

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 955**

51 Int. Cl.:

G01V 3/08 (2006.01)

G01V 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.08.2017** **PCT/US2017/046360**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.02.2018** **WO18031815**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2017** **E 17840303 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.05.2022** **EP 3497682**

54 Título: **Detector de cruce de direcciones para el límite de contención**

30 Prioridad:

12.08.2016 US 201662374677 P

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

12.08.2022

73 Titular/es:

GATEKEEPER SYSTEMS, INC. (100.0%)

90 Icon

Foothill Ranch, CA 92610, US

72 Inventor/es:

**CARTER, SCOTT J. y
CHANDLER, JAMES E.**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 920 955 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

Detector de cruce de direcciones para el límite de contención

La presente divulgación reivindica la prioridad a la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos Núm. 62/374.677, 12 de agosto de 2016.

5 **Antecedentes****Campo**

Esta aplicación está relacionada con la detección de campos electromagnéticos y con el seguimiento, la detección o la prevención de pérdidas de carros no motorizados de propulsión humana, que incluyen, pero sin limitarse, a los carros de compras.

10 **Descripción de la técnica relacionada**

Existe una variedad de sistemas de contención de carros disponibles en el mercado para disuadir el robo de carros de compras en una tienda. Normalmente, estos sistemas incluyen uno o más cables incrustados en el pavimento del aparcamiento de una tienda para definir el límite exterior de un área en la que se permite el uso de carros de compras. Los cables llevan una señal electromagnética que puede ser detectada por los sensores electromagnéticos del carro (normalmente en la rueda). Si el carro es empujado a través del cable incrustado, la señal electromagnética es detectada, y un sistema antirrobo del carro puede ser accionado (por ejemplo, un freno en una rueda puede ser accionado para inhibir el movimiento del carro). El documento EP 0994799 desvela un sistema antirrobo para carros de compras para una rueda de vehículo que tiene un eje de rotación que incluye al menos un inhibidor dispuesto dentro de la rueda del vehículo para enganchar y desenganchar selectivamente la rueda del vehículo para resistir y permitir el movimiento de rotación de la rueda del vehículo alrededor de su eje de rotación. El sistema antirrobo del vehículo también incluye una estructura giratoria dispuesta dentro de la rueda del vehículo y que coopera con el al menos un inhibidor para mover el al menos un inhibidor entre una posición acoplada y una posición desacoplada con respecto a la rueda del vehículo. El sistema antirrobo del vehículo incluye además un receptor que comprende un circuito de tanque resonante que tiene un solo inductor y que está asociado operativamente con la rueda del vehículo para recibir una señal predeterminada para activar la estructura giratoria para mover el al menos un inhibidor entre la posición enganchada y la posición desenganchada.

Sumario

De acuerdo con la reivindicación 1, se proporciona un sistema para detectar si un carro de propulsión humana con una rueda cruza un límite. El carro puede incluir un sistema antirrobo (por ejemplo, una rueda de bloqueo o de frenado), que se puede activar si el carro se desplaza del interior al exterior del área de contención. El sistema de un solo cable y un solo inductor puede ser menos costoso y más eficiente que los sistemas de múltiples cables y múltiples inductores.

Los detalles de una o más implementaciones de la materia descrita en esta memoria descriptiva se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción siguiente. Se debe señalar y entender que puede haber mejoras y modificaciones de la presente invención que se describen en detalle a continuación sin apartarse del alcance de la invención como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de instalación de un sistema de contención de carros en una tienda. La FIG. 2 muestra de forma esquemática un ejemplo de sistema que incluye una rueda de carro de compras que se mueve hacia el cable enterrado, antes de pasar por encima del mismo.

40 La FIG. 3A es un gráfico de un ejemplo de forma de onda que puede ser conducida a través de un cable enterrado. La FIG. 3B es un gráfico que muestra un ejemplo de forma de onda que es la suma de dos ondas sinusoidales con una octava de diferencia.

La FIG. 4A muestra un diagrama de bloques general de un ejemplo de receptor detector de dirección de un solo inductor para detectar una señal VLF del cable enterrado.

45 La FIG. 4B es un diagrama de bloques de un receptor detector de dirección de un solo inductor que es otra versión del receptor mostrado en la FIG. 4A.

La FIG. 4C es un diagrama de bloques de un receptor detector de dirección de un solo inductor que es otra versión de los receptores mostrados en las FIGS. 4A y 4B y se puede utilizar con una forma de onda de rampa

50 La FIG. 5A muestra un esquema de ejemplo de un receptor detector de dirección de un solo inductor configurado para la detección de ondas sinusoidales duales con un cambiador de frecuencia de circuito tanque.

La FIG. 5B muestra otro ejemplo de esquema de un receptor detector de dirección de un solo inductor para detectar una forma de onda de rampa.

La FIG. 6 es un gráfico que muestra un ejemplo de una forma de onda de diente de sierra de 500 Hz.

55 Las FIGS. 7A a 7D son gráficos que muestran ejemplos de formas de onda en condiciones de receptor no saturado y cómo se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro. Los gráficos de las FIGS. 7A y 7C son para la rueda del carro en un primer lado del cable enterrado, y los gráficos de las FIGS. 7B y 7D son para la rueda del

carro en el otro lado del cable enterrado.

Las FIGS. 8A y 8B son gráficos que muestran ejemplos de formas de onda en condiciones de saturación del receptor y cómo se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro.

- 5 A menos que el contexto indique lo contrario, los números de referencia similares se refieren a elementos similares en los dibujos. Los dibujos se proporcionan para ilustrar realizaciones de la divulgación descrita en la presente memoria y no para limitar el alcance de la misma.

Descripción detallada

Resumen

- 10 Muchos sistemas de contención de carros de compras, tal como el sistema de contención CartControl® de Gatekeeper Systems Inc. (Irvine, CA), hacen uso de una antena transmisora de cable enterrada para marcar el límite de la región en la que el carro de compras debe ser contenido. Si el carro cruza el límite (por ejemplo, pasa por encima del cable enterrado), un aparato electrónico en la rueda del carro decodifica una portadora de radiofrecuencia (RF) modulada de muy baja frecuencia (VLF, por ejemplo, 8 kHz) que está presente en el cable y activa un mecanismo que inhibe el movimiento del carro (por ejemplo, por medio del freno, bloqueo o inhibición de la rotación de una rueda del carro).
- 15 Las realizaciones de estos aparatos electrónicos se describen en la Patente de los Estado Unidos Núm. 6.127.927, *Anti-theft Vehicle System*.

- A nivel del sistema, puede ser deseable poder detectar en qué dirección un carro está cruzando el límite de contención: desde adentro hacia afuera (saliente) o desde afuera hacia adentro (entrante). Un cruce de interior a exterior suele requerir la activación del mecanismo de inhibición de movimiento (por ejemplo, el carro está siendo robado o trasladado a un área no autorizada); un cruce de entrada (por ejemplo, un carro bloqueado que está siendo arrastrado de vuelta a través del límite a un área autorizada) suele requerir la liberación del mecanismo de inhibición de movimiento, para que el carro pueda volver a ser utilizado normalmente.
- 20

- Si el carro no puede detectar la dirección en la que está cruzando el cable enterrado, una posible solución es utilizar dos cables enterrados anidados, por ejemplo, el cable exterior emitiendo "bloqueo" y el cable interior emitiendo "desbloqueo". De este modo, un carro que cruza primero el cable de "bloqueo" y luego el de "desbloqueo" sabe que se está moviendo hacia el interior a través del límite de contención y se puede desbloquear. Sin embargo, esta solución requiere la instalación de dos cables separados, lo que puede aumentar el gasto y la complejidad de algunos sistemas de este tipo.
- 25

- La FIG. 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de instalación de un sistema de contención de carros 100 en una tienda. La Figura 1 incluye un aparcamiento 102, un cable enterrado 104 (ilustrado por líneas discontinuas), una tienda 106 que tiene la salida A y la salida B, un primer transmisor TX#1 y un segundo transmisor TX#2. Una corriente a través del cable enterrado hace que se genere un campo magnético B . Un circuito de inducción 108 se puede mover sobre el cable enterrado 104 dentro o fuera del aparcamiento 102. Como se describe a continuación, el circuito de inducción se puede configurar para medir un solo componente del campo magnético vectorial $\vec{B}$ generado por la corriente en el cable enterrado. El circuito de inducción comprende un solo inductor que tiene un eje a lo largo del cual se mide el componente de B . También, como se describe más adelante, tales realizaciones de circuito de inducción simple pueden ser ventajosas en comparación con las realizaciones de circuito de inducción dual configuradas para medir dos componentes del campo magnético vectorial $\vec{B}$ (típicamente componentes a lo largo de dos direcciones ortogonales).
- 30
- 35

- El cable enterrado 104 forma un bucle, con un área dentro del bucle. Los cables enterrados transportan una señal electromagnética VLF (normalmente inferior a 9 kHz). La señal electromagnética puede codificar una instrucción de inhibición de movimiento que puede activar un sistema de inhibición de movimiento en los carros (por ejemplo, por medio del bloqueo, el frenado o la inhibición de la rotación de una o más ruedas del carro). En este ejemplo concreto, hay dos salidas de una tienda. La salida A conduce a un aparcamiento y la salida B a un área interior de un centro comercial de múltiples tiendas. Un comportamiento deseado del sistema puede ser que los carros de compras que salgan de la tienda por la salida A sean libres de recorrer el aparcamiento, pero su movimiento será inhibido si la persona que empuja el carro intenta sacarlo de los límites del aparcamiento (donde hay un cable VLF enterrado). Del mismo modo, en este ejemplo, los carros de compras son para uso exclusivo de los clientes de la tienda, no para su uso en otros lugares del centro comercial, por lo que los carros que intenten cruzar el cable enterrado justo dentro de la salida B también verán inhibido su movimiento. El bucle de retorno del cable enterrado en la salida B puede estar fuera del plano del suelo (por ejemplo, el retorno del cable puede pasar por el marco de la salida B).
- 40
- 45
- 50

- En este ejemplo, hay dos transmisores VLF separados (por ejemplo, 8 kHz), uno para cada bucle de cable (por ejemplo, TX #1 y TX #2). Cada transmisor se puede configurar para transmitir una señal VLF a través de un cable enterrado. En algunas realizaciones, un transmisor VLF puede transmitir señales VLF a través de múltiples bucles de cables. Un receptor en un carro puede detectar la señal VLF para determinar la proximidad del carro al cable enterrado 104.
- 55

Mientras el transmisor VLF TX #1 transmite una señal VLF a través del cable enterrado 104, una corriente es conducida

a través del cable enterrado 104 en la dirección de las agujas del reloj como se muestra en la FIG. 1. De acuerdo con la regla de la mano derecha para los cables portadores de corriente, la corriente a través del cable enterrado 104 genera el campo magnético $\vec{B}$ alrededor del cable enterrado 104 en las direcciones mostradas en la FIG. 1. En algunas realizaciones, las corrientes de los cables se pueden mantener por debajo de 1 amperio de media cuadrática (RMS), por debajo de 200 mA RMS, por debajo de 120 mA RMS, por debajo de 100 mA RMS, u otro valor, o el campo magnético inducido se puede acoplar a estructuras ferromagnéticas (por ejemplo, tuberías de hierro fundido enterradas o conductos eléctricos) y causar un rendimiento pobre o poco fiable del sistema.

Más detalles sobre los sistemas de contención de carros (que son utilizables con las realizaciones de la presente divulgación) se describen en la Patente de los Estados Unidos Núm. 8.463.540.

Además, aunque los ejemplos descritos en la presente memoria están en el contexto de los carros de compras en un entorno de venta al por menor, esto es con fines de ilustración y no pretende ser limitante. Las realizaciones desveladas se pueden utilizar en otros contextos en los que se desee la contención de los carros con ruedas a un área autorizada, tales como, por ejemplo, almacenes y carros de almacén, depósitos de transporte (por ejemplo, aeropuertos, estaciones de tren, estaciones de autobuses, etc.) y carros de equipajes o carros de maletas, instalaciones médicas (por ejemplo, hospitales, consultorios médicos, residencias de ancianos, centros de convalecencia o tratamiento, etc.) y sillas de ruedas, curvas de hospital, carros de dispositivos médicos. Los carros incluyen cualquier tipo de carro no motorizado y de propulsión humana. Dichos carros pueden estar equipados con sistemas de inhibición de movimiento, que pueden adoptar la forma de un freno, un bloqueo o un dispositivo para inhibir la rotación de las ruedas asociadas a una o más ruedas del carro. Por ejemplo, una rueda de carro puede incluir una realización del freno de rueda descrito en la Patente de los Estados Unidos Núm. 8.463.540. El sistema de inhibición de movimiento se puede comunicar electromagnéticamente con el cable enterrado (por ejemplo, de forma inalámbrica, para recibir una señal VLF de un cable).

Ejemplo de aplicación de la contención de carros

Un receptor de 8 kHz de bajo consumo de energía adecuado para recibir y decodificar las señales VLF de una línea de bloqueo se puede encontrar en una rueda de carro SmartWheel® disponible en Gatekeeper Systems, Inc. (Irvine, CA). Este receptor utiliza un inductor como antena y como elemento inductivo del circuito del tanque resonante del receptor, que puede ser sintonizado para detectar la frecuencia de la señal VLF que se propaga en el cable enterrado 104.

Determinar en qué dirección se mueve un carro con respecto a un cable es sencillo de resolver dados dos inductores, con ejes montados a 90 grados entre sí, donde se conoce el ángulo de cada inductor con respecto a la horizontal. El ángulo se puede conocer por medio de una restricción mecánica, o por medio de la inclusión de un sensor de ángulo tal como un acelerómetro de sistemas microelectromecánicos (MEMS) que co-rota con los inductores. Un ejemplo de una solución de dos inductores al problema se puede encontrar en la Patente de los Estados Unidos Núm. 8.749.385 de Bernhard, *et al.* Esa patente se refiere a "sensores de campo magnético" y a un "campo magnético de corriente alterna" sin utilizar la palabra "inductor".

El inductor utilizado para formar una antena VLF adecuada puede ser relativamente voluminoso (por ejemplo, 7 mm de diámetro por 12 mm de longitud), y un receptor de doble inductor puede requerir un rediseño sustancial de los componentes mecánicos internos de la rueda (por ejemplo, para encajar el detector de cruce de líneas, los transceptores de RF, los frenos de la rueda y otros componentes dentro de la rueda), especialmente si dos inductores están alineados en dos ejes diferentes.

Varios circuitos y dispositivos diferentes de los inductores pueden detectar campos magnéticos de corriente alterna (CA) en el intervalo de los kHz. Por ejemplo, los sensores magnetorresistivos (MR) de proveedores como Sensitex (Mainz, Alemania) pueden detectar campos magnéticos que varían en el tiempo (por ejemplo, kHz) y se pueden utilizar en ciertas realizaciones de los circuitos descritos en la presente memoria. Pero las consideraciones de tamaño, coste y presupuesto de energía tienden a hacer de los inductores el sensor de campo magnético preferente para aplicaciones tales como la recepción de VLF en las ruedas de los carros de compras.

En particular, para prolongar la vida de la batería, una corriente activa en reposo para todo el circuito del receptor (por ejemplo, cuando el circuito del receptor no está siendo excitado por la presencia cercana del cable enterrado) puede ser del orden de 12 microamperios o menos, y una corriente cuando el circuito del receptor está siendo excitado por el campo VLF puede ser del orden de 50 microamperios o menos (en ambos casos de ejemplo se supone que la fuente de alimentación del receptor es el voltaje de una batería de litio de una sola célula, por ejemplo, no más de aproximadamente 3 voltios dependiendo de la química de la batería). Este nivel de corriente en vacío es difícil de conseguir con los sensores MR.

Puede ser deseable poder detectar un cruce de líneas mediante el uso de un solo inductor. Por ejemplo, puede ser deseable determinar si un carro en movimiento está saliendo o entrando en un perímetro sin el gasto de enterrar un segundo cable alrededor del perímetro, sin el gasto de montar un segundo inductor en una rueda, sin tener un área de componente interna a la rueda ocupada por el segundo inductor, o sin tener energía consumida por el segundo inductor. En algunas realizaciones desveladas en la presente memoria, la dirección de un carro en movimiento (por

ejemplo, entrando o saliendo) puede ser detectada para un perímetro que tiene un cable enterrado mediante el uso de un sistema de detección que incluye un sensor de campo magnético (por ejemplo, un inductor alineado en un primer eje) sin incluir un segundo sensor (por ejemplo, sin un segundo inductor alineado en un segundo eje diferente del primer eje).

- 5 Además, las realizaciones de un receptor con un solo inductor, como se describe en la presente memoria, tienen un coste de fabricación algo menor por múltiples razones (por ejemplo, menos componentes con un menor coste de los mismos, y también menos operaciones de fabricación especializadas, dado que el inductor del receptor puede ser una pieza de orificio pasante que requiere soldadura manual y soporte mecánico y el uso de un solo inductor, en lugar de dos inductores, reduce la cantidad de soldadura manual o soporte mecánico necesario).
- 10 Los ejemplos de cualidades de un inductor que pueden ser beneficiosas para un detector de cruce de detección VLF de un solo inductor incluyen uno o más de los siguientes. (1) El inductor debe tener suficiente inductancia para generar una tensión (EMF) detectable de forma fiable en respuesta a intensidades de campo magnético aceptables inducidas por la señal VLF del cable enterrado 104. Un valor típico de inductancia utilizable es del orden de unos pocos milihenrios (mH) a decenas de milihenrios (por ejemplo, de 1 mH a 50 mH). Los campos electromagnéticos más altos
- 15 asociados a inductancias más grandes suelen mejorar la sensibilidad y la relación señal/ruido (SNR) del receptor, lo que se debe equilibrar con el mayor tamaño y el mayor coste del inductor más grande. (2) El inductor debe tener estabilidad mecánica y durabilidad frente a los golpes. En el caso de la rueda de un carro de compras, los choques superiores a 2000 g (donde g es la aceleración gravitatoria de la Tierra) no son especialmente infrecuentes. Algunos materiales de los inductores pueden durar más que otros. Por ejemplo, los inductores con núcleo de ferrita
- 20 generalmente no pueden tolerar repetidamente ese tipo de nivel de choque durante períodos prolongados. (3) El inductor debe tener cambios menores en la inductancia como resultado de la vibración mecánica en la banda pasante de VLF (menos de 9 kHz, por ejemplo, 8 kHz) o la frecuencia de modulación (típicamente unos cientos de Hz) de la señal de cable VLF. Las ruedas de los carros de compras también vibran a veces al rodar (por ejemplo, sobre superficies rugosas de aparcamiento) y los cambios en la inductancia debidos a la vibración del carro de compras
- 25 pueden causar señales espurias en el receptor. Las anteriores son diversas cualidades deseables de un inductor, pero no pretenden ser requisitos para ningún inductor en particular.

Ejemplo de sensores de campo magnético fluctuante

- Los sensores de campo magnético incluyen inductores, sensores magnetorresistivos y otros circuitos configurados para responder a un campo magnético fluctuante (por ejemplo, variable en el tiempo) en una dirección particular. En
- 30 algunos ejemplos, dicho campo magnético variable en el tiempo se puede denominar campo magnético de CA, dado que dichos campos magnéticos variables en el tiempo son generados comúnmente por circuitos de CA. Sin embargo, esto es a título ilustrativo, y un campo magnético de corriente alterna se puede referir al campo magnético fluctuante generado por una corriente continua que incluye una parte fluctuante (por ejemplo, una corriente fluctuante más un desplazamiento de corriente continua mayor). Como se desprende de la ley de Faraday, el EMF generado en un
- 35 inductor está relacionado con el flujo magnético que varía en el tiempo, y una corriente de desplazamiento de CC (si se utiliza) no generará un EMF (o generará un EMF muy inferior al debido al componente que varía en el tiempo a frecuencias típicas de kHz). Como ejemplo, un inductor puede comprender una bobina de alambre alrededor de un núcleo que es sensible al componente del campo magnético que es paralelo al eje de la bobina. El término inductor, como se utiliza en la presente memoria, pretende referirse a un elemento inductivo que tiene la inductancia como
- 40 propiedad principal para la que se utiliza el elemento. Por ejemplo, un cable puede tener una inductancia parásita indeseable, pero si el cable se utiliza principalmente para conducir la electricidad, entonces la propiedad principal del cable es la conductividad, y el cable no se considera un inductor.

- Como se describe en la presente memoria, las realizaciones de los circuitos de detección de dirección se denominan, por simplicidad, circuitos de inductor único, porque la capacidad de detección de dirección del circuito la proporciona
- 45 un sensor magnético de CA que está configurado para medir un único componente del campo magnético vectorial de CA generado por una corriente electromagnética de frecuencia de RF en el cable 104 (por ejemplo, un componente del campo magnético vectorial de CA a lo largo de un único eje). Estas realizaciones son más sencillas que los circuitos de detección de dirección de dos inductores, que suelen utilizar dos inductores diferentes (a menudo dispuestos en ángulo recto entre sí) para medir dos componentes separados del campo magnético vectorial de CA.

- 50 Las palabras inductor único pretenden referirse a un circuito de inducción configurado para medir un único componente del campo magnético vectorial de CA a lo largo de un único eje en el espacio. Un inductor de este tipo suele ser un único inductor unitario. Sin embargo, en otras implementaciones, dicho inductor único puede comprender dos o más inductores en serie o en paralelo que están configurados para medir un solo componente del campo magnético a lo largo de un solo eje en el espacio. Por ejemplo, dos inductores conectados eléctricamente en serie y dispuestos a lo
- 55 largo de un solo eje son el equivalente eléctrico de un solo inductor dispuesto a lo largo del eje único que tiene una sola inductancia que es la suma de la inductancia de los dos inductores, y estos dos inductores funcionan como un solo inductor si se sustituyen por el único inductor. Como otro ejemplo, dos inductores conectados eléctricamente en paralelo y dispuestos a lo largo de un solo eje (o paralelos al eje único) son el equivalente eléctrico de un solo inductor que tiene una sola inductancia que es el recíproco de la suma del recíproco de cada inductancia de los dos inductores,
- 60 y estos dos inductores funcionan como un solo inductor si se sustituyen por el único inductor.

Ejemplo de funcionamiento de un circuito de un solo inductor para la detección de la dirección

En el ejemplo de implementación mostrado en la FIG. 1, la corriente en el cable enterrado 104 que rodea el aparcamiento fluye en el sentido de las agujas del reloj. Como se describe más adelante, en varias implementaciones, la corriente puede ser una corriente continua (CC) que incluye una compensación de CC más un componente de corriente fluctuante (por ejemplo, variable en el tiempo a frecuencias VLF) que genera un campo magnético fluctuante.

De este modo, por la regla de la mano derecha, el componente horizontal del campo magnético $\vec{B}$ por encima del cable enterrado apunta hacia dentro, hacia el aparcamiento, donde se autoriza el movimiento de los carros. En otras realizaciones, la corriente puede ser una corriente alterna (AC).

La EMF, V , inducida en un inductor con inductancia L es la inductancia multiplicada por la tasa de cambio de la corriente I expresada por $V = L(dI / dt)$. Un inductor 108 con un eje horizontal que pasa por encima del cable enterrado producirá un EMF del mismo signo que dI/dt en el cable (donde I es la corriente del cable), si el extremo medido del inductor apunta hacia adentro, y el EMF será del signo opuesto a dI/dt si el inductor apunta hacia afuera.

En la práctica y como se describe más adelante con referencia a la FIG. 2, debido a que el punto de detección deseado de un carro que se mueve hacia afuera puede estar en una posición antes de que la rueda del carro pase directamente sobre el cable, el eje del inductor puede ser angulado en un ángulo θ con respecto a la vertical para alinear el eje del inductor con el vector del campo magnético en esa posición. Alinear el inductor de forma que sea sustancialmente paralelo al vector de campo magnético $\vec{B}$ (en el punto de detección deseado) mejora la sensibilidad del circuito de detección porque el componente único del campo magnético detectado por el inductor es aproximadamente igual a la magnitud total del campo magnético.

La FIG. 2 muestra esquemáticamente un sistema 200 que incluye una rueda de carro de compras 202 que se mueve hacia el cable enterrado, antes de pasar por encima del cable enterrado 104. Un inductor 204 se incluye dentro de la rueda y se dispone hacia el borde de ataque de la rueda (por ejemplo, el lado de la rueda en la dirección de movimiento del carro). La rueda 202 se puede configurar de forma que el inductor 204 no gire con la rotación de la rueda, por ejemplo, por medio de la fijación del inductor a un chasis o placa de circuito que esté rígidamente fijado a un eje no giratorio como se describe en, por ejemplo, la Patente de Estados Unidos Núm. 8.820.447. La rueda 202 puede incluir un dispositivo de detección de ángulo 230, que se describirá más adelante.

El cable enterrado puede ser enterrado por una primera distancia vertical 204 por debajo de una superficie. La primera distancia vertical es típicamente de uno a unos pocos cm. En el punto de detección deseado, el inductor 204 puede estar a una distancia horizontal 206 del cable enterrado 104 y a una segunda distancia vertical 208 por encima del cable enterrado 104.

En este ejemplo, la corriente del cable I está en la página de forma que directamente sobre el cable enterrado 104, el componente del campo magnético horizontal sobre el cable enterrado 104 apunta a la derecha (opuesto a la flecha que muestra el movimiento hacia afuera de la rueda 202). Como se puede ver en la FIG. 2, el vector de campo magnético $\vec{B}$ en la posición de la rueda tiene un ángulo hacia abajo, como muestra la flecha 210 (de acuerdo con la regla de la mano derecha). En consecuencia, como se ha explicado anteriormente, un eje del inductor que esté alineado en el ángulo θ con respecto a la vertical alineará más estrechamente el eje de detección del inductor con el campo magnético del cable. El ángulo θ se puede determinar a partir de la fórmula $\tan \theta$ es igual a la distancia vertical 208 dividida por la distancia horizontal 206.

El punto de detección se puede seleccionar de forma que la distancia horizontal 206 esté lo suficientemente cerca del cable 104 como para que la señal VLF tenga suficiente potencia para alcanzar el inductor y causar un EMF medible de forma fiable y también esté lo suficientemente lejos como para proporcionar un aviso previo de que un carro sale de un perímetro de forma que un sistema antirrobo del carro (por ejemplo, un sistema de frenado de las ruedas) tiene tiempo para responder y activarse para inhibir el movimiento del carro. En algunas realizaciones, la distancia horizontal 206 puede ser de aproximadamente 0,25 metros, 0,5 metros, 1 metro, 1,5 metros, 2 metros, etc. En algunas realizaciones, el cable enterrado 104 se coloca a una distancia 204 de aproximadamente 1 a 3 centímetros por debajo de la superficie, y el inductor se coloca aproximadamente centímetros por encima del fondo de la rueda. En consecuencia, en varias realizaciones, el ángulo θ está en un intervalo de 0 grados a aproximadamente 45 grados, 2 grados a 30 grados, o 5 grados a 20 grados.

En otras implementaciones, el punto de detección deseado podría estar justo sobre el cable enterrado 104 (por ejemplo, la distancia de detección horizontal deseada 206 es cercana a cero), y la dirección del campo magnético es sustancialmente horizontal. En tales implementaciones, el inductor 204 puede estar dispuesto en la rueda de forma que su eje de detección sea también sustancialmente horizontal, por ejemplo, el ángulo θ es de aproximadamente 90 grados. En consecuencia, en varias de estas realizaciones, el ángulo θ está en un intervalo de 75 grados a 125 grados o de 80 grados a 110 grados.

El cable enterrado 104 puede transportar una señal modulada que está codificada de forma que una pendiente positiva de la corriente en función del tiempo (por ejemplo, dI/dt) tiene una magnitud diferente a la de una pendiente negativa, dI/dt . Es posible determinar en qué dirección la rueda 202 atraviesa el cable enterrado 104 por medio de la

determinación de qué dirección del EMF inducido en el inductor tiene una mayor magnitud absoluta. De este modo, la señal modulada en el cable puede ser asimétrica bajo inversión y cambio de fase (véase, por ejemplo, las formas de onda de ejemplo descritas con referencia a la FIG. 3A, 3B y FIG. 6). Obsérvese que, en muchas realizaciones, la corriente en el cable puede ser positiva o nula, de forma que el campo magnético apunta en una dirección constante. En consecuencia, la forma de onda puede tener un desplazamiento de corriente continua (CC) de forma que, cuando se superpone con una señal de CA, el voltaje (o la corriente) puede permanecer positivo con respecto a la tierra local. Tales realizaciones pueden simplificar el diseño del amplificador transmisor, porque no se necesita una fuente de alimentación bipolar. Además, la impedancia del cable puede ser casi totalmente reactiva en las frecuencias VLF, por lo que la potencia gastada en la transmisión del componente CC en el cable es relativamente pequeña. En varias implementaciones, se utiliza un desplazamiento de CC para los cables más cortos (por ejemplo, para los límites de contención en las entradas/salidas), mientras que se puede utilizar una señal de CA (por ejemplo, generada con un amplificador bipolar push-pull) para los cables más largos alrededor de un aparcamiento.

Un ejemplo de circuito de detección de la dirección del inductor propuesto (descrito en detalle más adelante) proporciona una capacidad para determinar la dirección en la que el inductor (por ejemplo, en la rueda) cruza el cable. El inductor único puede estar dispuesto a lo largo de un único eje y configurado para medir el campo magnético a lo largo de ese único eje. Como se ha descrito anteriormente, algunas realizaciones presentan uno o más inductores en un solo eje para detectar la forma de onda en un cable enterrado 104. Algunas realizaciones pueden incluir inductores para otras funciones del circuito (por ejemplo, diferentes de la detección de la forma de onda en el cable enterrado 104).

Una forma de onda adecuada en el cable 104 puede comprender una superposición en fase de dos frecuencias en una proporción 2:1, una proporción 3:2 o cualquier otra proporción. En algunas realizaciones, la relación 3:2 es preferente, dado que el factor de calidad Q de un circuito de depósito del receptor puede ser algo mayor (y, por lo tanto, la sensibilidad mayor) con las señales que están a sólo media octava de distancia, aunque la decodificación puede ser ligeramente más compleja. Además, el ancho de banda de un receptor configurado para detectar relaciones 3:2 es menor que el ancho de banda de un receptor configurado para detectar relaciones 2:1. Además, pueden ser ventajosas las proporciones (tales como 3:2) que mantienen la señal electromagnética transmitida (incluidas las formas de onda descritas en la presente memoria) por debajo de 9 kHz (por ejemplo, en la porción del espectro de frecuencias no regulada por organismos gubernamentales tales como la Comisión Federal de Comunicaciones). Otras realizaciones pueden presentar frecuencias con cualquier otra relación, tal como 5:7, 3:4, 3:5, 4:5, etc.

Ejemplo de formas de onda de detección de dirección de un solo inductor

La FIG. 3A es un gráfico 300 de un ejemplo de forma de onda 306 que puede ser conducida a través de un cable enterrado. El eje Y 302 indica un voltaje en mV, y el eje X 304 indica el tiempo en ms. El gráfico incluye una forma de onda de ejemplo 306 y una segunda forma de onda de ejemplo 308. Las formas de onda 306, 308 pueden ser un componente asimétrico como se describe a continuación.

La forma de onda de ejemplo 306 puede ser la suma de dos ondas sinusoidales, a 8 kHz y $2/3 \cdot 8$ kHz, por ejemplo, con frecuencias que tienen una relación de 3:2

$$\sin(2\pi(\frac{2}{3} * 8e03)t + \pi/4) + .6 \sin(2\pi * 8e03 * t)$$

La segunda forma de onda 308 es una versión invertida de la primera forma de onda 306, por ejemplo, la tensión $V(\text{forma de onda 308}) = -V(\text{forma de onda 306})$. Debido a que la forma de onda 306 comprende una pluralidad de frecuencias sinusoidales (en este ejemplo, dos con una relación 3:2), la forma de onda 308 no puede ser invertida y desfasada (en cualquier cantidad) para convertirse en una réplica de la forma de onda 306. En consecuencia, la forma de onda de ejemplo 306 es asimétrica en el tiempo. Por ejemplo, la forma de onda 306 y la segunda forma de onda 308 tienen diferentes secuencias de máximos y mínimos locales, de forma que, incluso si la forma de onda 308 es desplazada de fase e invertida (o escalada proporcionalmente en voltaje si las amplitudes fueran diferentes), la forma de onda desplazada de fase, invertida y escalada 308 será diferente de la forma de onda 306. Un inductor en una rueda que se acerca al cable enterrado desde una primera dirección (digamos, desde el interior del aparcamiento) medirá una de las formas de onda 306, 308, mientras que el inductor medirá la otra de las dos formas de onda 308, 306 cuando se acerque al cable enterrado desde una segunda dirección (opuesta a las primeras direcciones, digamos, desde el exterior del aparcamiento). Esto ocurre porque el extremo medido del inductor apunta 180 grados de forma diferente en estos dos escenarios. En consecuencia, al emitir una señal que comprende una forma de onda asimétrica (tal como la mostrada en la FIG. 3A o las FIGS. 3B y 6 que se describen a continuación) en el cable enterrado 104, un único inductor configurado para medir el campo magnético a lo largo de una única dirección puede determinar a lo largo de cuál de la primera o segunda dirección se aproxima al cable. De este modo, los circuitos de inductores simples descritos en la presente memoria pueden determinar la dirección relativa a un cable que genera una señal que comprende una forma de onda asimétrica.

El punto de referencia mostrado por la línea discontinua 310 indica una característica de ejemplo de las formas de onda que se puede utilizar para determinar qué forma de onda se detecta. Por ejemplo, a los 0,8 ms, la forma de onda 306 tiene un máximo de tensión local rodeado a ambos lados por un mínimo de tensión local. En cambio, la forma de

onda 308 tiene un mínimo de tensión local rodeado a ambos lados por un máximo de tensión local. Estas características se pueden detectar y distinguir, y se puede determinar la dirección del carro. Como se describe más adelante, también se pueden utilizar otras características de la forma de onda, por ejemplo, la ubicación relativa de los picos, los valles, las pendientes positivas o las pendientes negativas. Como ejemplo, la forma de onda 306 tiene un máximo de voltaje de gran magnitud a aproximadamente 0,66 ms seguido por una pendiente negativa antes del pico local a 0,8 ms.

Las características de la forma de onda a lo largo de un período de tiempo 312 se pueden utilizar adicionalmente o alternativamente para distinguir las formas de onda. El período de tiempo 312 puede ser una fracción del período de la forma de onda. Por ejemplo, el punto de referencia mostrado por la línea punteada 310 puede ser precedido por un máximo de voltaje que disminuye (por ejemplo, tiene pendiente negativa) e indicaría que se detecta la forma de onda 306 o puede ser precedido por un mínimo de voltaje que aumenta (por ejemplo, tiene pendiente positiva) e indica que se detecta la segunda forma de onda 308. En consecuencia, la dirección del carro se puede determinar en base a qué forma de onda, 306 o 308, es detectada por el inductor de eje de detección simple 204.

La FIG. 3B es un gráfico que muestra otro ejemplo de forma de onda 356 que es la suma de dos ondas sinusoidales con una octava de diferencia. La relación de frecuencias en este ejemplo es de 2:1 a 8 kHz y 4 kHz

$$\sin(2\pi * 4e03 * t + \pi/4) + 1.4 \sin(2\pi * 8e03 * t)$$

La forma de onda 356 proporciona otro ejemplo de las características de la forma de onda que pueden ser detectadas por un inductor y que aparecerán diferentes en función de la dirección del movimiento del inductor. Un inductor que se mueve en una dirección puede detectar la forma de onda 356 (por ejemplo, con máximos locales de aproximadamente 0,4V) mientras que un inductor que se mueve en la dirección opuesta detectará una versión invertida de la forma de onda 356 (por ejemplo, con mínimos locales de aproximadamente -0,4V).

Ejemplo de circuitos de detección de dirección de un inductor

La FIG. 4A muestra un diagrama de bloques general de un ejemplo de receptor detector de dirección de un solo inductor 400 para detectar la señal VLF del cable enterrado 104. El receptor 400 incluye un circuito tanque receptor 402 que incluye el inductor L1 y el condensador C1, con inductancia y capacitancia seleccionadas de forma que la frecuencia de resonancia del circuito tanque 402 coincida con la frecuencia de la señal en el cable 104 (por ejemplo,

8 kHz). La frecuencia de resonancia del circuito del tanque puede ser $1/(2\pi\sqrt{L1C1})$. El receptor también incluye un amplificador de entrada del receptor 404, un condensador C2, un diodo D1, un segundo amplificador del receptor 406, un circuito identificador de características de la primera forma de onda 420, un circuito identificador de características de la segunda forma de onda 422, y una lógica de detección 416. El primer circuito identificador de características de forma de onda 420 puede incluir la resistencia R1, la resistencia R2, el condensador C3, el comparador 408 y el contador de frecuencia 412. El segundo circuito identificador de características de forma de onda 422 puede incluir una resistencia R3, una resistencia R4, un condensador C4, un comparador 410 y un contador de frecuencia 414. En algunas realizaciones, algunas funcionalidades pueden ser implementadas por un circuito digital tal como un microcontrolador 418.

El circuito de tanque receptor 402 puede incluir el condensador C1 y el inductor único L1 configurado para medir el campo magnético de CA a lo largo de un solo eje. El inductor simple L1 puede estar dispuesto en la rueda 202 como el inductor 204 descrito con referencia a la FIG. 2. El inductor L1 puede generar una tensión que se introduce en el amplificador de entrada de recepción 404 como resultado del campo magnético variable en el tiempo generado por una antena de transmisión (por ejemplo, el cable enterrado 104). En algunas realizaciones, el único inductor L1 puede ser el único utilizado para detectar la señal VLF del cable enterrado 104. En algunas realizaciones, el inductor único L1 está dispuesto a lo largo de un eje sin un segundo inductor dispuesto a lo largo de un eje diferente (por ejemplo, en ángulo recto con el primer eje) para detectar la señal VLF.

El amplificador de entrada de recepción 404 realiza la forma de onda de entrada y proporciona una forma de onda realzada. Una salida del amplificador de entrada de recepción 404 se acopla en CA a un segundo amplificador de recepción 406, donde la forma de onda reforzada se amplifica aún más. El segundo amplificador de recepción 406 proporciona una forma de onda amplificada. El borde positivo de la forma de onda amplificada se sujeta por medio del condensador C2 y el diodo D1.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 4A, la forma de onda amplificada se alimenta a los circuitos identificadores de características de la forma de onda 420 y 422. En varias realizaciones, la forma de onda amplificada puede ser alimentada a un solo circuito identificador de características (por ejemplo, el circuito 420, con el circuito 422 no utilizado) o a una pluralidad de más de dos circuitos identificadores de características. Cada circuito identificador de características puede tener diferentes valores de componentes (valores de resistencias y condensadores) y estar configurado para detectar diferentes características de forma de onda, operar bajo diferentes condiciones de ruido, detectar diferentes características en frecuencias u operar con diferentes niveles de sensibilidad. En algunas realizaciones, los diferentes circuitos identificadores de características pueden tener diferentes disposiciones de circuitos. Un controlador lógico puede determinar, en base a las salidas de los circuitos identificadores de

características de la forma de onda, en qué dirección se mueve un carro en relación con el cable enterrado que está generando el campo magnético variable en el tiempo. En el ejemplo mostrado en la FIG. 4A, la forma de onda amplificada se alimenta a dos circuitos identificadores de características que tienen diseños similares y valores de componentes diferentes.

5 En un primer circuito identificador de características 420, la forma de onda amplificada se alimenta a un comparador 408. El comparador 408 se ajusta para que se dispare a una tensión por debajo del borde positivo de la forma de onda amplificada, siendo la tensión fijada por las resistencias R1 y R2. El condensador C3 mantiene la entrada inversora del comparador 408 a la tensión media observada en la unión de las resistencias R1 y R2. Un contador de frecuencia 412 puede contar o determinar los tiempos de la frecuencia con que cambia la salida del comparador 408.

10 En el receptor 400 mostrado en la FIG. 4A, la forma de onda amplificada de un segundo circuito identificador de características 422 se alimenta a un segundo comparador 410. El comparador 410 se ajusta para que se dispare a una tensión por debajo del borde positivo de la forma de onda amplificada, siendo la tensión fijada por las resistencias R3 y R4. El condensador C4 mantiene la entrada inversora del comparador 410 en la tensión media observada en la unión de las resistencias R3 y R4. Un contador de frecuencia 414 puede contar o determinar los tiempos de la frecuencia con que cambia la salida del comparador 410.

15 Un controlador lógico 416 puede, en base a las salidas de los contadores de frecuencia, determinar si un carro se mueve en una dirección o en otra. Por ejemplo, seguido por la forma de onda mostrada en la Figura 3A, se puede detectar la frecuencia o los tiempos de las características de la forma de onda (tal como máximos o mínimos, o si los voltajes (o corrientes) pasan ciertos umbrales o tienen pendientes que pasan ciertos umbrales) para distinguir, por ejemplo, la forma de onda 306 de la forma de onda 308 y así determinar la dirección relativa de la rueda (y del carro) con respecto al cable enterrado. El controlador lógico 416 puede comprender un procesador de señales digitales (DSP), un microprocesador de hardware, un dispositivo lógico programable (PLD), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) u otro tipo de circuito lógico de hardware.

20 La FIG. 4B es un diagrama de bloques de otra realización de un receptor inductor-detector de dirección 430 que comparte características similares al receptor 400 mostrado en la FIG. 4A. En la FIG. 4B, el circuito receptor-tanque 432 incluye un solo inductor L1, condensadores C4 y C1, y un interruptor de transistor de efecto de campo (FET). El receptor 430 también incluye un circuito identificador de características de forma de onda 434 que tiene un comparador similar a los comparadores 408, 410 de la FIG. 4A.

30 La frecuencia central del circuito del tanque de recepción resonante 432 se reduce en un factor f cuando el interruptor FET está cerrado, porque la capacitancia del tanque 432 se convierte en $C1+C4$ en lugar de $C1$. Esto permite que los componentes de frecuencia superior e inferior de la forma de onda recibida estén igualmente espaciados (en proporción) por encima y por debajo de la frecuencia de resonancia del circuito del tanque. Este diseño de circuito puede reducir o minimizar las variaciones de desplazamiento de fase debidas a las variaciones de los componentes del circuito del tanque. En el caso de que las frecuencias de la forma de onda tengan una relación de 3:2, el factor f

35 puede ser $1/\sqrt{2/3}$, lo que se consigue cuando $C4=C1/2$. Para los casos en los que las frecuencias de la forma de onda están en una relación de 2:1, el factor f puede ser $1/\sqrt{2}$, que se puede conseguir cuando $C4=C1$. Para las implementaciones que utilizan una forma de onda asimétrica con una primera frecuencia en la frecuencia VLF y una segunda frecuencia en una fracción (por ejemplo, $1/2$, $2/3$, etc.) de la frecuencia VLF, el FET se puede configurar para reducir la frecuencia en un factor igual a la raíz cuadrada de esta fracción (por ejemplo, para que esta frecuencia sea la media geométrica de las dos frecuencias de la señal).

40 En algunas instalaciones (por ejemplo, tiendas minoristas), puede haber una mezcla de transmisores de señales con algunos transmisores que transmiten una señal asimétrica sensible al cruce de direcciones (por ejemplo, en el perímetro de un aparcamiento) y algunos transmisores (que pueden ser menos complicados y, por lo tanto, menos costosos) que transmiten señales no sensibles al cruce de direcciones (por ejemplo, en balizas utilizadas en un sistema de contención de carros). Por lo tanto, puede ser ventajoso proporcionar un receptor de rueda que pueda ser programado para trabajar con ambos tipos de transmisores. De este modo, como se describe con referencia a la FIG. 4B, el condensador C4 y el interruptor FET proporcionan al receptor 430 modos de programa seleccionables, con un primer modo que es compatible con los transmisores heredados no sensibles al cruce de direcciones (por ejemplo, con una frecuencia central a 8 kHz y un ancho de banda fraccional bajo) y con un segundo modo que es compatible con las señales asimétricas sensibles al cruce de direcciones (por ejemplo, con una frecuencia central a una media geométrica de frecuencias de señalización altas y bajas y un mayor ancho de banda fraccional). En otras realizaciones (por ejemplo, el receptor 400 de la FIG. 4A), no se utiliza el interruptor FET (por ejemplo, porque no se necesitan modos de programa seleccionables o no se necesita compatibilidad con sistemas anteriores), y el valor de C1 en el receptor 400 se puede seleccionar para que sea igual al valor de $C1 + C4$ en el receptor 430.

55 La FIG. 4C es un diagrama de bloques de otro ejemplo de receptor detector de dirección de inductor único 460 que comparte características de los receptores 400, 430 mostrados en las FIGS. 4A y 4B. El receptor 460 se puede utilizar para detectar una forma de onda de rampa asimétrica (véase, por ejemplo, un ejemplo mostrado en la FIG. 6). En la FIG. 4C, el circuito del tanque de recepción resonante 462 incluye el inductor simple L1, un condensador C1 y un interruptor FET. La FIG. 4C también incluye un circuito identificador de forma de onda 464.

El interruptor FET se abre cuando se transmite una rampa. Esto permite que la porción de alta velocidad de giro del borde pase a través del inductor L1 sin tanto timbre que podría resultar si el condensador C4 del receptor 430 estuviera en el circuito. El receptor 460 incluye un detector de bordes (por ejemplo, un disparador Schmitt) como parte del circuito identificador de características de la forma de onda 464.

La FIG. 5A muestra un esquema de ejemplo de un receptor detector de dirección de un solo inductor 500. En este ejemplo, el receptor 500 está configurado para la detección de ondas sinusoidales duales con un circuito cambiador de frecuencia de tanque con un circuito identificador de características de forma de onda 434. Los ejemplos de un receptor que puede detectar una señal asimétrica (por ejemplo, de doble onda sinusoidal) se describen con referencia a las FIGS. 3A y 3B. Este receptor 500 corresponde generalmente al diagrama de bloques de la FIG. 4B. Las ondas sinusoidales duales se describen a título ilustrativo, pero los receptores en la presente memoria desvelados se pueden utilizar para detectar otras señales asimétricas que comprendan, por ejemplo, superposiciones de 3, 4, 5, 6, 10, 100 o más ondas sinusoidales u otras señales asimétricas.

Como se describe con referencia a las FIGS. 4A a 4C, el circuito receptor 500 utiliza un solo inductor L1 para detectar un solo componente de la forma de onda del campo magnético generado por la corriente en un transmisor, tal como el cable enterrado 104. El campo magnético (del cable enterrado) induce una tensión en el inductor L1 que forma parte del circuito del depósito 432 que incluye el condensador C21, el condensador C20 (que corresponden respectivamente a C1 y C4 en la Figura 4B) y la resistencia R9. El valor de la resistencia R9 puede ser ajustado para cambiar el ancho de banda fraccional del circuito tanque 432. En este receptor, el condensador C20 y la resistencia R18 bajarán la frecuencia de resonancia y cambiarán el ancho de banda fraccional cuando se sintonice un FET Q6. Cuando Q6 se

enciende, la frecuencia central del circuito del tanque se reduce en $\frac{1}{\sqrt{2}}$ el factor f, que como se ha descrito anteriormente puede ser la media geométrica de las frecuencias de la forma de onda asimétrica (por ejemplo, $\sqrt{1/2}$, $\sqrt{2/3}$, etc.). Esto permite que los componentes de frecuencia superior e inferior de la señal entrante estén igualmente espaciados por encima y por debajo de la frecuencia de resonancia del circuito del tanque. Esto puede reducir o minimizar las variaciones de desplazamiento de fase debidas a las variaciones de los componentes del circuito del tanque.

La FIG. 5B muestra un esquema de ejemplo de otro receptor detector de dirección de un solo inductor 530. El circuito de la FIG. 5B se puede configurar para generar salidas basadas en una pluralidad de (en este caso, cuatro) valores de ganancia diferentes. Un primer circuito de control de la ganancia incluye la resistencia R2 y el transistor Q8, donde la ganancia puede ajustarse puede ajustarse en base, al menos en parte, a la resistencia R2, y puede tomarse puede tomar una salida del transistor Q8. Un segundo circuito de control de ganancia incluye la resistencia R20 y el transistor Q10, donde la ganancia se puede establecer basándose al menos en parte en R20, y se puede tomar una salida del transistor Q10. Para las salidas tomadas del transistor Q8 o Q10, la ganancia también se puede ver afectada por la configuración del interruptor Q6. En consecuencia, son posibles al menos cuatro ganancias diferentes, y otros circuitos pueden tener configuraciones adicionales en el circuito del tanque 432 o más salidas, lo cual aumenta aún más el número de ganancias seleccionables. Otros sistemas pueden utilizar otros componentes variables, tal como varactores, resistencias variables, etc. para ajustar la ganancia. Un bucle de control puede ser implementado por el firmware, la lógica 416, u otro sistema para configurar la selección entre las configuraciones de ganancia y aumentar suficientemente la señal detectada sin saturar la etapa de salida. El receptor detector de dirección de inductor único 530 puede incluir un filtro, tal como el filtro que incluye la resistencia R21 y el condensador C26. La resistencia R21 y el condensador C26 pueden tener un modo común que se acopla a una entrada del comparador U2, tal como la entrada no inversora.

Los esquemas mostrados en las FIGS. 5A y 5B son sustancialmente similares, pero debido a las diferentes salidas del comparador (hacia un contador de frecuencia o hacia un detector de bordes, respectivamente), algunos valores de los componentes (por ejemplo, para los condensadores, resistencias, diodos y componentes activos) pueden ser optimizados de manera diferente.

Un esquema correspondiente a la FIG. 4A, que presenta múltiples circuitos identificadores de características de forma de onda que incluyen cada uno un comparador, puede ser similar al esquema 500. En comparación con el esquema 500, una implementación esquemática correspondiente a la FIG. 4A puede duplicar los componentes R7, R14 y C13 (que forman un filtro de paso bajo) y sustituir el dispositivo comparador U2 por un dispositivo comparador multicanal (por ejemplo, de doble o cuádruple canal). En algunas realizaciones, el esquema de doble canal puede o no duplicar también el diodo D4 y la resistencia R17.

La FIG. 6 es un gráfico que muestra un ejemplo de una forma de onda de diente de sierra de 500 Hz 606 que tiene un ancho de banda limitado a 8 kHz. El eje y 602 indica una tensión en mV. El eje x indica el tiempo en ms. La forma de onda 606 tiene una pendiente positiva en las porciones ascendentes de la forma de onda que es más pronunciada (por ejemplo, la magnitud absoluta de la pendiente es mayor) que la pendiente negativa en las porciones descendentes de la forma de onda, y la forma de onda 606 tiene al menos un componente asimétrico.

La forma de onda de diente de sierra puede producir un pulso en el receptor proporcional a la velocidad del borde más

rápido (por ejemplo, el borde más pronunciado). Esto puede permitir al receptor detectar la polaridad de la señal por medio de la detección de la dirección del impulso recibido. Cualquiera de los receptores descritos en la presente memoria (por ejemplo, las FIGS. 4A a 5B) se puede utilizar para detectar la polaridad de la forma de onda de diente de sierra de la FIG. 6.

5 **Detección y respuesta a la inclinación**

Una persona que empuja un carro de compras puede intentar evadir la detección de su intento de robo del carro por medio de la inclinación del carro para evitar la activación de una rueda de bloqueo o de frenado. Por ejemplo, la persona puede inclinar el carro cerca del perímetro para que la rueda de bloqueo o de frenado se eleve muy por encima de la superficie para reducir la probabilidad de que los receptores descritos en la presente memoria que están dispuestos en la rueda detecten la señal electromagnética del cable enterrado. Al inclinar el carro y elevar la rueda, los circuitos receptores se alejan del cable enterrado a medida que el carro inclinado es empujado a través del límite de contención, lo que reduce la magnitud del campo magnético asimétrico VLF fluctuante en la posición de la rueda (debido a la caída de aproximadamente $1/r$ del campo magnético), para de ese modo reducir la probabilidad de que el campo magnético sea detectado. Como se ha comentado con respecto a la FIG. 2, el inductor 204 puede estar orientado sobre un eje que es sustancialmente paralelo a la dirección del vector de campo magnético $\vec{B}$ generado por el cable enterrado 104 de forma que se forme una tensión a través del inductor 204. El funcionamiento de los circuitos para determinar la dirección del carro se puede ver afectado por el ángulo θ del inductor 204 con respecto a la dirección prevista del campo magnético (véase la FIG. 2). Los cambios en el ángulo causados por la inclinación del carro pueden reducir la sensibilidad del inductor 204. En ciertos ángulos del inductor, la tensión a través del inductor 204 puede ser demasiado baja para ser detectada de forma fiable, lo que puede permitir a la persona inclinar el carro y pasar por encima del cable enterrado 104 sin activar el mecanismo antirrobo.

En consecuencia, algunas realizaciones de la rueda comprenden un sensor de ángulo, giroscopio, acelerómetro u otro dispositivo de detección de ángulo 230 que se puede utilizar para detectar si el carro se ha inclinado o no. En algunas realizaciones, un dispositivo de detección de ángulos 230 se incluye alternativamente (o adicionalmente) en el carro (por ejemplo, en el bastidor). En el caso de que se detecte una inclinación (por ejemplo, el ángulo de inclinación medido por el dispositivo de detección de ángulos supera un ángulo umbral, por ejemplo, 10 grados, 20 grados, 30 grados, 40 grados o más) y se detecte la proximidad del cable enterrado (por ejemplo, se detecta la señal VLF del cable 104), se puede tomar una acción correctiva tal como, por ejemplo, activar el mecanismo antirrobo del carro o hacer sonar una alarma. La acción correctiva se puede llevar a cabo independientemente del sentido de la marcha que se determine o de si se puede detectar o no el sentido de la marcha.

En algunas realizaciones, el dispositivo de detección de ángulo 230 comprende un acelerómetro que puede determinar la dirección de la aceleración gravitacional de la Tierra. En el caso de un carro sin ruedas, la aceleración se produce a lo largo de un eje vertical con respecto a la superficie y puede ser medida como tal por el acelerómetro. Sin embargo, si el carro se inclina, el acelerómetro también se inclinará, y el componente vertical medido de la aceleración gravitacional cambiará, permitiendo determinar el ángulo de inclinación (por ejemplo, el valor medido se reducirá en el coseno del ángulo de inclinación). Otra realización del dispositivo de detección de ángulo 230 comprende un magnetómetro de baja frecuencia (por ejemplo, menos de 100 Hz) configurado para detectar el componente vertical local del campo magnético de la Tierra. Al igual que en el caso del acelerómetro, la inclinación del carro (y del magnetómetro) provoca los correspondientes cambios en el componente geomagnético vertical medida, a partir de la cual se puede determinar el ángulo de inclinación.

Aunque el dispositivo de detección de ángulos 230 puede estar dispuesto en la rueda, en otras realizaciones, el dispositivo de detección de ángulos está (adicionalmente o alternativamente) dispuesto en otra parte del carro, por ejemplo, en el marco o en el manillar del carro.

Ejemplo de técnicas de detección de la dirección del carro con formas de onda no saturadas

La FIG. 7A es un gráfico 700 que muestra ejemplos de formas de onda que se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro. La Figura 700 incluye un eje y 702, un eje x 704, una primera curva 706, una segunda curva 708 y una tercera curva 710. El eje y indica una escala normalizada para cada curva en una unidad apropiada (A/m para la curva 706, V para la curva 708 y V para la curva 710). El eje x indica el tiempo en milisegundos.

La primera curva 706 indica un componente vectorial de un campo magnético que es detectado por el inductor único (por ejemplo, L1) de un carro en un primer lado de un cable (y puede estar moviéndose hacia el cable en una primera dirección). La curva 706 puede ser el componente del campo magnético que es paralelo al eje del inductor simple. La primera curva puede ser la suma de dos ondas sinusoidales separadas por una octava, a 7,776 kHz y 3,888 kHz, por ejemplo, la relación de frecuencias es de 2:1 (similar a la forma de onda de la corriente en la FIG. 3B), donde la amplitud del componente de 7,776 kHz es 1,5 veces la amplitud del componente de 3,888 kHz. En el gráfico de ejemplo 700, la escala normalizada para la primera curva 706 es de +/- 0,02 A/m, pero la escala normalizada puede ser diferente en varias realizaciones.

La primera curva 706 puede estar relacionada linealmente con la corriente en un cable enterrado (por ejemplo, el campo magnético generado es proporcional a la corriente del cable de acuerdo con la ley de Biot-Savart). La primera

curva 706 puede, en algunas realizaciones, tener un componente de CC cero. La primera curva también puede ser asimétrica en torno a un cero en el eje y. La amplitud máxima de la primera curva 706 en una dirección (por ejemplo, la dirección positiva) es aproximadamente un 33% mayor que la amplitud máxima en la otra dirección. En algunas realizaciones, la diferencia en las amplitudes de los picos, las pendientes u otras características puede ser de un 25% a un 50% mayor en una dirección frente a la otra.

Una segunda curva 708 puede ser un voltaje formado a través del inductor único (por ejemplo, el inductor L1 en la FIG. 4A, la FIG. 4B, o la FIG. 4C) en un circuito de depósito (por ejemplo, el circuito de depósito 402, 430 o 462). El voltaje puede ser proporcionado a un amplificador (por ejemplo, el amplificador 404 en la FIG. 4A). En la FIG. 5A, la FIG. 5B, la tensión se puede proporcionar en el nodo entre el inductor L1, el condensador C21, la resistencia R2, el diodo D2 y el transistor Q4. En el gráfico de ejemplo 700, la escala normalizada para la segunda curva 708 es de +/- 100 mV, pero la escala normalizada puede ser diferente en varias realizaciones.

La tercera curva 710 puede ser una salida (8 kHz_RCVR_DATA en la FIG. 5A y la FIG. 5B) de un comparador (por ejemplo, el comparador 408 o 410). En el gráfico de ejemplo 700, la escala normalizada para la tercera curva 710 puede ser de 0 a VDD (que puede ser 1,8 V en algunas realizaciones) o cualquier salida digital, pero la escala normalizada puede ser diferente en varias realizaciones.

La FIG. 7B es un gráfico 750 que muestra ejemplos de formas de onda que se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro. La Figura 750 incluye un eje y 752, un eje x 754, una primera curva 756, una segunda curva 758 y una tercera curva 760. Las curvas sólidas, discontinuas y punteadas de la FIG. 7B corresponden a las mismas curvas descritas con respecto a la FIG. 7A, excepto en la FIG. 7B, el carro está en un segundo lado de un cable y se puede mover hacia el cable desde una segunda dirección.

Las FIGS. 7C y 7D son generalmente similares a las FIGS. 7A y 7B, respectivamente, pero en diferentes puntos del circuito. En la FIG. 7C, la curva sólida 706 es la entrada negativa del comparador, la curva discontinua 708 es la entrada positiva del comparador (por ejemplo, representa una versión filtrada de paso bajo de la salida del amplificador), y la curva discontinua 710 es la salida del comparador.

Al comparar la FIG. 7A y la FIG. 7B (o las FIGS. 7C y 7D), la salida del comparador conmuta una vez por cada ciclo de 257 microsegundos (1/3,888 kHz) cuando la orientación de la onda del campo magnético es positiva (por ejemplo, cuando el carro está en el primer lado del cable como se muestra en la FIG. 7A), y el comparador conmuta dos veces por ciclo de 257 microsegundos cuando la orientación de la onda del campo magnético es negativa (por ejemplo, cuando el carro está en el segundo lado del cable como se muestra en la FIG. 7B). De este modo, por medio del recuento de la frecuencia con la que alterna la salida del comparador (3,888 kHz o 7,776 kHz) se puede determinar si el campo magnético está orientado positiva o negativamente, y por lo tanto en qué lado del cable enterrado se encuentra el carro. En algunas realizaciones, la salida del comparador se puede retrasar (por ejemplo, aproximadamente 8 microsegundos) debido a los retrasos del circuito.

Puede haber una banda de error alrededor de las dos frecuencias esperadas para añadir cierta tolerancia al ruido. Por ejemplo, si la frecuencia de conmutación del comparador medida está dentro del 10% de 3,888 kHz, se puede determinar que el carro está en el primer lado del cable enterrado, y si la frecuencia de conmutación del comparador medida está dentro del 10% de 7,776 kHz, se puede determinar que el carro está en el segundo lado del cable enterrado. Si la tasa de conmutación del comparador no está dentro de ninguno de esos dos intervalos de frecuencia, el sistema puede asumir que la señal tiene demasiado ruido para ser fiable y puede seguir midiendo hasta que se detecte una tasa de conmutación válida.

Ejemplo de técnicas de detección de la dirección del carro en condiciones de saturación

Las formas de onda de las FIGS. 7A a 7D muestran ejemplos en los que el receptor no está saturado. En determinadas condiciones, tales como, si el inductor se coloca muy cerca del cable enterrado (por ejemplo, cuando la rueda cruza el límite de contención), la intensidad del campo magnético puede ser relativamente más fuerte y el receptor se puede saturar.

La FIG. 8A es un gráfico 800 que muestra ejemplos de formas de onda en condiciones de saturación que se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro. El gráfico 800 incluye un eje y 802, un eje x 804, una primera curva 806, una segunda curva 808 y una tercera curva 810 que corresponden al eje y a las curvas discutidas con respecto a la FIG. 7A.

La FIG. 8B es un gráfico 850 que muestra ejemplos de formas de onda en condiciones de saturación que se pueden utilizar para determinar la dirección de un carro. El gráfico 850 incluye un eje y 852, un eje x 854, una primera curva 856, una segunda curva 858 y una tercera curva 860 que corresponden al eje y a las curvas discutidas con respecto a la FIG. 7B.

En las condiciones de saturación de la FIG. 8A y la FIG. 8B, el receptor se satura y deja de ser lineal. Esto puede ocurrir, por ejemplo, si la intensidad del campo magnético aumenta (por ejemplo, se duplica, se triplica, supera un umbral tal como 0,04 A/m) cuando un receptor se acerca al cable enterrado. En algunas realizaciones, el firmware, la retroalimentación u otro sistema de control pueden ajustar una ganancia para mantener el receptor en el intervalo

lineal. No obstante, un receptor puede seguir saturando incluso con ajustes de ganancia.

En las condiciones de saturación de ejemplo mostradas en ambas FIG. 8A y la FIG. 8B, el comparador conmuta a la misma velocidad, una vez por ciclo de 257 microsegundos. Sin embargo, el ciclo de trabajo de la salida del comparador es diferente y se puede utilizar para determinar en qué lado de un cable se encuentra el carro o desde dónde se aproxima. En la FIG. 8A, la señal de salida del comparador 810 tiene un ciclo de trabajo alto de aproximadamente 72% cuando el carro está en el primer lado del cable enterrado. En la FIG. 8B, la señal de salida del comparador 860 tiene un ciclo de trabajo alto de aproximadamente 45% cuando el carro está en el segundo lado del cable enterrado.

Algunos microcontroladores tienen un hardware que puede realizar la medición automática del ciclo de trabajo en una entrada especificada. Los microcontroladores pueden, basándose al menos en parte en el ciclo de trabajo, determinar en qué lado del cable enterrado se encuentra un carro. En algunas realizaciones, la medición del ciclo de trabajo puede ser llevada a cabo por el firmware u otros circuitos por medio del cronometraje de los bordes ascendentes y descendentes y luego el cálculo del ciclo de trabajo.

Ejemplo de técnicas de detección de la dirección del carro

Con respecto a la FIG. 4A y la FIG. 7A a 7D, un circuito de depósito 402 detecta un único componente de un campo magnético (por ejemplo, el componente del campo magnético fluctuante que es paralelo al único inductor L1), que puede ser amplificado por el segundo amplificador de recepción 406 para generar una señal amplificada 706 o 756. La señal amplificada 706 o 756 se puede comparar con una versión filtrada de paso bajo (708, 758, respectivamente) de esa misma señal 706 o 756. Un ejemplo de filtro de paso bajo en la FIG. 4A incluye la resistencia R1, la resistencia R2 y el condensador C3. La combinación del filtro de paso bajo y el comparador se puede denominar como un cortador de datos porque corta la salida continua del amplificador analógico 406 en trozos de tiempo discretos que son bits individuales.

En algunos diseños, puede ser menos rentable y menos eficiente en términos de energía implementar el filtro de paso bajo para hacer que las características del filtro, tales como la constante de tiempo y el desplazamiento de voltaje, sean dinámicas. Por ejemplo, la digitalización de la señal y el uso de un procesador de señales digitales (DSP) pueden consumir demasiada energía para una rueda alimentada por batería si un objetivo de diseño incluye tener un consumo de energía activa de un valor que es mucho menos de 1 mW. Los circuitos de ejemplo mostrados en la FIG. 5A y la FIG. 5B consumen energía del orden de aproximadamente 30 a 100 μ W cuando la línea está siendo conducida, y consumen energía del orden de 20 μ W cuando la línea no está siendo conducida.

En algunas realizaciones, los valores de los componentes para el filtro de paso bajo se pueden seleccionar para lograr características de rendimiento de compromiso adecuadas a través de varios escenarios. Sin embargo, en algunas situaciones en las que la amplitud del componente del campo magnético paralela al eje del inductor (por ejemplo, el

máximo del producto de puntos de $\vec{B}$ con un vector unitario paralelo al eje del inductor) está cambiando relativamente rápido (por ejemplo, al menos 35%, al menos 25%, al menos 45% de disminución de la amplitud en aproximadamente dos ciclos o menos) al tiempo de repetición de la forma de onda (por ejemplo, 257 microsegundos en la FIG. 8A y la FIG. 8B), se puede producir una situación en la que un segundo punto de disparo del comparador no siempre se dispara. La FIG. 7D muestra ejemplos de un primer punto de disparo 761 y un segundo punto de disparo 762. El primer punto de disparo 761 puede ocurrir al mismo tiempo o en cualquiera de los dos lados del cable enterrado, mientras que el segundo punto de disparo 762 normalmente sólo ocurre en el lado negativo del cable. Cuando el segundo punto de disparo del comparador no se dispara, la salida del comparador puede parecer superficialmente similar al receptor saturado descrito con referencia a la FIG. 8A y la FIG. 8B.

La amplitud del componente del campo magnético paralelo al eje del inductor puede cambiar relativamente rápido bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, el cambio se puede producir cuando un receptor se acerca a un lugar en el que un cable enterrado 104 hace una curva pronunciada, tal como un ángulo recto. Más práctico, las herramientas de enterramiento de cables a gran escala pueden cortar ranuras en el suelo en línea recta para enterrar un cable. Para evitar las curvas cerradas, se pueden separar dos esquinas biseladas de 45 grados con una distancia de varios centímetros a varios pies en lugar de tener un ángulo recto (una pulgada corresponde a 2,54 cm y un pie a 30,48 cm). Como otro ejemplo, el cambio puede ocurrir cuando el inductor receptor recorre un camino que es casi paralelo y casi directamente por encima del cable enterrado 104. Puede haber poca o ninguna componente vertical del campo

magnético $\vec{B}$. Cuando el campo magnético $\vec{B}$ se impone a un inductor de radio finito en tales condiciones, el EMF resultante inducido en el inductor puede ser muy ruidoso. Como otro ejemplo, el cambio puede ocurrir debido a los altos niveles de ruido de fondo, tal como si un carro viaja cerca de una línea eléctrica de alta corriente en un conducto enterrado.

En algunas realizaciones, los DSP pueden cambiar dinámicamente la configuración de los filtros para ajustarse a estas condiciones. En algunas realizaciones en las que las limitaciones de potencia hacen que el DSP no sea práctico, un circuito puede implementar dos filtros de paso bajo fijos diferentes con características diferentes, y se pueden generar dos salidas de comparador diferentes (por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4B). En base a las diferencias en las salidas de los dos comparadores diferentes, se puede determinar con mayor exactitud la posición de un carro con respecto al cable enterrado 104.

Se pueden utilizar diferentes algoritmos para determinar la posición del carro en base a las salidas de diferentes comparadores. En un ejemplo, las salidas de dos comparadores diferentes con filtros de paso bajo son iguales, entonces se puede determinar que el carro está en un primer lado del cable enterrado 104. Si cualquiera de las salidas de los dos comparadores cuenta de forma bastante consistente dos transiciones por ciclo (por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7D), entonces se puede determinar que el carro está en el segundo lado del cable enterrado 104.

Realizaciones adicionales

En algunos casos puede ser deseable codificar información adicional en la señal más allá de la dirección en la que la rueda está cruzando la línea enterrada. Por ejemplo, puede haber múltiples puertas con una línea enterrada marcando la puerta. Puede ser útil codificar también por qué puerta de las múltiples puertas pasa la rueda, junto con la dirección.

Una forma de lograr codificar la información adicional (por ejemplo, qué puerta) es considerar que un intervalo de duración fija (por ejemplo, una celda de bits) de baja frecuencia (por ejemplo, 3,888 kHz) que conmuta es un valor (por ejemplo, "1") en un código de señalización, con un intervalo de alta frecuencia (por ejemplo, 7,776 kHz) que conmuta es un valor alternativo (por ejemplo, "-1"). Una variedad de esquemas de codificación puede manejar la ambigüedad de si una celda de bits dada fue enviada como un "1" con el receptor en el lado positivo del cable enterrado o como un "-1" con el receptor en el lado negativo.

En algunas realizaciones, un esquema de codificación puede incluir un esquema de codificación de línea duobinaria tolerante a la inversión tal como Alternate Mark Inversion o un código ternario diferencial tal como MLT-3.

En algunas realizaciones, un esquema de codificación puede incluir un código asíncrono con un bit de inicio de polaridad conocida. Si se encuentra un bit de inicio de polaridad invertida, entonces un detector de dirección puede determinar que el carro está en el lado negativo de la línea enterrada e invertir todos los bits recibidos.

En algunas realizaciones, un esquema de codificación puede incluir el envío de palabras clave de un conjunto de palabras clave de forma que la distancia Hamming entre palabras clave válidas sea al menos dos, y que la inversión de cualquier palabra clave válida no sea una palabra clave válida. Tanto la cadena de bits recibida como la inversión de la cadena de bits recibida pueden ser probadas, y la cadena con la menor distancia de Hamming a una palabra de código válida se puede seleccionar.

En realizaciones que no forman parte de la invención, algunos o todos los componentes del receptor pueden estar dispuestos en otras porciones del carro. Como un ejemplo, el inductor único (por ejemplo, el circuito del tanque resonante) puede estar dispuesto en un marco del carro, por ejemplo, una porción inferior de plástico del marco donde el inductor no está protegido de la señal de contención por la tubería de metal. Son posibles otras variaciones.

Ejemplos adicionales de realizaciones

Consideraciones adicionales

Ciertas etapas o actos de procesamiento de los procedimientos desvelados en la presente memoria se pueden implementar en hardware, software o firmware, que pueden ser ejecutados por uno o más ordenadores, procesadores o controladores de propósito general y/o especial, que incluyen una o más matrices de puertas de punto flotante (FPGA), dispositivos lógicos programables (PLD), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), y/o cualquier otro dispositivo de procesamiento adecuado. En ciertas realizaciones, una o más funciones proporcionadas por un controlador se pueden implementar como software, instrucciones, lógica y/o módulos ejecutables por uno o más dispositivos de procesamiento de hardware. En algunas realizaciones, el software, las instrucciones, la lógica y/o los módulos se pueden almacenar en medios legibles por ordenador, que incluyen medios de almacenamiento no transitorios implementados en un dispositivo de almacenamiento físico y/o medios de comunicación que faciliten la transferencia de información. En varias realizaciones, algunos o todos las etapas o actos de los procedimientos desvelados o la funcionalidad del controlador pueden ser llevados a cabo automáticamente por uno o más dispositivos de procesamiento. Son posibles muchas variaciones.

El lenguaje condicional utilizado en la presente memoria, tal como, entre otros, "puede", "podría", "puede", "por ejemplo" y similares, a menos que se indique específicamente lo contrario, o se entienda de otro modo dentro del contexto utilizado, pretende generalmente transmitir que ciertas realizaciones incluyen, mientras que otras realizaciones no incluyen, ciertas características, elementos y/o etapas. Por lo tanto, dicho lenguaje condicional no pretende generalmente implicar que las características, elementos y/o etapas sean de alguna manera requeridos para una o más realizaciones o que una o más realizaciones incluyan necesariamente la lógica para decidir, con o sin entrada o indicación del autor, si estas características, elementos y/o etapas se incluyen o se llevan a cabo en cualquier realización particular. Los términos "que comprende", "que incluye", "que tiene" y similares son sinónimos y se utilizan de manera inclusiva, de forma abierta, y no excluyen elementos, características, actos, operaciones adicionales, etc. Además, el término «o» se utiliza en su sentido inclusivo (y no en su sentido exclusivo), de forma que cuando se utiliza, por ejemplo, para conectar un listado de elementos, el término «o» significa uno, algunos o todos los elementos del listado. Como se utiliza en la presente memoria, una frase que hace referencia a "al menos uno de" un listado de elementos se refiere a cualquier combinación de dichos elementos, incluidos los miembros individuales. A modo de ejemplo, "al menos uno de a, b o c" (o "al menos uno de a, b y c") pretende abarcar: a, b, c, a-b, a-c, b-c y a-b-c.

Además, los artículos “una”, “un”, “el” y “la”, como se utilizan en esta solicitud y en las reivindicaciones adjuntas, se deben interpretar como “uno o más” o “al menos uno”, a menos que se especifique lo contrario.

Los experimentos de ejemplo, los datos experimentales, las tablas, los gráficos, los diagramas, las fotografías, las figuras y los parámetros de procesamiento y/o de funcionamiento (por ejemplo, los valores y/o los intervalos) descritos en la presente memoria pretenden ser ilustrativos de las condiciones de funcionamiento de los sistemas y procedimientos desvelados y no pretenden limitar el alcance de las condiciones de funcionamiento para las diversas realizaciones de los procedimientos y sistemas desvelados en la presente memoria. Además, los experimentos, los datos experimentales, los datos calculados, las tablas, los gráficos, los diagramas, las fotografías, las figuras y otros datos desvelados en la presente memoria demuestran varios regímenes en los que las realizaciones de los sistemas y procedimientos desvelados pueden funcionar eficazmente para producir uno o más resultados deseados. Dichos regímenes de funcionamiento y resultados deseados no se limitan únicamente a los valores específicos de los parámetros de funcionamiento, las condiciones o los resultados mostrados, por ejemplo, en una tabla, un gráfico, un diagrama, una figura o una fotografía, sino que también incluyen intervalos adecuados que incluyen o abarcan estos valores específicos. En consecuencia, los valores en la presente memoria desvelados incluyen el intervalo de valores entre cualquiera de los valores enumerados o mostrados en las tablas, gráficos, diagramas, figuras, fotografías, etc. Además, los valores desvelados en la presente memoria incluyen el intervalo de valores por encima o por debajo de cualquiera de los valores enumerados o mostrados en las tablas, gráficos, diagramas, figuras, fotografías, etc., como podrían demostrar otros valores enumerados o mostrados en las tablas, gráficos, diagramas, figuras, fotografías, etc. Además, aunque los datos desvelados en la presente memoria pueden establecer uno o más intervalos de operación efectivos y/o uno o más resultados deseados para ciertas realizaciones, se debe entender que no todas las realizaciones necesitan ser operables en cada uno de dichos intervalos de operación o necesitan producir cada uno de dichos resultados deseados. Además, otras realizaciones de los sistemas y procedimientos desvelados pueden operar en otros regímenes de funcionamiento y/o producir otros resultados que los mostrados y descritos con referencia a los experimentos de ejemplo, datos experimentales, tablas, gráficos, diagramas, fotografías, figuras y otros datos de la presente memoria. Además, para los diversos valores que se desvelan en la presente memoria, se pueden utilizar los términos relativos “aproximadamente”, “casi”, “aproximadamente”, “sustancialmente” y otros similares. En general, a menos que se indique lo contrario, los términos relativos significan dentro de un $\pm 20\%$, dentro de un $\pm 15\%$, dentro de un $\pm 10\%$, dentro de un $\pm 5\%$, dependiendo de la realización.

Por lo tanto, aunque sólo se han descrito específicamente ciertas realizaciones en la presente memoria, será evidente que se pueden hacer numerosas modificaciones a las mismas sin apartarse del alcance de la divulgación como se establece en las reivindicaciones adjuntas. Además, los acrónimos se utilizan simplemente para mejorar la legibilidad de la memoria descriptiva y las reivindicaciones. Cabe señalar que estos acrónimos no pretenden disminuir la generalidad de los términos utilizados y no se deben interpretar para restringir el alcance de las reivindicaciones a las realizaciones descritas en ellas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para detectar si un carro de propulsión humana que tiene una rueda cruza un límite, el sistema comprende:

5 un cable (104) que rodea un área de contención y define un límite del área de contención;
 un transmisor (TX#1) conectado eléctricamente al cable y configurado para transmitir una señal de contención de radiofrecuencia, RF, al cable, la señal de contención que comprende un componente asimétrico y fluctuante que es asimétrico bajo inversión y cambio de fase, en el que una pendiente positiva de la corriente en función del tiempo tiene una magnitud diferente a una pendiente negativa, para de ese modo generar el cable un campo magnético asimétrico y fluctuante que tiene tres componentes; y
10 una rueda (202) que comprende un receptor configurado para detectar la señal de contención de RF, el receptor comprende:

 un circuito de tanque resonante (402) que tiene un solo inductor (204) configurado para medir un solo componente de los tres componentes del campo magnético asimétrico y fluctuante, y
15 un procesador de hardware programado para determinar una dirección del carro en relación con el límite del área de contención en base al componente único medido de los tres componentes del campo magnético asimétrico y fluctuante por medio de la comparación de una fuerza electromotriz, EMF, inducida en el inductor por la pendiente positiva de la señal con una EMF inducida en el inductor por la pendiente negativa de la señal.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el carro de propulsión humana comprende un carro de compras.
- 20 3. El sistema de la reivindicación 1, en el que la señal de contención consiste en componentes de frecuencia que caen por debajo de 9 kHz.
4. El sistema de la reivindicación 1, en el que el componente fluctuante asimétrico de la señal de contención comprende un primer componente sinusoidal con una primera frecuencia y un segundo componente sinusoidal con una segunda frecuencia inferior a la primera.
- 25 5. El sistema de la reivindicación 4, en el que una relación entre la segunda frecuencia y la primera es de 1/2 o 2/3.
6. El sistema de la reivindicación 4, en el que la primera frecuencia y la segunda frecuencia son inferiores a 9 kHz.
7. El sistema de la reivindicación 1, en el que el procesador de hardware está programado para determinar la dirección del carro en relación con el límite del área de contención por medio de la identificación de una pluralidad de características del componente fluctuante asimétrico de la señal de contención durante un período de tiempo que
30 es menor que un período del componente fluctuante asimétrico.
8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el receptor comprende un comparador (408, 410) configurado para comparar una señal representativa del componente única medida del campo magnético asimétrico y fluctuante con una representación filtrada de paso bajo del componente única medida del campo magnético asimétrico y fluctuante.
- 35 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que el procesador de hardware está programado para determinar la dirección del carro en relación con el límite del área de contención en base, al menos en parte, a una frecuencia a la que la salida del comparador alterna.
10. El sistema de la reivindicación 8, en el que el procesador de hardware está programado para determinar la dirección del carro en relación con el límite del área de contención basado, al menos en parte, en un ciclo de trabajo de la
40 salida del comparador.
11. El sistema de la reivindicación 1, en el que el circuito del tanque resonante comprende un interruptor configurado para conmutar entre una primera frecuencia resonante y una segunda frecuencia resonante diferente de la primera frecuencia resonante.
- 45 12. El sistema de la reivindicación 1, en el que el receptor comprende una pluralidad de circuitos de control de ganancia configurados para aumentar el componente único medido del campo magnético asimétrico y fluctuante sin saturar una etapa de salida del receptor.
13. El sistema de la reivindicación 1, en el que el inductor único (204) está dispuesto en un chasis no giratorio de la rueda.
- 50 14. El sistema de la reivindicación 13, en el que el inductor único (204) tiene un eje (210) que forma un ángulo diferente de cero con respecto a una dirección vertical.
15. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que el carro comprende un sistema antirrobo, y el sistema está configurado además para activar el sistema antirrobo en respuesta a la determinación de que el carro

cruza el límite en una primera dirección y para no activar el sistema antirrobo en respuesta a la determinación de que el carro cruza el límite en una segunda dirección opuesta a la primera.

16. El sistema de la reivindicación 15, en el que la rueda comprende un freno configurado para inhibir el movimiento del carro cuando se activa el sistema antirrobo.
- 5 17. El sistema de la reivindicación 15, en el que la rueda o el carro comprende un dispositivo de detección de ángulo (230) configurado para determinar un ángulo de inclinación del carro, y el sistema está configurado además para activar el sistema antirrobo en respuesta a la determinación de que el ángulo de inclinación supera un umbral y el receptor ha medido la señal de contención.

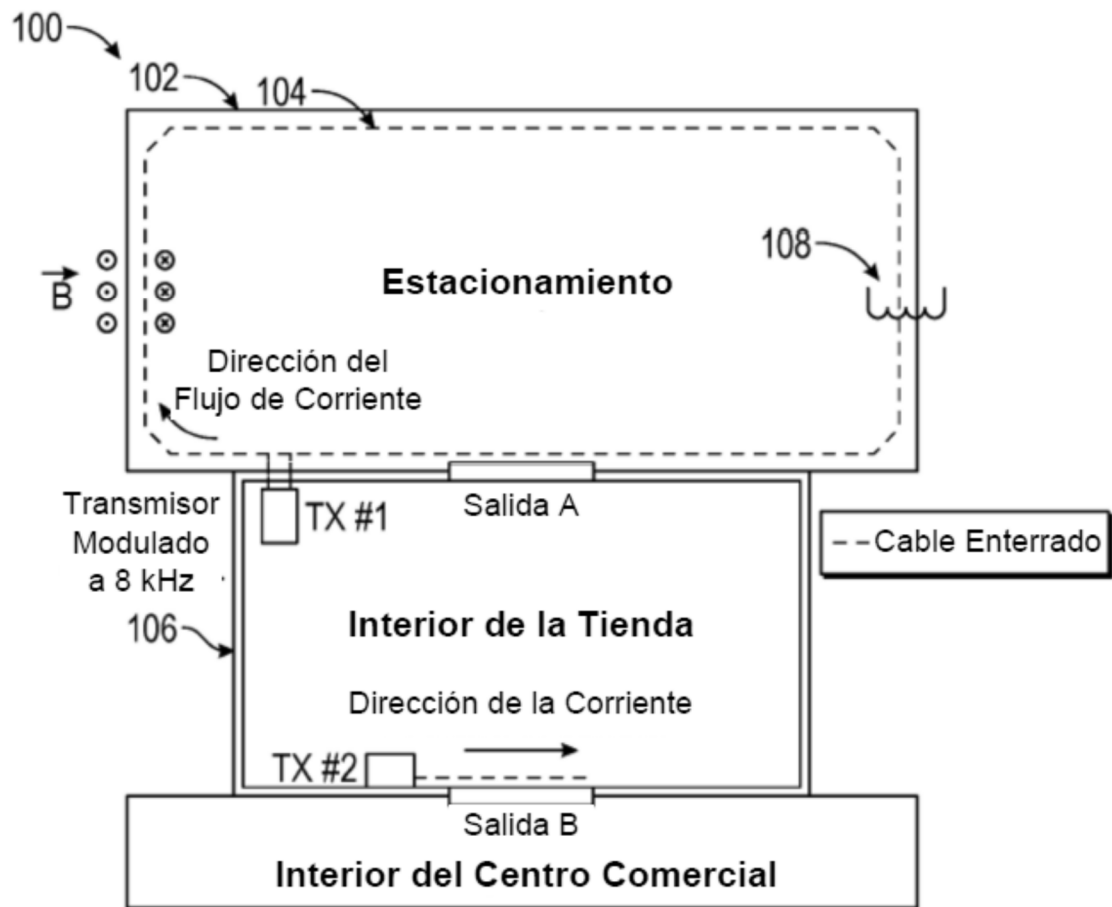


FIG. 1

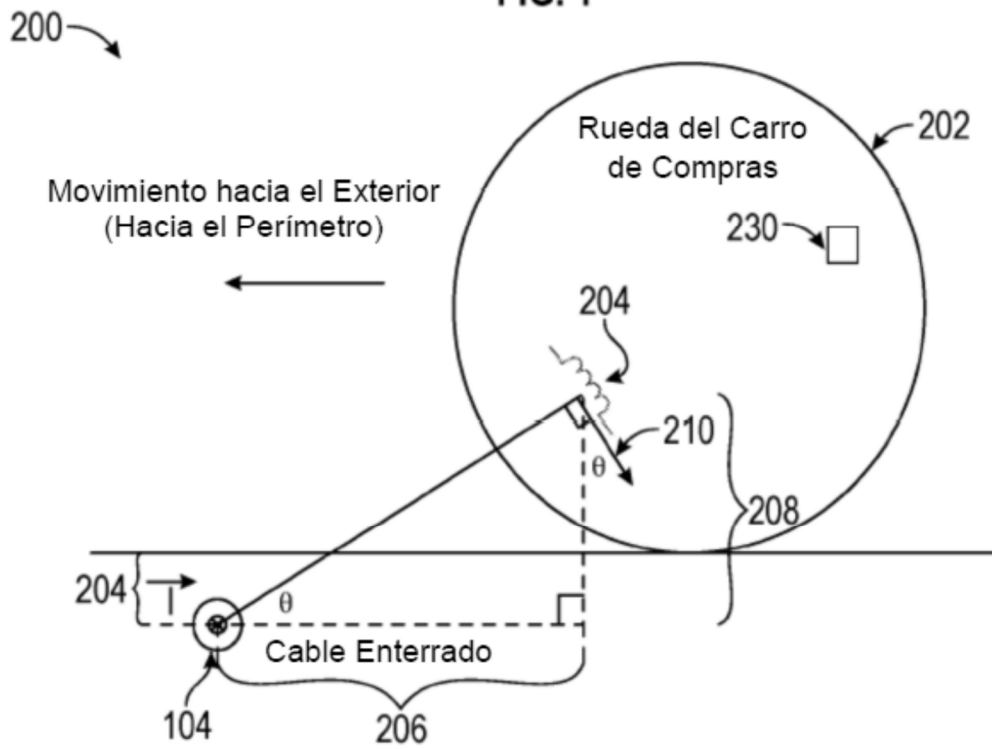


FIG. 2

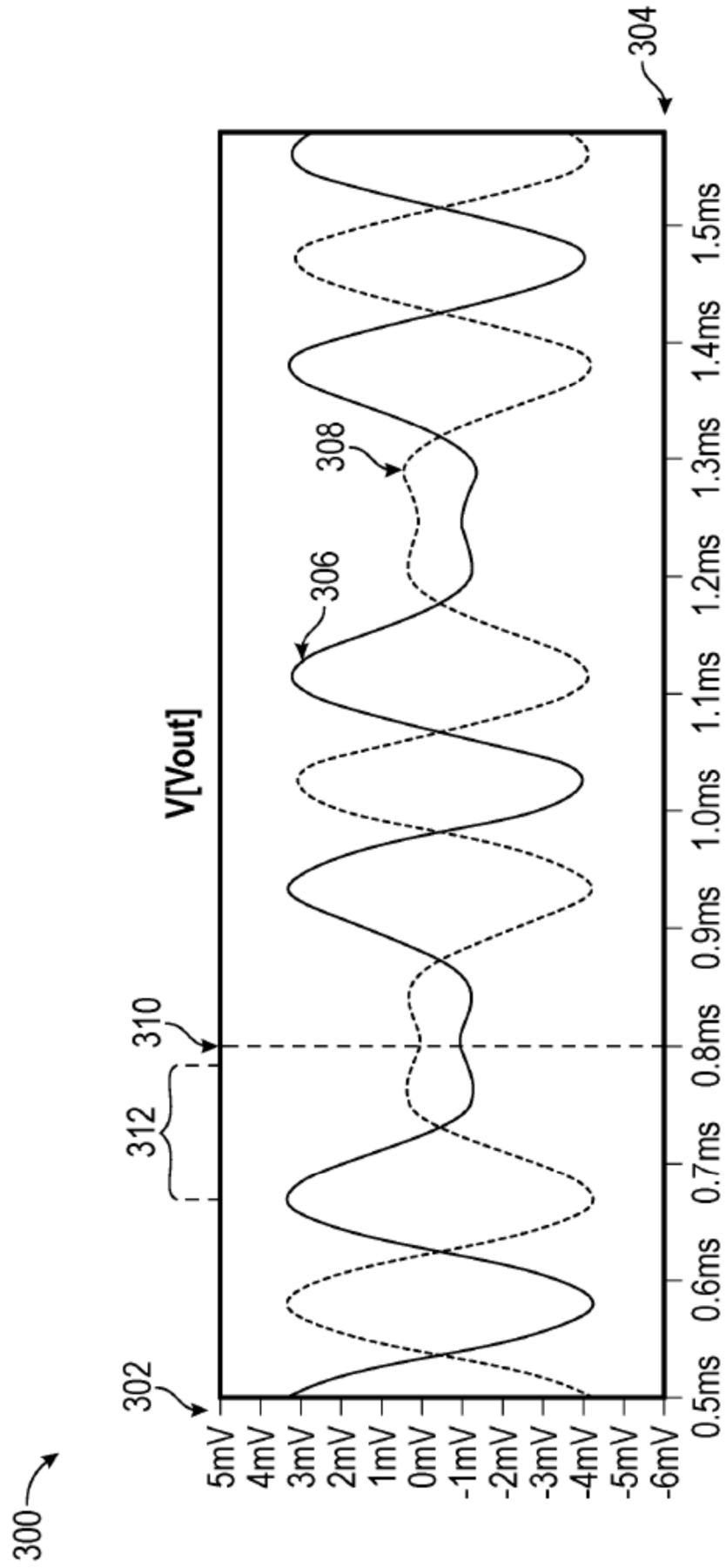


FIG. 3A

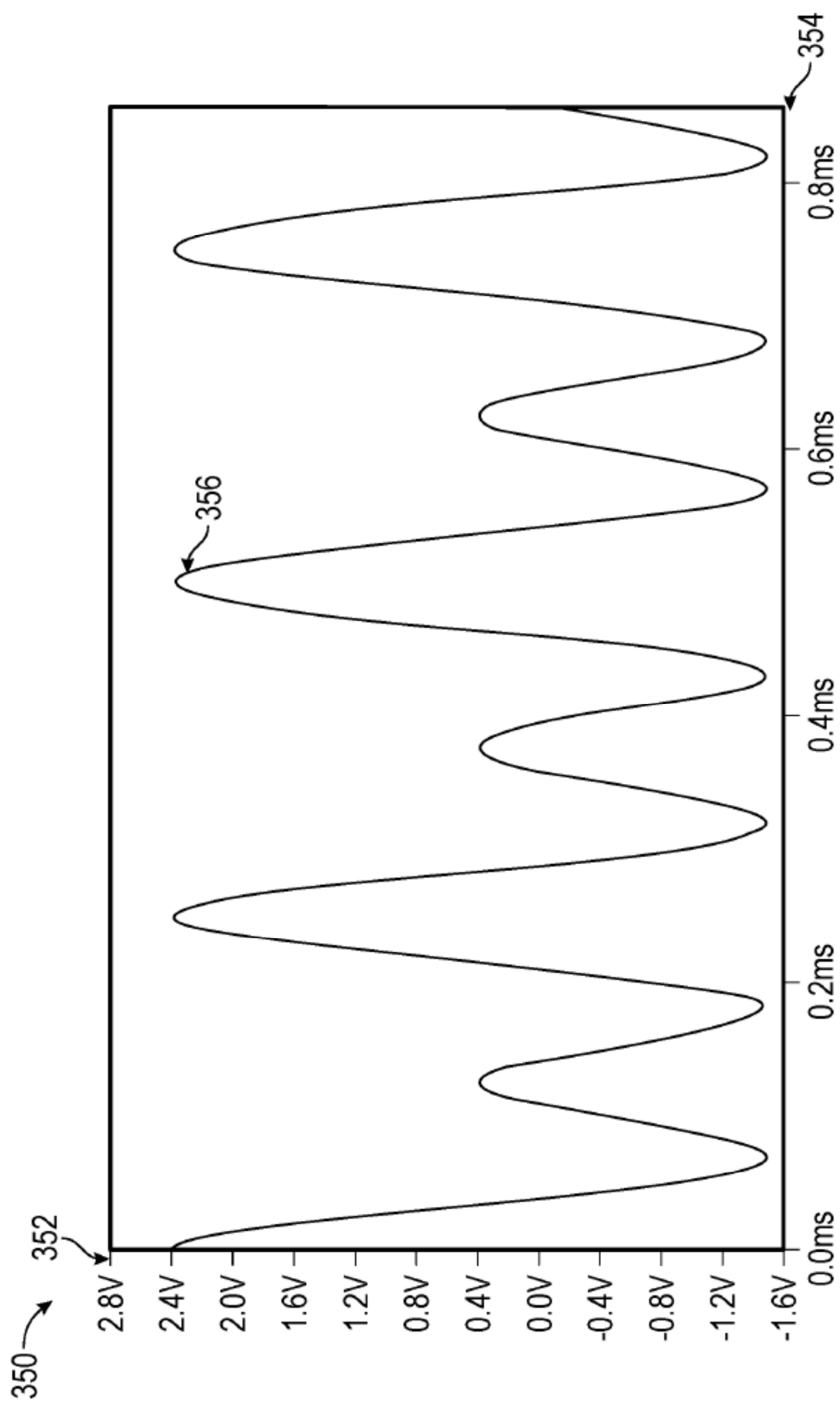


FIG. 3B

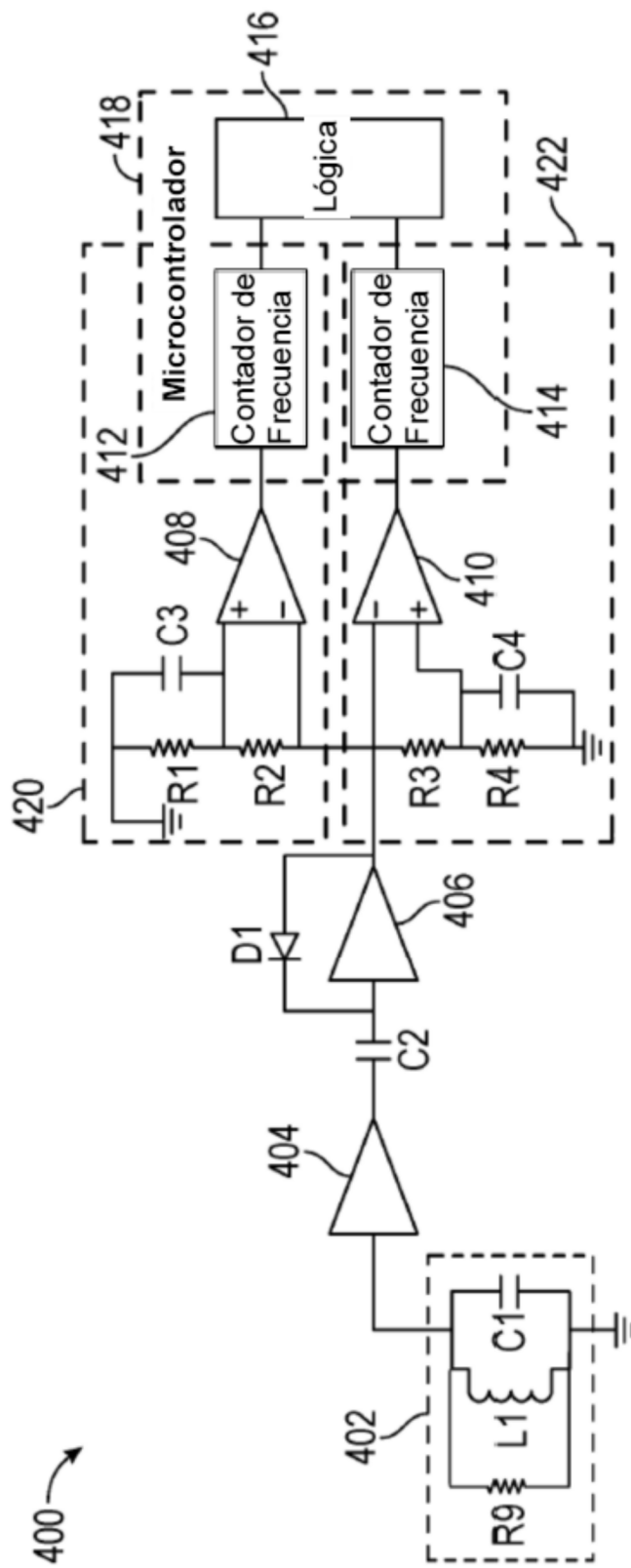


FIG. 4A

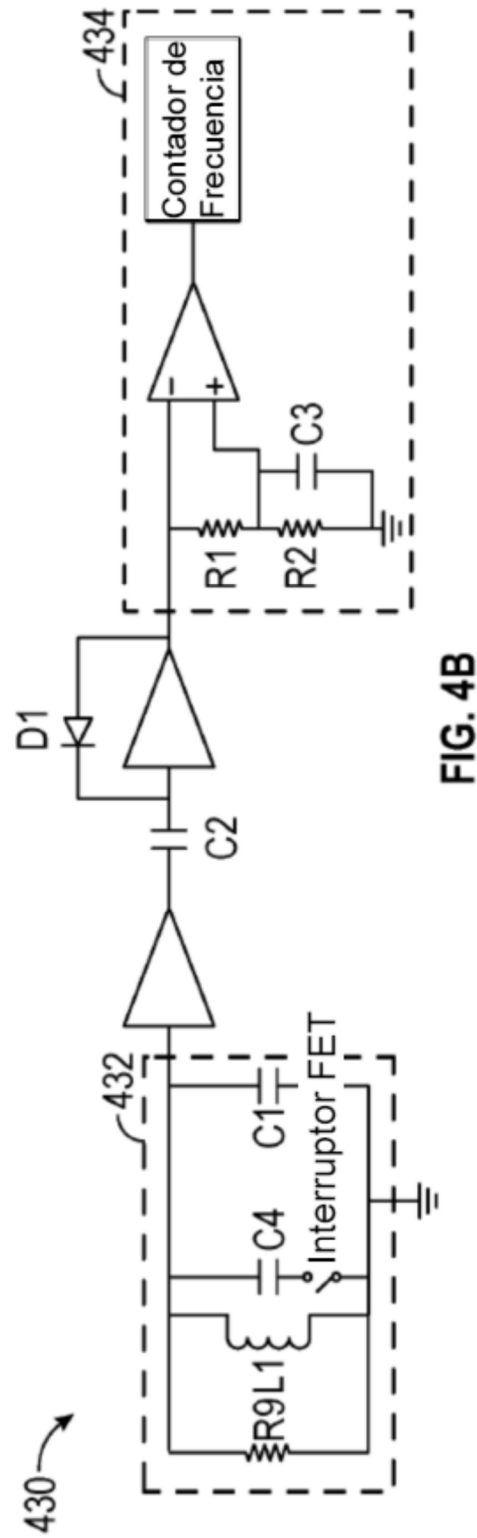
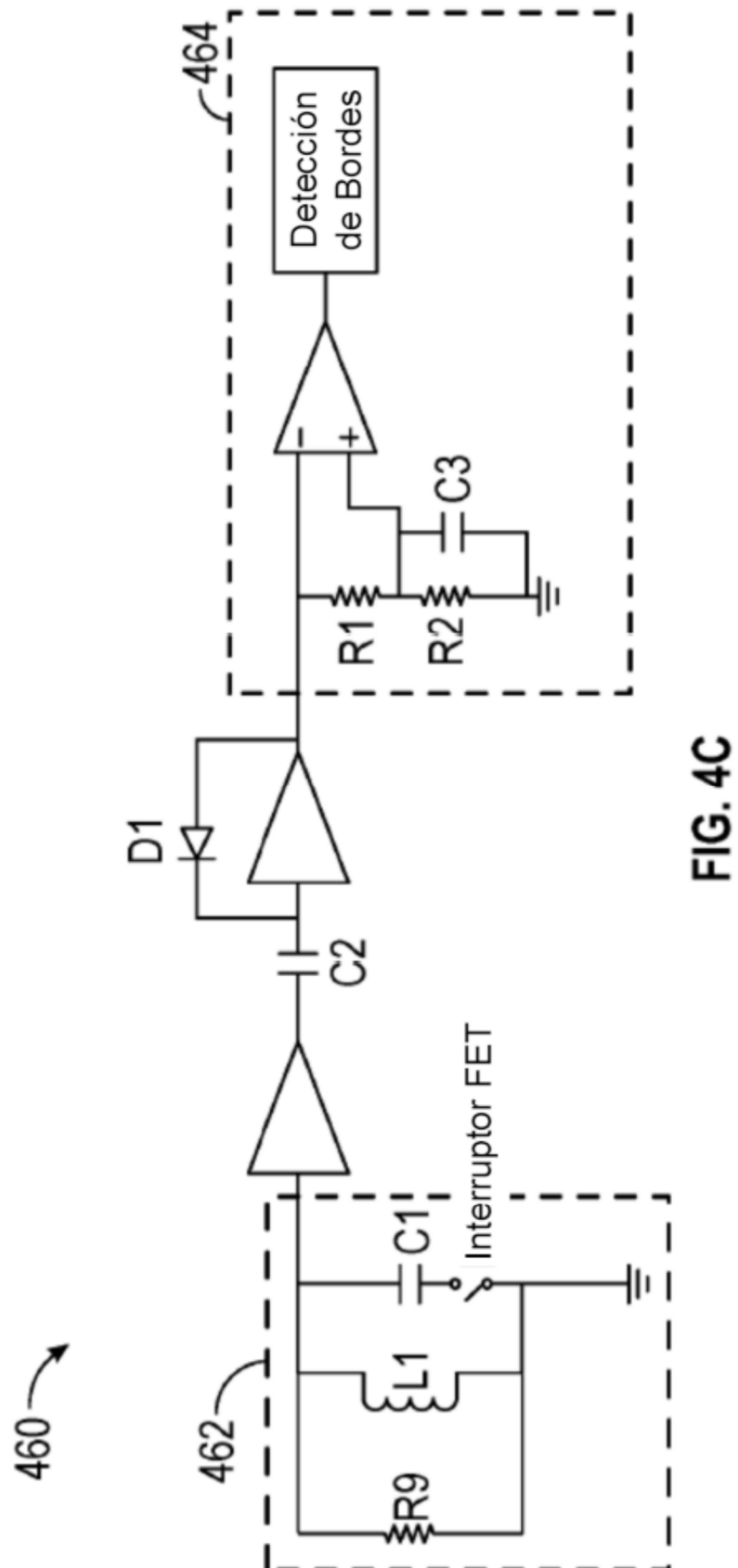


FIG. 4B



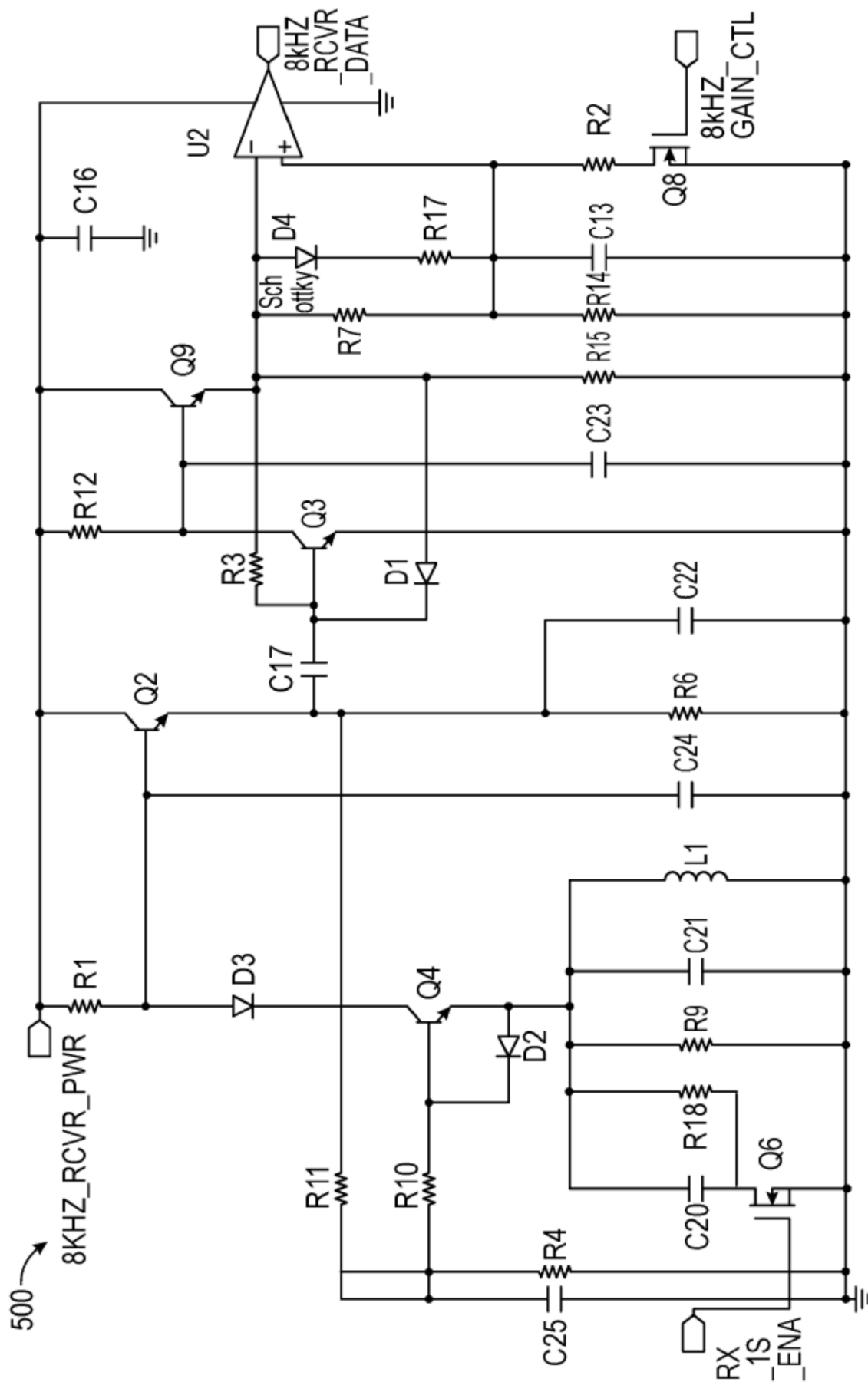


FIG. 5A

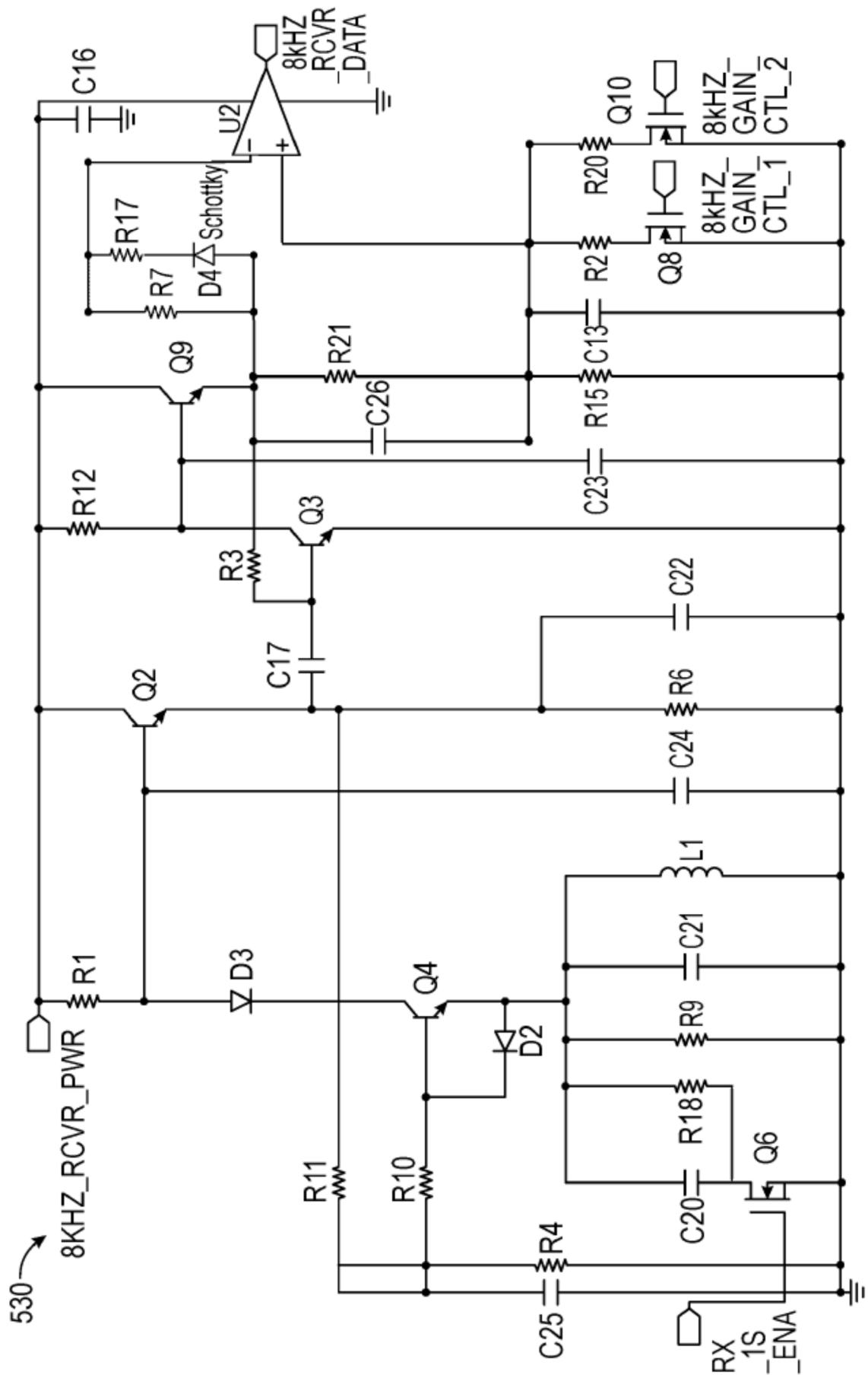


FIG. 5B

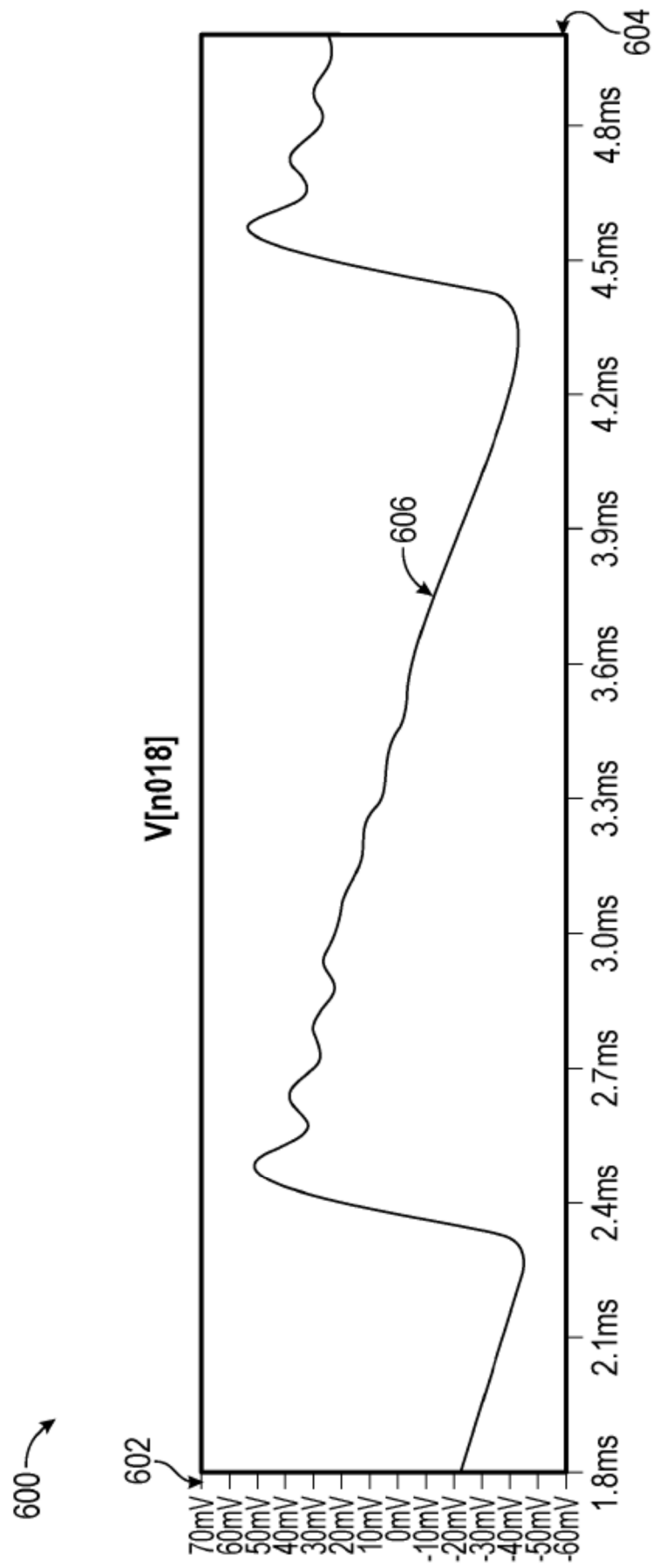


FIG. 6

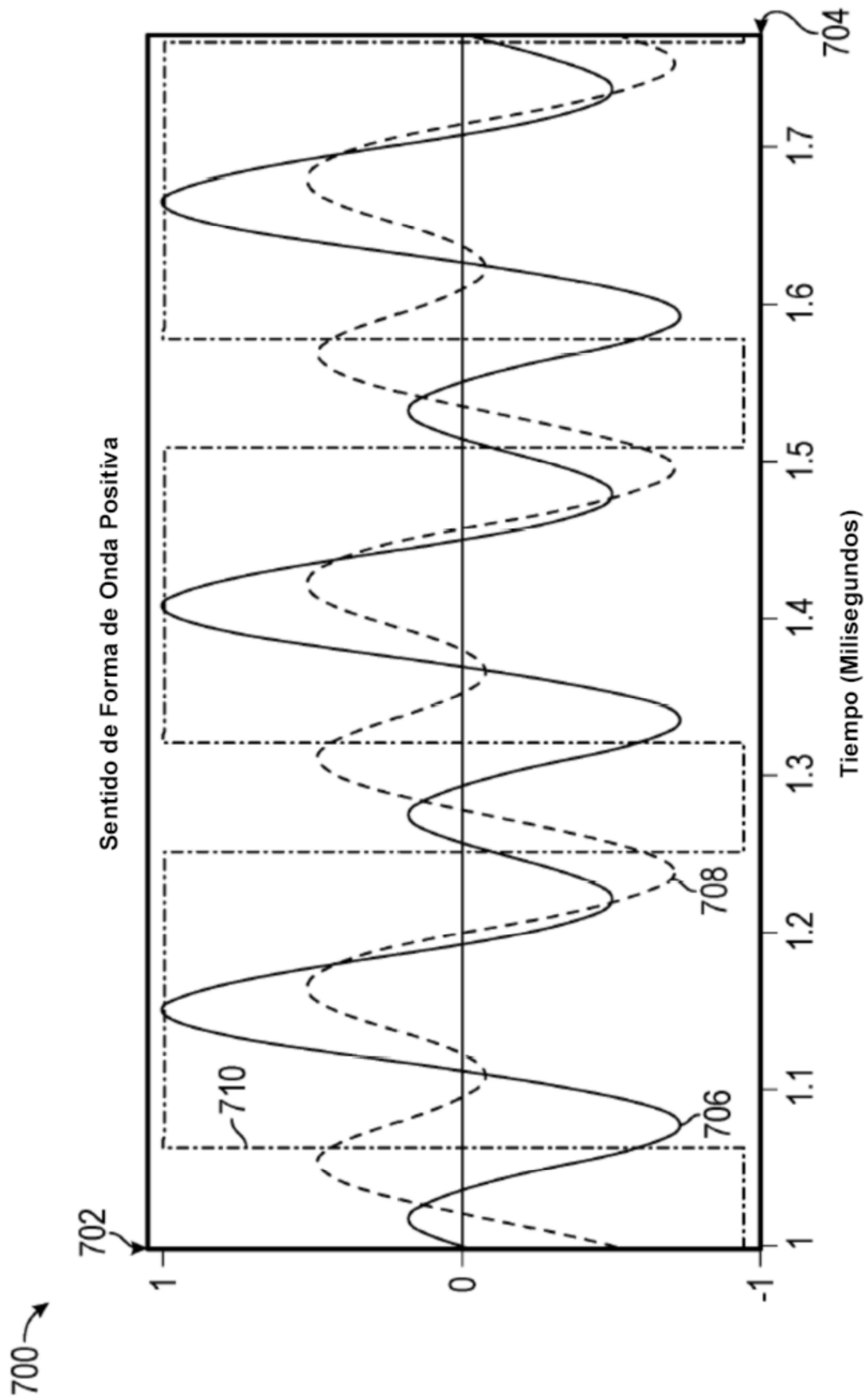


FIG. 7A

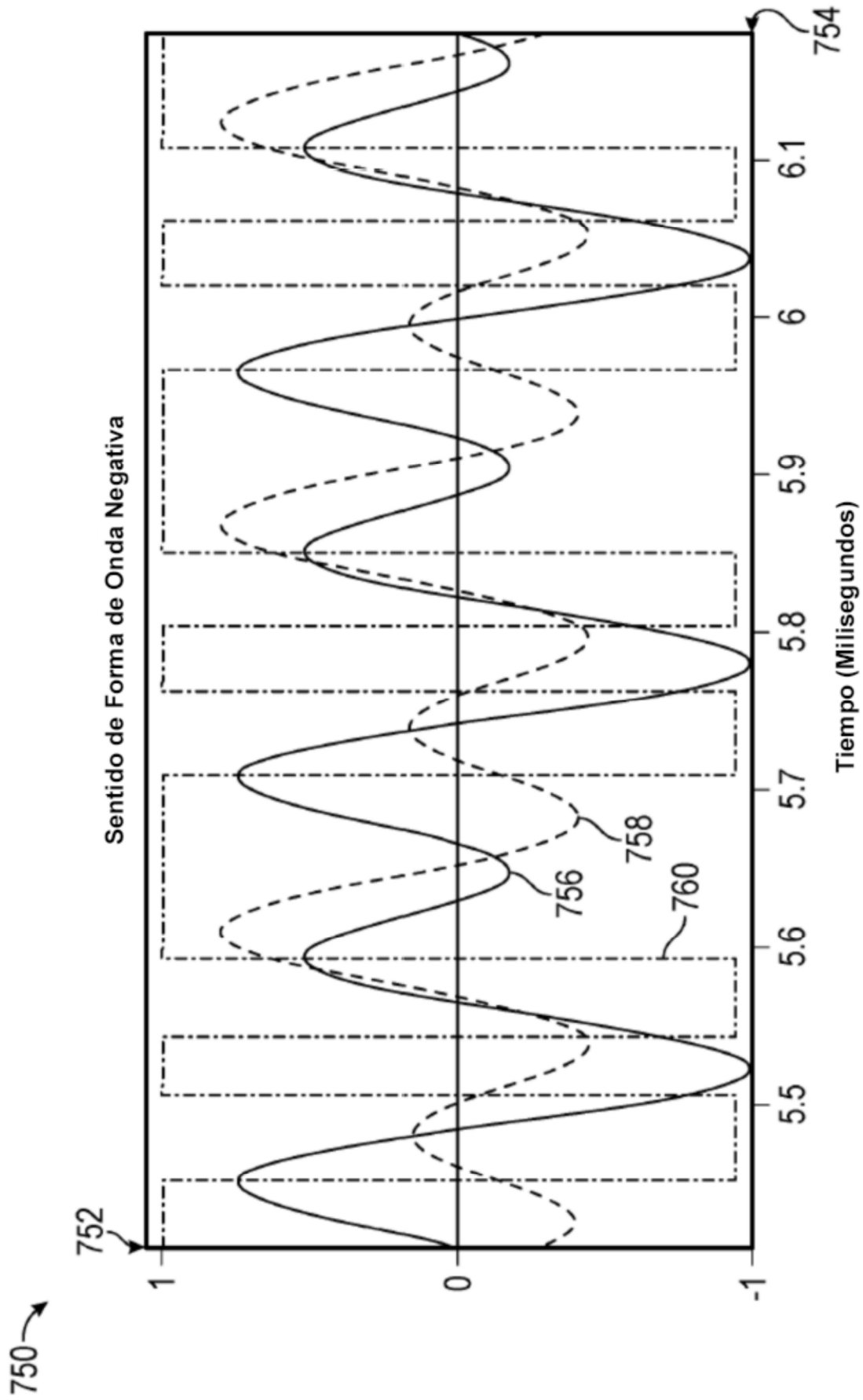


FIG. 7B

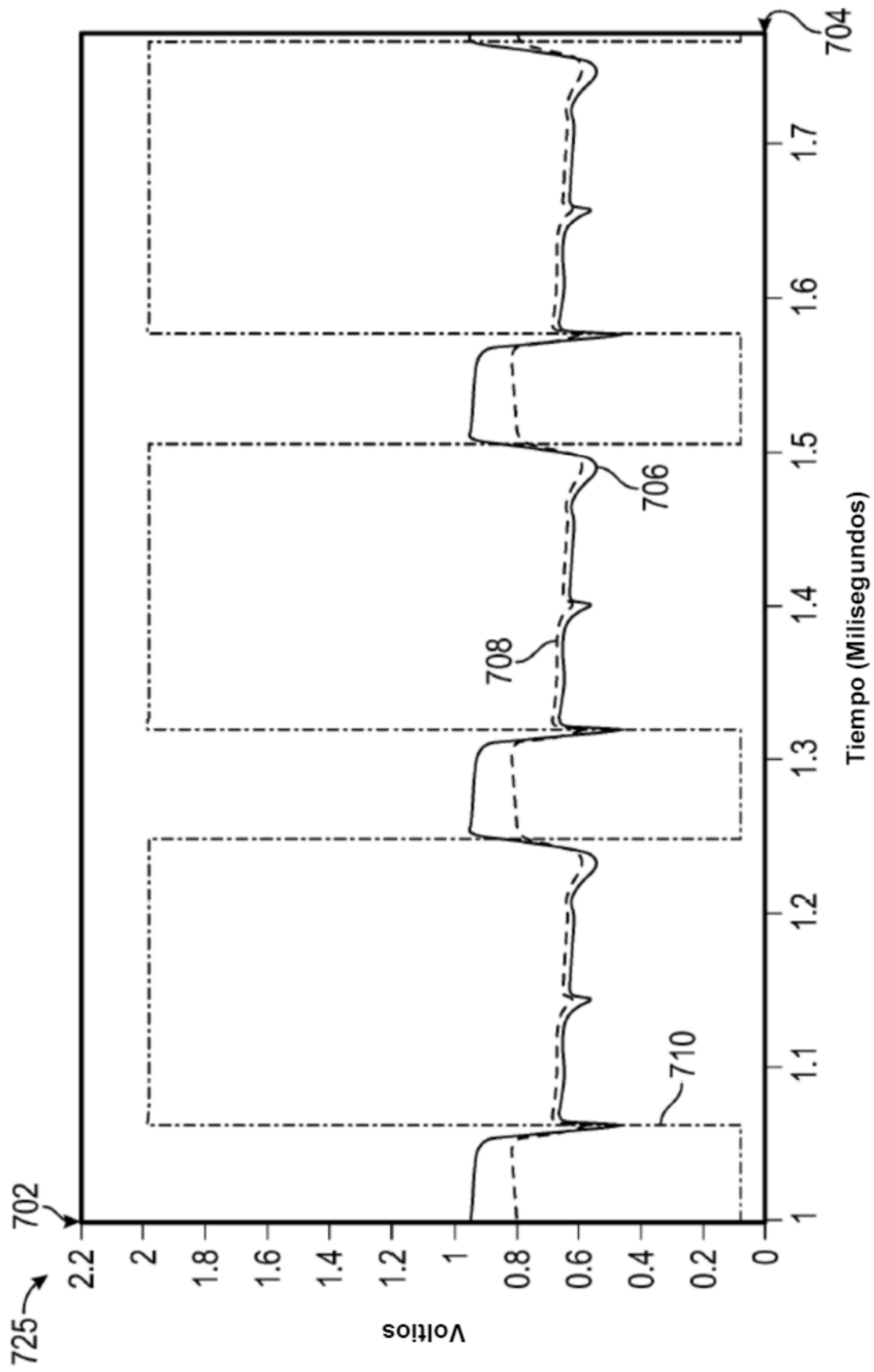


FIG. 7C

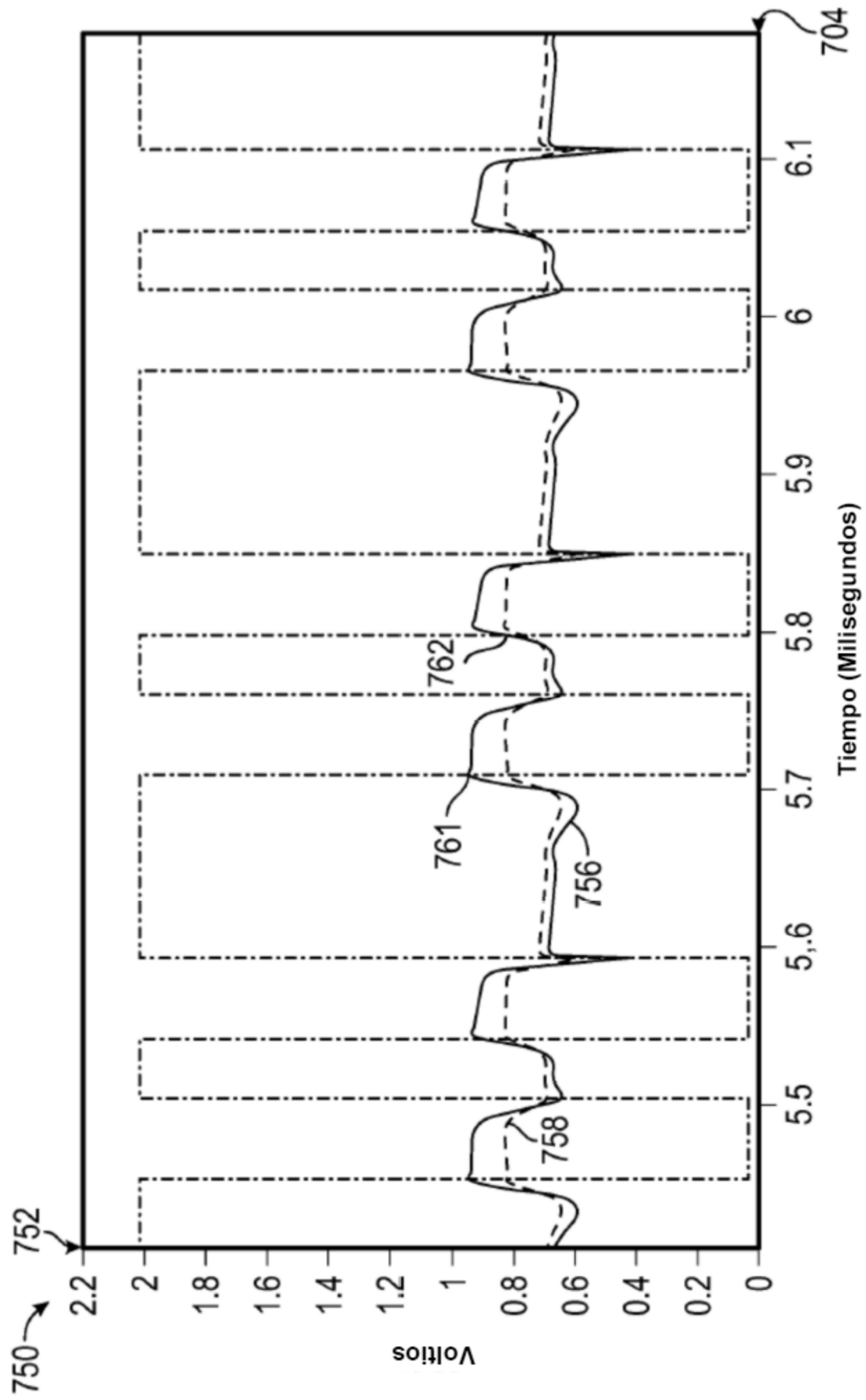


FIG. 7D

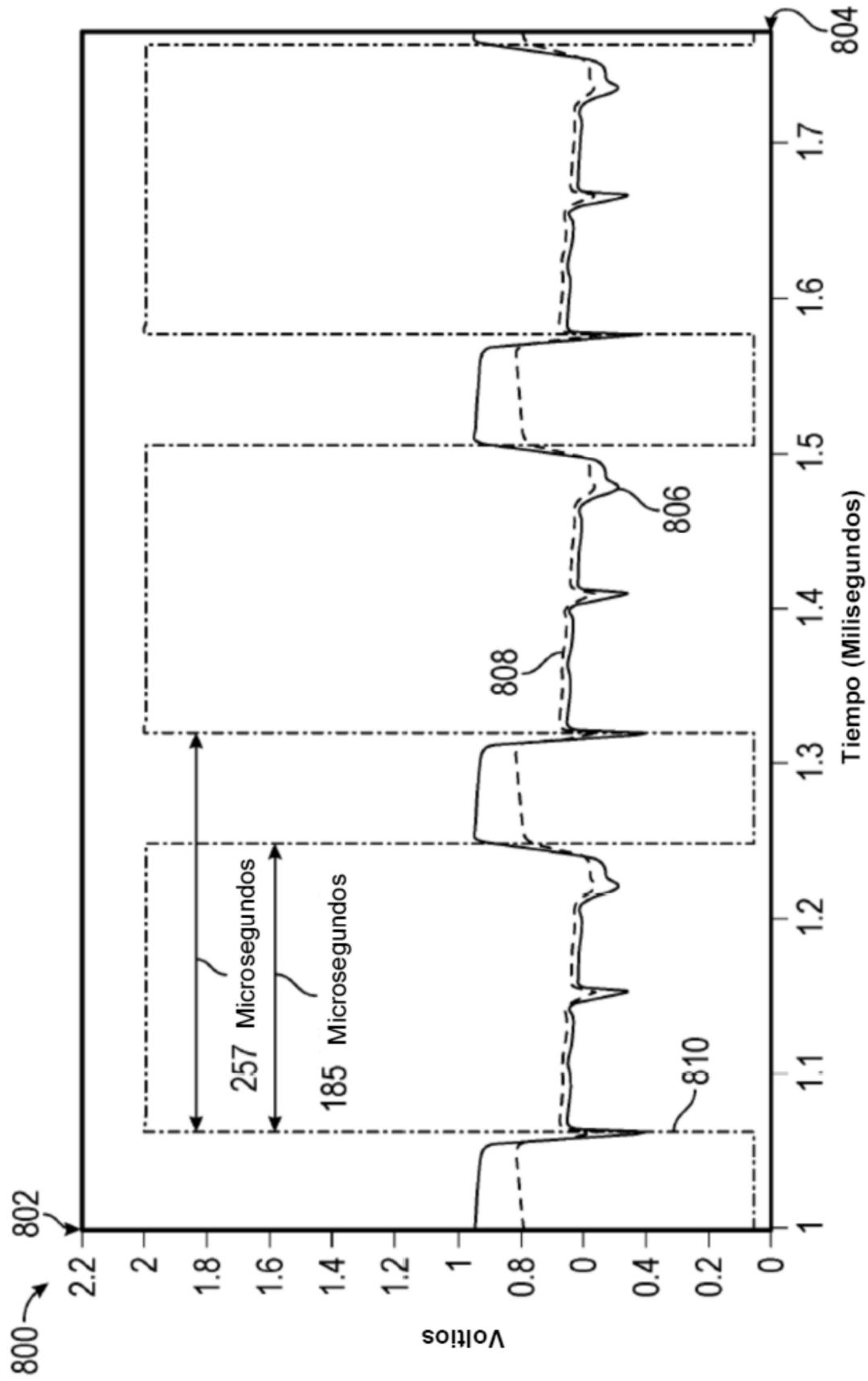


FIG. 8A

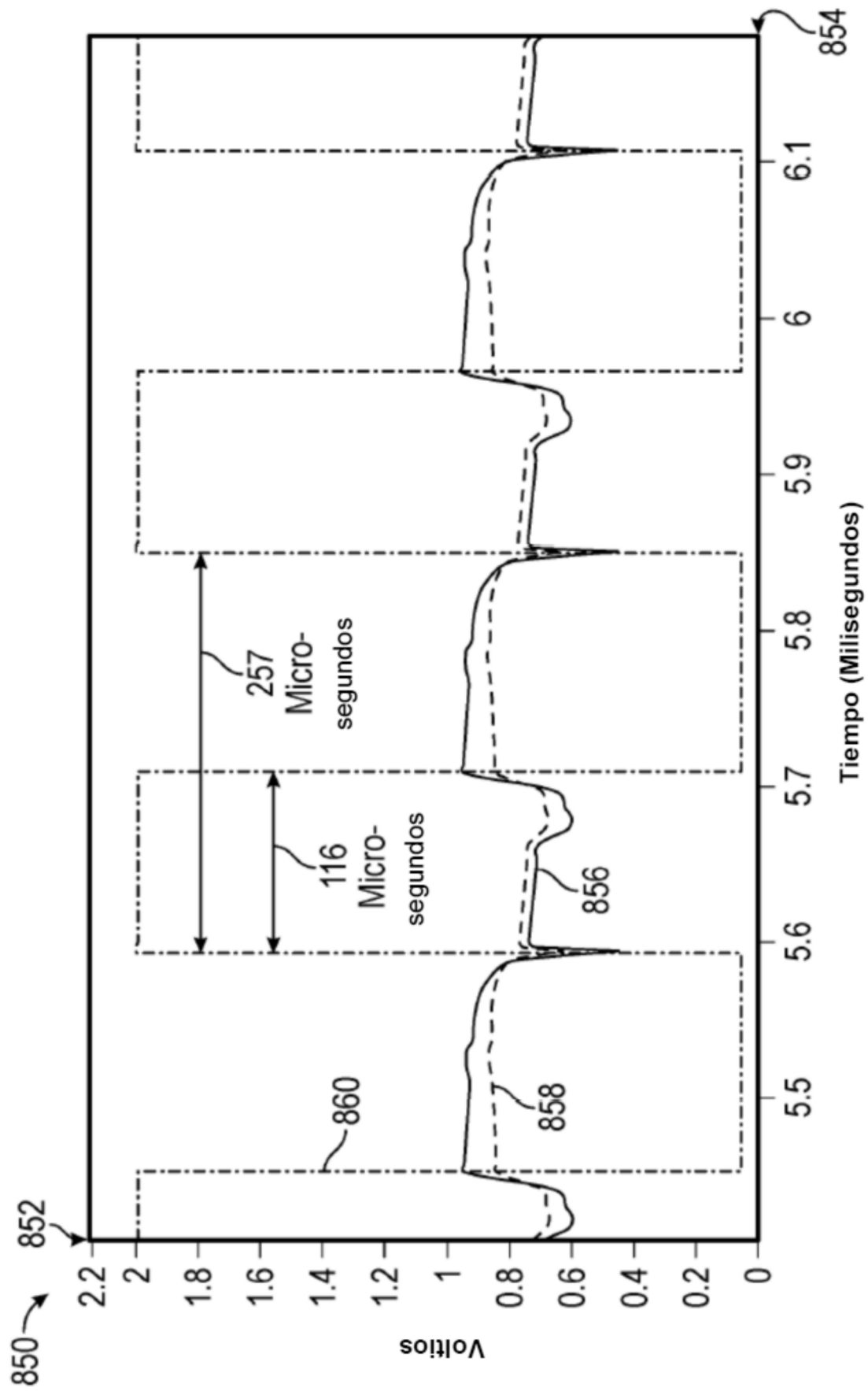


FIG. 8B