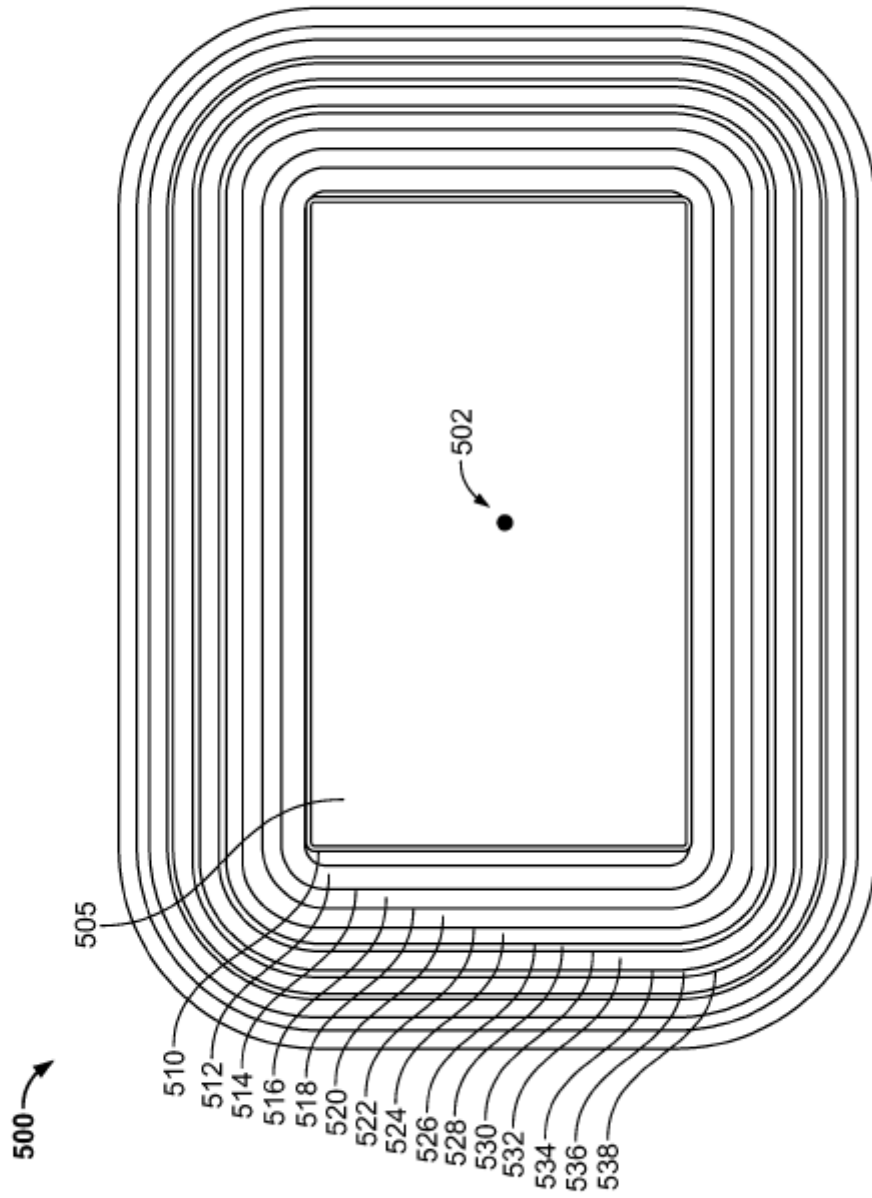


FIG. 5

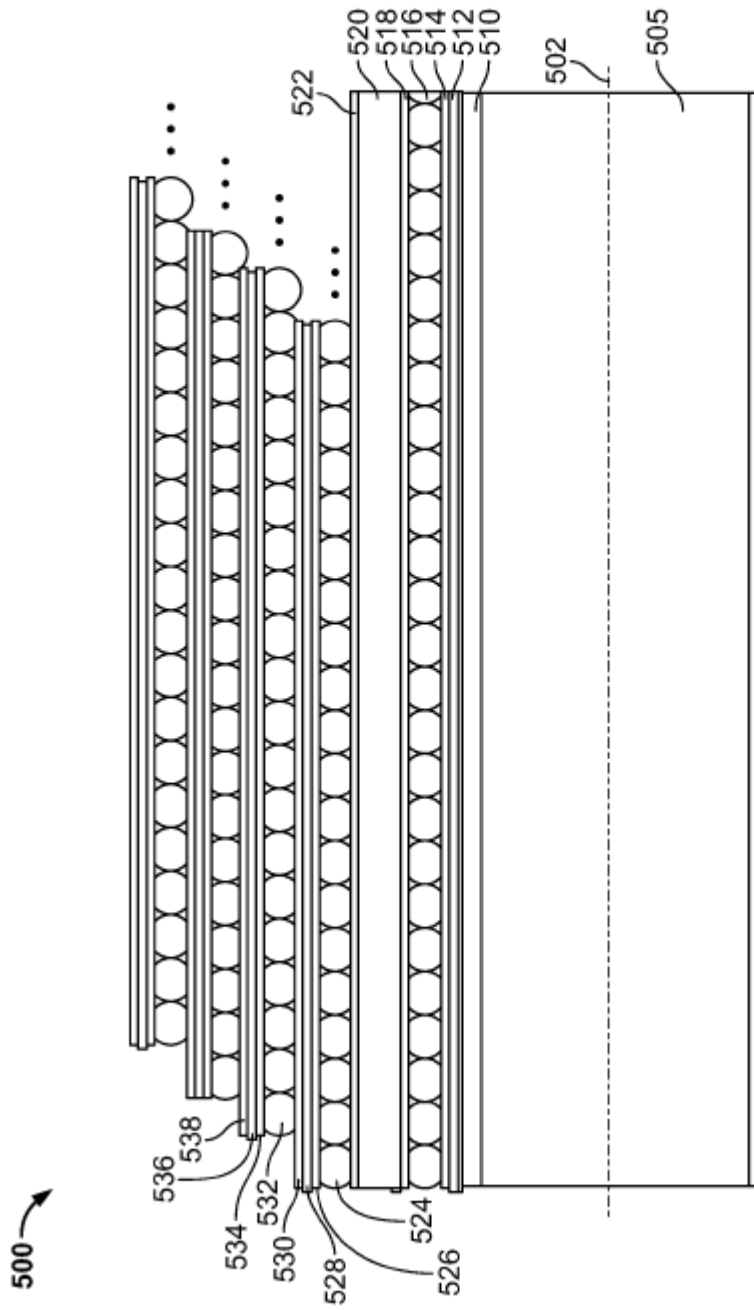
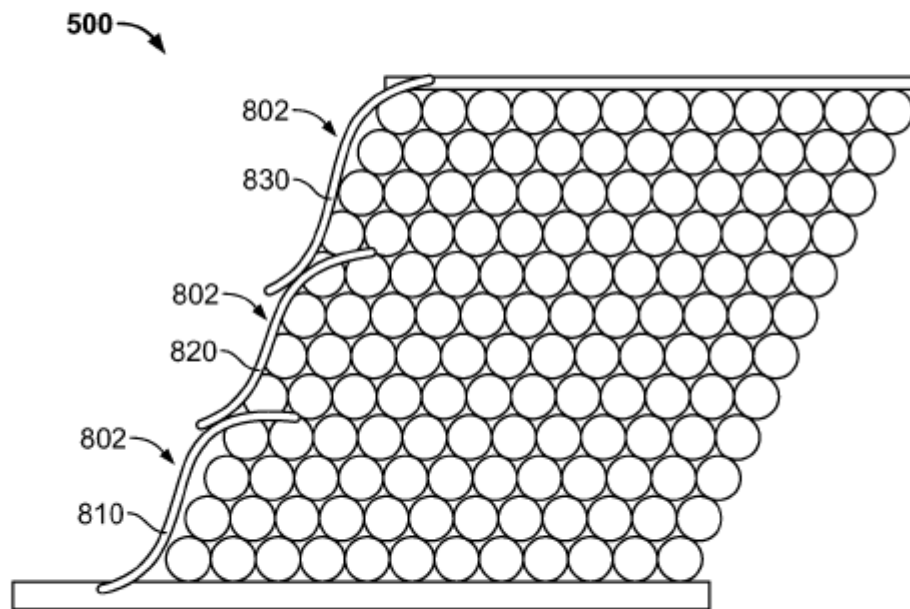
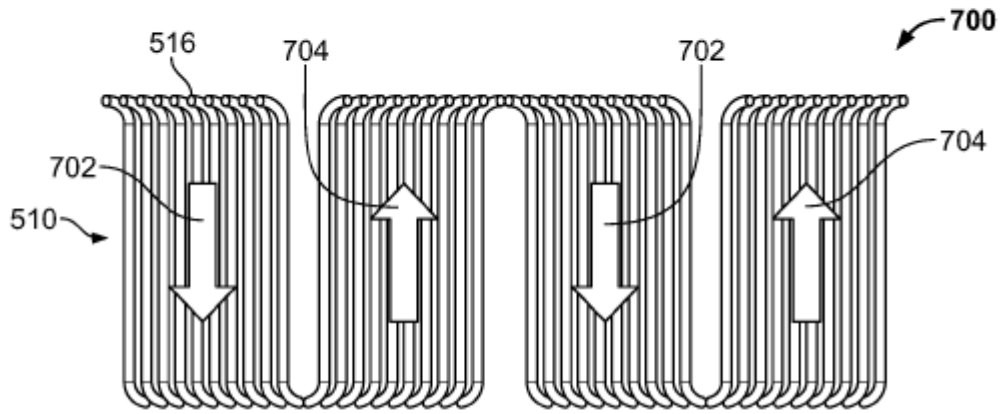


FIG. 6



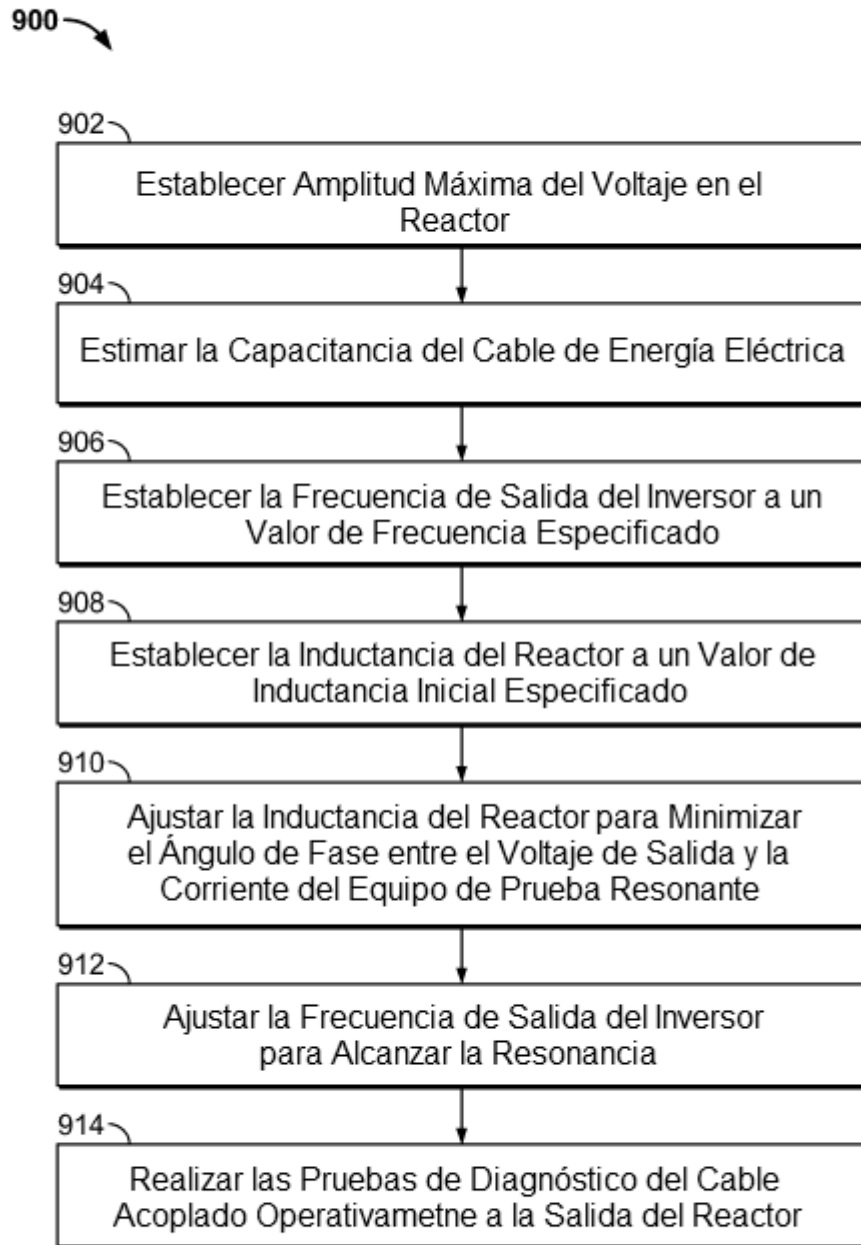


FIG. 9

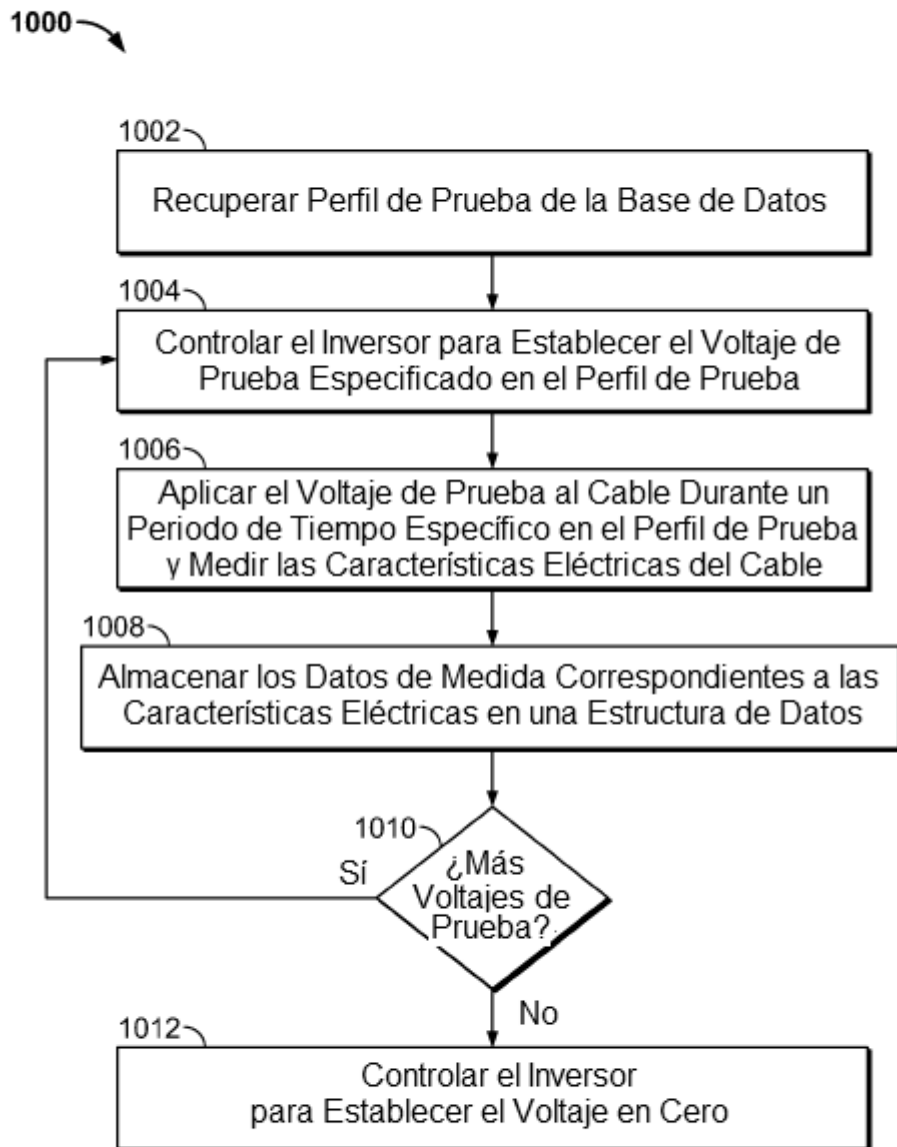


FIG. 10

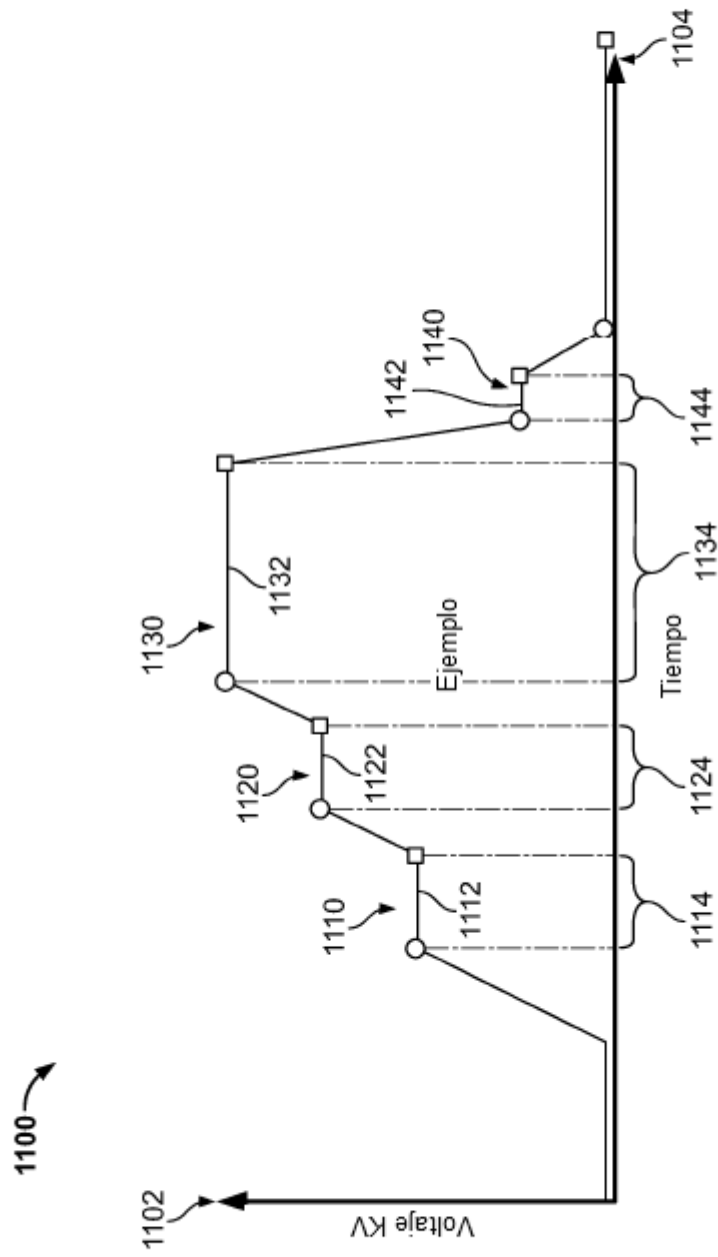


FIG. 11

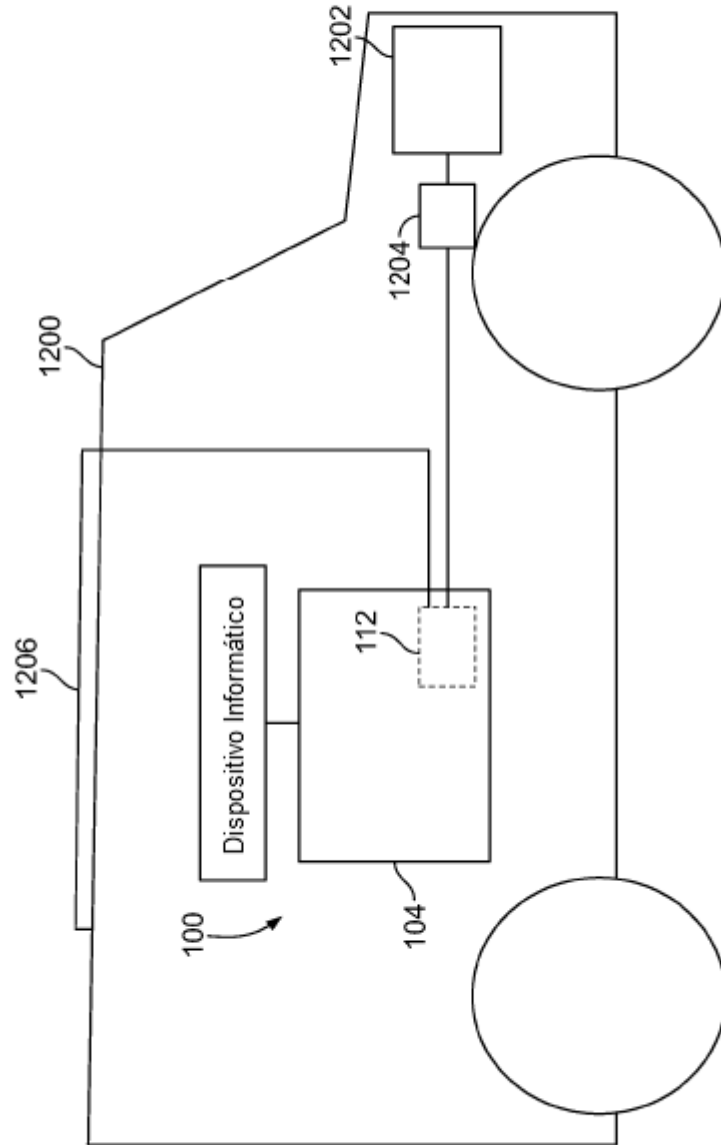


FIG. 12

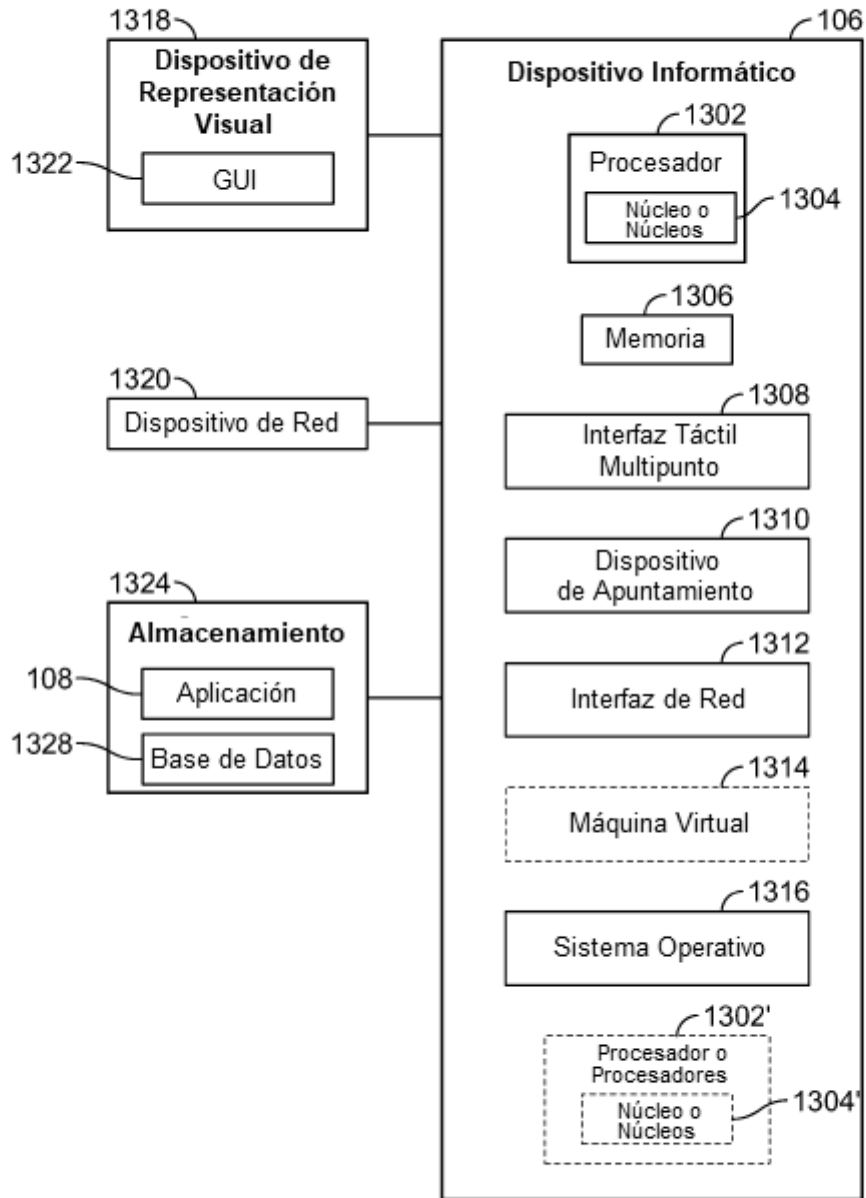


FIG. 13

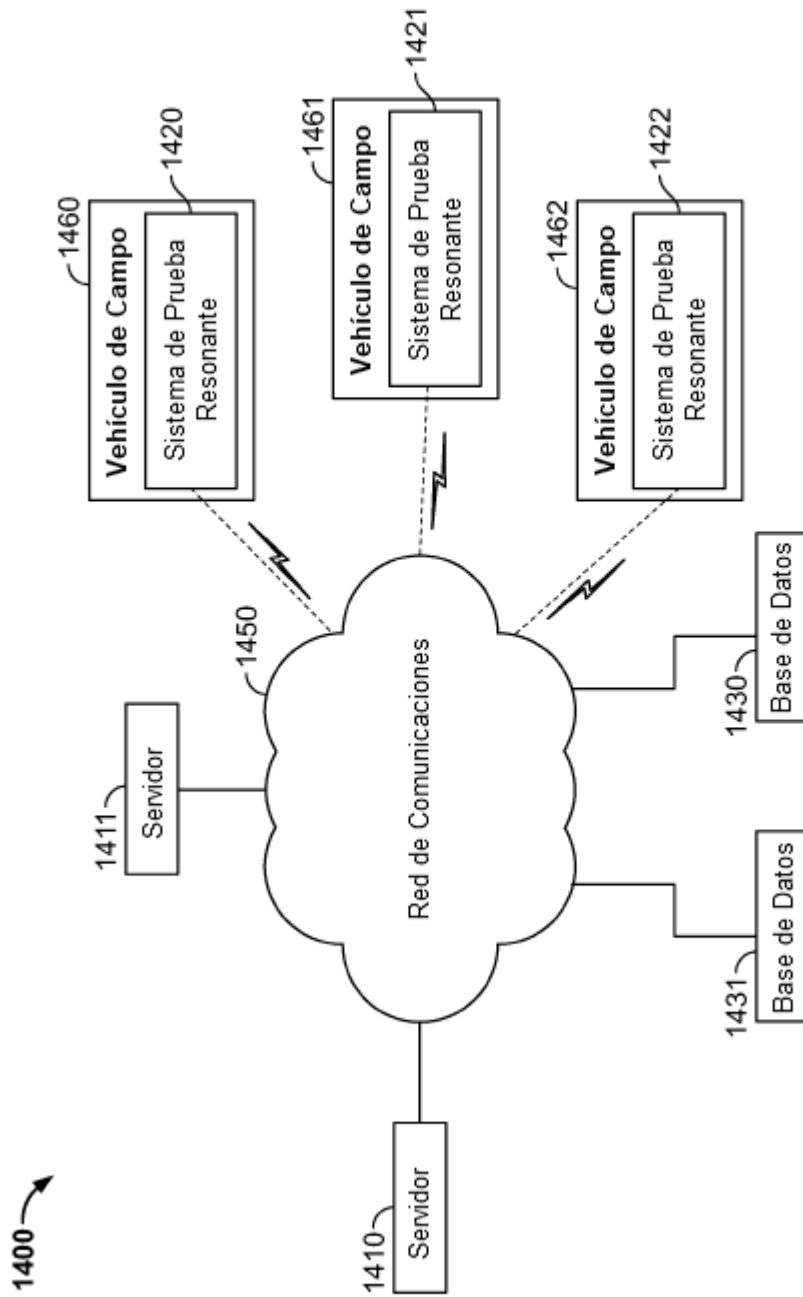


FIG. 14