

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 909 842**

51 Int. Cl.:

A61N 1/378 (2006.01)

H02J 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2012** **PCT/US2012/032468**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2012** **WO12145178**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2012** **E 12714193 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2022** **EP 2699313**

54 Título: **Sistema de carga y método de sintonización de frecuencia para un dispositivo implantable**

30 Prioridad:

18.04.2011 US 201161476584 P
04.04.2012 US 201213439591

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.05.2022

73 Titular/es:

MEDTRONIC, INC. (100.0%)
710 Medtronic Parkway NE
Minneapolis, MN 55432, US

72 Inventor/es:

OLSON, DAVID P.;
DELISI, NICHOLAS A.;
EISCH, JAY T.;
LABROSSE, PHILIP R. y
NOLAN, JOSEPH J.

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 909 842 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de carga y método de sintonización de frecuencia para un dispositivo implantable

5 Antecedentes

Los dispositivos médicos implantables para producir un resultado terapéutico en un paciente son bien conocidos. Los ejemplos de dichos dispositivos médicos implantables incluyen bombas de infusión de fármacos, neuroestimuladores implantables, cardioversores, marcapasos cardíacos, desfibriladores e implantes cocleares. Por supuesto, se reconoce que se contemplan otros dispositivos médicos implantables que utilizan energía suministrada o transferida desde un dispositivo externo.

Un elemento común en todos estos dispositivos médicos implantables es la necesidad de potencia eléctrica en el dispositivo médico implantado. El dispositivo médico implantado requiere potencia eléctrica para realizar su función terapéutica, que puede incluir accionar una bomba de infusión eléctrica, proporcionar un impulso de neuroestimulación eléctrica o proporcionar un impulso de estimulación cardíaca eléctrica. Esta potencia eléctrica se deriva de una fuente de alimentación.

Algunos dispositivos médicos implantables pueden recibir potencia eléctrica por vía transcutánea mediante el uso de acoplamiento inductivo. Por ejemplo, la potencia se puede transferir mediante el acoplamiento inductivo de una bobina primaria externa que se coloca sobre o cerca de la piel de un paciente con una bobina secundaria que se acopla o se incluye dentro de un dispositivo médico implantable. La corriente inducida en la bobina secundaria se puede usar para almacenar potencia en una fuente de alimentación tal como una batería recargable y/o se puede usar para alimentar directamente el circuito dentro del dispositivo implantable. Una vez recargada, la fuente de alimentación interna se puede utilizar para suministrar potencia eléctrica al dispositivo médico implantado.

Se han desarrollado muchos dispositivos y técnicas para proporcionar energía transcutánea para alimentar un dispositivo médico implantable y/o para recargar una fuente de alimentación asociada con el dispositivo. Como se señaló anteriormente, las técnicas generalmente emplean una bobina primaria impulsada por una fuente de alimentación externa.

El preámbulo de las presentes reivindicaciones 1 y 8 se divulga en el documento US 2005/119716.

Resumen

Se divulgan técnicas para la transferencia por vía transcutánea de energía para recargar una fuente de alimentación recargable (por ejemplo, una batería) de un dispositivo médico implantable (IMD). Estas técnicas pueden implicar el acoplamiento inductivo o de RF de una bobina primaria de un dispositivo externo a una bobina secundaria de un IMD para transferir energía a la fuente de alimentación recargable del IMD. Para transferir energía de la manera más eficiente posible, puede ser deseable sintonizar la frecuencia de la señal que se genera dentro de la bobina primaria. Dicha sintonización puede ocurrir antes de que se inicie la recarga y/o una o más veces durante la sesión de recarga.

La frecuencia óptima a la que se excita la bobina primaria puede basarse, en parte, en las propiedades eléctricas de la antena que contiene la bobina primaria, así como en los demás circuitos asociados con la bobina primaria. Esta frecuencia óptima puede depender además del entorno en el que se coloca la antena. Es decir, el entorno puede presentar una inductancia adicional que "carga" la bobina primaria, lo que da como resultado una frecuencia resonante del sistema que probablemente sea diferente de la frecuencia resonante nominal de la propia antena. La carga de la bobina primaria puede cambiar en base a la forma cambiante de la bobina primaria (por ejemplo, si la bobina es flexible), la ubicación actual de la bobina primaria y la postura actual de un paciente en el que se implanta el IMD.

De acuerdo con lo anterior, se describen técnicas para determinar una frecuencia resonante del sistema para un sistema de recarga. Estas técnicas pueden involucrar el monitoreo de una señal asociada con la bobina primaria. Si el sistema no está siendo accionado a la frecuencia resonante del sistema, pueden aparecer características en esta señal monitoreada que de otro modo no estarían presentes cuando la bobina primaria está siendo accionada a la frecuencia resonante del sistema.

De acuerdo con un ejemplo, se divulga un sistema de carga que está configurado para suministrar potencia por vía transcutánea. El sistema de carga comprende una bobina primaria, un circuito de accionamiento para accionar la bobina primaria a una frecuencia de accionamiento y un circuito de control para sintonizar la frecuencia de accionamiento en base a una característica de una señal monitoreada que está asociada con la bobina primaria. La característica no está presente cuando la bobina primaria está siendo accionada a una frecuencia resonante del sistema.

En un ejemplo específico, se proporciona un circuito de detección de bordes para detectar una característica en la señal monitoreada. La característica puede describirse como una o más transiciones que de otro modo no estarían presentes en la señal monitoreada a la frecuencia resonante. Tales transiciones pueden definir, por ejemplo, un "pulso stub" que aparece en un nodo del circuito tanque que incluye la bobina primaria.

En algunas realizaciones, el circuito de control puede configurarse para cambiar la frecuencia a la que se acciona el circuito de accionamiento en base a la temporización relativa entre la característica (por ejemplo, el impulso stub) y otra característica de la señal monitoreada, en donde esta otra característica de la señal monitoreada puede ser, por ejemplo, un impulso de tensión que siempre está presente en la señal monitoreada ya sea que el circuito esté siendo accionado o no a una frecuencia resonante. En algunos casos, el circuito de control está configurado para disminuir la frecuencia de accionamiento si la característica que se está monitoreando (por ejemplo, impulso stub) aparece dentro de un período de tiempo predeterminado de esta otra característica de la señal. De lo contrario, si el impulso stub aparece fuera del período de tiempo predeterminado de esta otra característica, la frecuencia de la señal puede aumentar.

En algunos ejemplos, el circuito de control está configurado para cambiar la frecuencia de accionamiento en una cantidad que se basa en la característica. Por ejemplo, en algunos casos, el ancho del impulso stub aumentará a medida que la frecuencia de accionamiento se aleje más de la frecuencia resonante del sistema. Por lo tanto, la cantidad por la cual se ajusta la frecuencia para retornar a la frecuencia resonante del sistema puede basarse en el ancho del impulso stub.

En otras realizaciones, el circuito de control está configurado para aumentar un ciclo de trabajo en el que la bobina primaria se acciona hasta que la característica aparece por primera vez en la señal a una primera frecuencia y para ajustar la frecuencia de accionamiento hasta que la característica desaparece y reaparece a una segunda frecuencia. El circuito de control puede entonces ajustar la frecuencia de accionamiento para que sea el promedio de la primera y la segunda frecuencias.

En otros ejemplos, el circuito de control puede configurarse para determinar una alta frecuencia a la que la característica aparece por primera vez en la señal y una baja frecuencia a la que la característica aparece por primera vez en la señal. El circuito de control puede entonces ajustar la frecuencia de accionamiento para que sea el promedio de las frecuencias alta y baja. El circuito de control puede configurarse para comenzar a ajustar la frecuencia de accionamiento a una frecuencia $f(\text{exterior})$ en la que aparece la característica. Cada ajuste de este tipo puede ajustar la frecuencia de accionamiento en un incremento predeterminado. El circuito de control puede configurarse para determinar al menos una de $f(\text{exterior})$ y el incremento predeterminado durante la calibración del sistema. El circuito de accionamiento también puede estar adaptado para imponer un período muerto durante el cual la bobina primaria no está siendo accionada, apareciendo la característica en la señal monitoreada durante este período muerto.

En aún otras realizaciones, el sistema puede incluir un cable acoplado a la bobina primaria. El circuito de control puede ser transportado por el cable. El sistema también puede incluir un programador para intercambiar al menos uno de los datos y las instrucciones programadas con el IMD, donde el circuito de control está unido al programador de forma desmontable.

Otros ejemplos proporcionan un sistema que comprende un circuito para generar una señal asociada con el suministro de potencia por vía transcutánea. El circuito puede configurarse para sintonizar la señal a una frecuencia resonante del sistema basándose en una característica de la señal que no está presente cuando la señal está a la frecuencia resonante del sistema. El circuito puede comprender un detector de borde para detectar la característica.

Aún otras realizaciones se refieren a un método de suministro de potencia por vía transcutánea. El método incluye excitar una bobina primaria, monitorear una señal asociada con la bobina primaria y ajustar una señal de accionamiento que está accionando la bobina primaria a una frecuencia resonante basada en una característica en la señal monitoreada que no está presente cuando la señal de accionamiento está a la frecuencia resonante. El método puede incluir además el ajuste de una frecuencia de la señal de accionamiento en base a la temporización relativa entre la característica que no está presente cuando las señales de accionamiento están en frecuencia resonante y otra característica de la señal monitoreada que está presente cuando la señal de accionamiento está en frecuencia resonante.

Aún otros ejemplos incluyen un sistema que comprende un medio de bobina para suministrar potencia por vía transcutánea a los medios del dispositivo médico implantable. Dichos medios de bobina pueden incluir una bobina primaria de las diversas realizaciones descritas en este documento. El sistema puede incluir medios de generación de señales para generar una señal en la bobina y medios de control para sintonizar una frecuencia de la señal en base a una característica de la señal que no está presente cuando la bobina se acciona a una frecuencia resonante del sistema. Dichos medios de generación de señales pueden comprender un circuito de puente en H según los ejemplos descritos en este documento u otros circuitos de generación de señales como se describe en este documento. Los medios de control pueden incluir circuitos de control de varios tipos y que tengan las diversas estructuras descritas en este documento. El sistema puede comprender además medios de dispositivos médicos

implantables para al menos uno de suministrar una terapia a un paciente o detectar una señal del paciente. Tales medios de dispositivos médicos implantables pueden comprender cualquiera de las aplicaciones de dispositivos implantables descritas en este documento, incluidos medios para proporcionar estimulación a un paciente y medios para suministrar un agente terapéutico al paciente.

5

Otros aspectos de la divulgación se harán evidentes a partir de la siguiente descripción y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 es un diagrama que ilustra un dispositivo médico implantable ilustrativo.
 La Figura 2 es un diagrama de bloques de una realización del dispositivo médico implantable y un sistema de carga para recargar una fuente de alimentación del dispositivo médico implantable.
 La Figura 3 es una representación del sistema de ejemplo del sistema de carga de la Figura 2
 La Figura 4 es un diagrama de un circuito de ejemplo que puede usarse para suministrar potencia por vía
 15 transcutánea al dispositivo médico implantable.
 La Figura 5A es un diagrama de temporización que ilustra el control de un circuito de puente en H que está sustancialmente sintonizado a una frecuencia resonante del sistema.
 La Figura 5B es un diagrama de temporización que ilustra el control de un circuito de puente en H accionado a una frecuencia mayor que la frecuencia resonante del sistema.
 20 La Figura 5C es un diagrama de temporización que ilustra el control de un circuito de puente en H que se acciona a una frecuencia inferior a la frecuencia resonante del sistema.
 La Figura 6A es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo para sintonizar una señal de accionamiento de un circuito de puente en H.
 La Figura 6B es un diagrama de flujo de otro método de ejemplo para sintonizar una señal de accionamiento de
 25 un circuito de puente en H.
 La Figura 7 es un diagrama de circuito similar al que se muestra en la Figura 4 que incluye elementos de circuito adicionales para ayudar a ubicar la antena.
 La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método de posicionamiento de una antena alterando la frecuencia de accionamiento de un circuito de carga.
 30 La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método de posicionamiento de una antena alterando la tensión de un circuito de carga.
 La Figura 10 es un diagrama de flujo de potencia de sintonización en la bobina primaria según un método de ejemplo.
 La Figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra un método para realizar una sesión de recarga de acuerdo con
 35 la divulgación actual.

Descripción detallada

- 40 Se divulgan técnicas para la transferencia de energía por vía transcutánea a un dispositivo médico implantable (IMD). El IMD puede tener una fuente de alimentación recargable acoplada a una bobina secundaria. Un dispositivo externo que tiene una bobina primaria colocada cerca de la bobina secundaria puede transferir energía por vía transcutánea a la bobina secundaria para su uso en la recarga de la fuente de alimentación recargable.
- 45 Es deseable que la transferencia de energía entre las bobinas primaria y secundaria sea lo más eficiente posible. Si la transferencia no es eficiente, la recarga de la fuente de alimentación recargable llevará más tiempo, posiblemente incomodando al paciente. Además, si la transferencia de energía no es eficiente, se puede disipar más energía en forma de calor, lo que puede resultar incómodo para el paciente.
- 50 Para aumentar la eficiencia de la transferencia de energía, se puede sintonizar la frecuencia a la que el dispositivo externo acciona la antena que contiene la bobina primaria. La frecuencia óptima a la que se acciona la antena se basa, en parte, en las propiedades eléctricas de la antena y los circuitos relacionados. Esta frecuencia depende además del entorno en el que se coloca la antena. Es decir, el entorno puede presentar una inductancia adicional que "carga" la bobina primaria, lo que da como resultado una frecuencia resonante del sistema que probablemente sea diferente de la frecuencia resonante nominal de la antena. Además, a medida que cambian las características
 55 eléctricas del entorno, es probable que también cambie la frecuencia resonante del sistema. Como resultado, incluso si la sintonización de frecuencia se realizó al comienzo de una sesión de recarga, la frecuencia resonante del sistema puede cambiar durante esta sesión de recarga, por lo que es necesaria una sintonización adicional para mantener una eficiencia óptima.
- 60 Para ubicar la frecuencia resonante del sistema de una manera muy eficiente, un aspecto de la divulgación tiene en cuenta las características de la señal que se producen dentro del circuito tanque, en donde el circuito tanque puede comprender la bobina primaria y un condensador de sintonización. Estas características de la señal cambiarán dependiendo de si el circuito tanque está funcionando a la frecuencia resonante. En particular, cuando el circuito tanque se acciona a una frecuencia resonante, la forma de onda de tensión que aparece en uno o más nodos del
 65 circuito tanque tendrá una frecuencia que es sustancialmente la misma que la frecuencia a la que se acciona el circuito tanque. Sin embargo, si el circuito tanque no se está accionando a la frecuencia resonante del sistema,

aparecerán características adicionales en esta forma de onda de tensión monitoreada que no están presentes en la frecuencia resonante. De acuerdo con la invención, estas características pueden describirse como "pulsos stub" que comprenden bordes ascendentes y descendentes adicionales que de otro modo no estarían presentes cuando el circuito está siendo accionado a una frecuencia resonante.

Un borde "extra" en la forma de onda (por ejemplo, un impulso stub) del tipo descrito anteriormente puede detectarse y usarse para ajustar muy eficientemente la frecuencia de accionamiento para que coincida con la frecuencia resonante actual del sistema. En particular, la temporización relativa asociada con un impulso stub indicará si la frecuencia de accionamiento se debe aumentar o disminuir para que coincida con la frecuencia resonante actual del sistema. Esta sintonización se puede completar en solo unos pocos ciclos, lo que permite que el sistema permanezca con una eficiencia óptima durante la recarga, incluso cuando la bobina primaria se flexiona y/o se mueve en relación con la bobina secundaria. Como un ejemplo, cuando la bobina primaria está siendo accionada a una frecuencia por encima de la frecuencia resonante del sistema, los impulsos stub pueden aparecer dentro de un período de tiempo predeterminado de otro impulso de tensión en la señal de tensión monitoreada. Por el contrario, cuando la bobina primaria está siendo accionada a una frecuencia por debajo de la frecuencia resonante del sistema, aparecerán impulsos stub fuera de este tiempo predeterminado. Por lo tanto, la temporización relativa del impulso stub con respecto a las características de la señal de tensión general se puede usar para determinar si se debe aumentar o disminuir la frecuencia para ubicar la frecuencia resonante del sistema.

Usando las observaciones analizadas anteriormente, la sintonización para localizar una frecuencia óptima para realizar la recarga puede completarse muy rápidamente. En particular, puede determinarse una frecuencia $f(\text{alta})$ en la que aparecen primero los impulsos stub porque la bobina primaria está siendo accionada por encima de la frecuencia resonante del sistema. De manera similar, se puede determinar una frecuencia $f(\text{baja})$ en la que aparecen primero los impulsos stub porque la bobina primaria está siendo accionada por debajo de la frecuencia resonante del sistema. En un ejemplo, tomando el promedio de $f(\text{alta})$ y $f(\text{baja})$, se puede aproximar la frecuencia resonante del sistema. Hay varios mecanismos disponibles para usar los impulsos stub para determinar la frecuencia resonante del sistema.

La apariencia de los impulsos stub se puede usar opcionalmente para determinar no solo el tipo de ajuste de frecuencia (por ejemplo, aumento frente a disminución), sino también el tamaño del ajuste. En particular, en algunos ejemplos, el ancho de los impulsos stub aumenta a medida que aumenta el grado de desajuste de sintonización, lo que permite estimar el tamaño del ajuste requerido en base al ancho de impulso stub.

Usando los principios descritos en este documento, la sintonización de frecuencia se puede realizar en varios momentos antes y/o durante una sesión de recarga en una realización. En un escenario, la sintonización solo se realiza una vez cuando un recargador se empareja por primera vez con un paciente. Esta sintonización determinará una frecuencia resonante que puede tener en cuenta el tipo de cuerpo del paciente, la profundidad del implante, la orientación de la bobina secundaria dentro del cuerpo del paciente, etc. La frecuencia resonante del sistema resultante de la sintonización se puede registrar para su uso durante todas las futuras sesiones de recarga. Alternativamente, la sintonización de frecuencia se puede realizar al comienzo de cada sesión de recarga para tener en cuenta la ubicación actual de la bobina primaria con respecto a la bobina secundaria, la postura actual del paciente, etc. En aún otro ejemplo, la sintonización se puede reiniciar periódicamente a lo largo una sesión de recarga, si se desea, para tener en cuenta los cambios en la posición de la antena y la postura del cuerpo.

En una realización, el sistema puede monitorear las condiciones de recarga para determinar cuándo es necesario volver a sintonizar. Por ejemplo, el sistema puede monitorear la aparición de impulsos stub, lo que puede indicar que la frecuencia resonante del sistema ha cambiado. Tal evento puede generar una interrupción o ser detectado por un mecanismo de sondeo. En cualquier caso, la volver a sintonizar la frecuencia se puede lograr sustancialmente en tiempo real para que se mantenga una frecuencia de recarga óptima a pesar de la flexión de la bobina, el movimiento de la bobina y/o el movimiento del paciente.

Como se indicó anteriormente, la apariencia de los impulsos stub se puede usar para determinar no solo un tipo de ajuste (aumento versus disminución), sino que también se puede usar para determinar una cantidad estimada de aumento o disminución de frecuencia necesaria para alcanzar la frecuencia resonante del sistema. Esto se debe a que el ancho de un impulso stub aumentará a medida que aumente el grado de desajuste entre la frecuencia de accionamiento y la frecuencia resonante del sistema. Por lo tanto, el ancho relativo determinado de un impulso stub se puede usar para estimar una cantidad en la que se debe cambiar la frecuencia para permitir que esta sintonización de frecuencia se complete incluso de manera más eficiente.

También se pueden usar otras condiciones para desencadenar la resintonización de frecuencia, como un cambio en una condición dentro del IMD (por ejemplo, una caída repentina en el flujo de corriente a la fuente de alimentación recargable) o alguna otra condición monitoreada dentro del IMD. Esta condición se puede comunicar al dispositivo externo mediante telemetría, por ejemplo.

La sintonización de frecuencia como se describe en este documento se puede realizar mientras la antena está estacionaria con respecto a la bobina secundaria. De hecho, puede ser deseable colocar la antena en la ubicación

óptima para realizar la recarga antes de que se inicie la sintonización de frecuencia. La ubicación óptima puede ser aquella ubicación que dará como resultado que se suministre la mayor corriente a la fuente de alimentación recargable a un nivel de potencia dado. Por lo tanto, de acuerdo con la divulgación actual, se proporcionan mecanismos para ubicar una bobina secundaria con respecto a una bobina primaria para realizar la recarga.

Una forma de determinar la ubicación óptima de la antena para la recarga puede implicar recibir comunicaciones de telemetría del IMD que comunica datos que indican la calidad del acoplamiento entre las bobinas primaria y secundaria. Los ejemplos de datos que indican la calidad del acoplamiento incluyen la corriente dentro de la bobina secundaria, una tensión a través de la bobina secundaria, una corriente que se suministra a la fuente de alimentación recargable y una tensión asociada con la fuente de alimentación recargable. Por ejemplo, se puede determinar que se ha encontrado al menos una ubicación de antena adecuada cuando se suministra un nivel de potencia predeterminado a la bobina primaria y la corriente que fluye hacia la fuente de alimentación recargable del IMD alcanza algún valor de umbral mínimo predeterminado. Esta información puede usarse para proporcionar retroalimentación a un usuario (por ejemplo, a través de una interfaz de usuario del dispositivo externo) para indicar si y/o cómo se debe mover la antena para lograr una eficiencia de recarga óptima o casi óptima. Por supuesto, este enfoque puede usarse solo cuando la comunicación de telemetría está disponible para proporcionar información sobre la calidad del acoplamiento.

De acuerdo con un aspecto, cuando no se puede establecer la comunicación de telemetría, como puede ocurrir cuando una batería de cero voltios dentro del IMD se ha agotado casi o por completo, el mecanismo de sintonización de frecuencia descrito anteriormente puede usarse para ubicar una ubicación óptima, o al menos adecuada, de la antena. Como ejemplo, el dispositivo externo puede accionar la antena a una frecuencia que se determinó previamente que era la frecuencia resonante del sistema cuando la antena se colocó en una ubicación de antena óptima o casi óptima para realizar la recarga. Dicha frecuencia puede haberse determinado previamente, por ejemplo, cuando la ubicación de la antena se estableció con la ayuda de la telemetría en un momento en que la fuente de alimentación del IMD no se agotó. Una vez que la antena está siendo accionada a esta frecuencia resonante previamente establecida, la antena puede moverse cerca de la bobina secundaria. Durante este movimiento, se puede monitorear la existencia y el tamaño de los impulsos stub asociados con el circuito tanque. La ubicación óptima puede ser la posición que no dé como resultado impulsos stub a esta frecuencia de accionamiento. El procesamiento requerido para completar esta determinación se puede realizar muy rápidamente, de modo que la retroalimentación se proporcione casi en tiempo real.

En una realización, al usuario se le puede proporcionar una retroalimentación basada en si los impulsos stub se están ampliando o estrechando. Por ejemplo, si el movimiento de la corriente hace que los impulsos se amplíen, se puede proporcionar una retroalimentación que indique que la dirección del movimiento debe invertirse. De manera similar, si los impulsos se están estrechando, se puede proporcionar alguna indicación de que el usuario está "orientándose" hacia la ubicación óptima. Son posibles muchos mecanismos y tipos de retroalimentación, como se analizó anteriormente.

En otra realización, la frecuencia resonante se puede determinar usando métodos descritos en este documento. Esta determinación de frecuencia puede ocurrir sustancialmente en tiempo real a medida que la antena se mueve cerca de la bobina secundaria. La ubicación que produce la frecuencia resonante más alta puede determinarse para proporcionar la mejor calidad de acoplamiento de recarga (y por lo tanto proporcionar sustancialmente la corriente de recarga más grande que se proporciona a la fuente de alimentación recargable del IMD).

Se describen aún otros mecanismos para localizar un IMD que tiene una batería descargada. De acuerdo con un aspecto, un enfoque de ubicación basado en tensión monitorea una tensión dentro de un circuito de accionamiento del dispositivo externo. En un ejemplo, la tensión monitoreada es una tensión que se proporciona a un circuito de puente en H del dispositivo externo que acciona el circuito tanque. De acuerdo con este método de ubicación, el circuito tanque puede ser accionado con una frecuencia y un ciclo de trabajo predeterminados. La tensión suministrada al circuito de puente en H se ajusta luego para lograr un nivel de corriente predeterminado dentro del circuito tanque. En un ejemplo, la frecuencia, el ciclo de trabajo y el nivel de corriente predeterminados pueden establecerse durante un proceso de calibración. Luego, el usuario puede "barrer" la antena sobre el área general del IMD. A medida que se mueve la antena, la tensión suministrada al circuito de puente en H se ajusta automáticamente para mantener el nivel de corriente predeterminado en el circuito tanque. Esta tensión aumentará progresivamente a medida que la antena se acerque a la ubicación óptima para realizar la recarga, ya que en esta ubicación óptima también aumentará la carga de la bobina primaria por parte de la bobina secundaria. La tensión máxima se obtendrá en la ubicación óptima de recarga. Se puede proporcionar al usuario una retroalimentación sobre la tensión para indicar una manera en la que se puede mover la antena para obtener una ubicación óptima para realizar la recarga. Usando este enfoque de ubicación basado en la tensión, se transferirá un nivel de potencia máxima a la bobina primaria cuando la antena se coloque en la ubicación óptima de recarga, lo cual es una de las ventajas de utilizar este mecanismo.

Otro aspecto de esta divulgación se refiere no solo a la frecuencia de sintonización, como se puede realizar antes y durante la recarga, sino también a la sintonización de la potencia que se suministra a la bobina primaria 76 durante la recarga. El control de esta potencia puede ser necesario para controlar la disipación de calor dentro de la antena

de recarga, incluida la bobina primaria, así como la disipación de calor dentro del IMD. En una realización, esta disipación de calor debe mantenerse por debajo de los límites reglamentarios, las especificaciones del fabricante y/o las preferencias del paciente.

- 5 Una forma directa de determinar el calor disipado por la bobina primaria y el IMD es mediante el uso de sensores de temperatura que pueden medir las temperaturas respectivas asociadas con la bobina primaria y el IMD y garantizar que la potencia que se entrega a la bobina primaria se reduce cuando se alcanza el límite de temperatura.

10 En otro ejemplo, la disipación de calor asociada con la bobina primaria y el IMD puede calcularse en lugar de medirse, como sigue. La potencia que se suministra a la bobina primaria termina en uno de varios lugares: se disipa como calor en la bobina primaria, se suministra a la fuente de alimentación recargable del IMD o se disipa como calor dentro del IMD. La cantidad de calor disipado en la bobina primaria es una función de la resistencia de CA en serie de la bobina primaria y la corriente en la bobina primaria. La resistencia de CA en serie de la bobina primaria es un valor conocido que puede determinarse empíricamente o calcularse de otro modo y, en una realización, puede medirse la corriente en la bobina primaria. La cantidad de potencia que se suministra a la fuente de alimentación recargable del IMD se puede determinar midiendo la corriente suministrada a la fuente de alimentación recargable y la tensión de esta fuente de alimentación. Estos valores se pueden comunicar mediante telemetría al dispositivo externo. Finalmente, la potencia total suministrada a la bobina primaria es una función de la corriente y la tensión suministrados a la bobina primaria, así como del coseno del diferencial de fase entre estas dos señales, todo lo cual puede determinarse mediante mediciones en una realización. Así, el único valor desconocido es el calor disipado por el IMD, que se puede calcular utilizando los otros tres valores, todos los cuales se pueden determinar de la manera anterior.

25 Una vez que se ha determinado el calor disipado dentro del IMD, se puede determinar si este valor, o el valor del calor disipado en la bobina primaria, excede los límites respectivos, tales como los límites reglamentarios o del fabricante o las preferencias del paciente. Si es así, la potencia que se proporciona a la bobina primaria se puede reducir en base al límite de los valores de disipación de calor. Esto se puede lograr reduciendo la tensión que se suministra al circuito de accionamiento de la bobina primaria y/o reduciendo el ciclo de trabajo al que se excita el circuito de accionamiento. Por el contrario, si ambos valores de disipación de calor están por debajo de los límites respectivos, puede ser deseable aumentar la potencia que se suministra al circuito de accionamiento para que se pueda acortar el tiempo para completar la recarga. Esto se puede lograr aumentando la tensión que se suministra al circuito de accionamiento de la bobina primaria y/o reduciendo el ciclo de trabajo al que se excita el circuito de accionamiento. En un ejemplo, esta "sintonización" de la potencia se puede realizar de manera continua durante una sesión de recarga para garantizar que la recarga se complete de la manera más eficiente y rápida posible sin que se excedan los límites de calentamiento.

35 Se apreciará, por lo tanto, que la divulgación actual establece técnicas para realizar la sintonización de frecuencia que permite que la recarga se lleve a cabo de manera eficiente. Se proporcionan técnicas adicionales para ubicar la bobina de recarga primaria con respecto a la bobina secundaria de modo que se pueda lograr un acoplamiento de recarga adecuado entre las bobinas de recarga primaria y segunda. Aún se proporcionan otras técnicas para ajustar el suministro de potencia durante la recarga de modo que la recarga se lleve a cabo de una manera que sea eficiente y cómoda para el paciente.

45 La Figura 1 muestra un ejemplo de IMD 2 que puede aprovechar las técnicas divulgadas en este documento. El IMD puede adaptarse para suministrar un tipo de terapia al paciente, que puede incluir estimulación eléctrica y/o terapia con medicamentos. Muchos tipos de dispositivos médicos implantables pueden utilizar los sistemas y técnicas de recarga divulgados, incluyendo dispositivos implantables de suministro de sustancias terapéuticas, bombas de medicamentos implantables, marcapasos cardíacos, cardioversores o desfibriladores y/o dispositivos para suministrar impulsos de estimulación eléctrica para una afección neurológica o muscular. Otros ejemplos específicos incluyen dispositivos para proporcionar terapia para tratar el dolor crónico, el temblor, la enfermedad de Parkinson, la epilepsia, la incontinencia urinaria o fecal, la disfunción sexual, la obesidad o la gastroparesia. Dicha terapia puede suministrarse a través de una o más conexiones de terapia 6, que pueden ser uno o más cables y/o catéteres. El cuerpo del paciente puede llevar IMD adicionales que pueden ser similares o diferentes al IMD 2.

55 La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de carga ilustrativo 48 que puede emplear de manera útil una o más de las técnicas descritas en este documento para recargar el IMD 2. El IMD 2 incluye una fuente de alimentación recargable 50. La fuente de alimentación recargable 50 puede ser de base química (por ejemplo, una batería) o puede ser un dispositivo para almacenar carga (por ejemplo, un condensador). En una realización, la fuente de alimentación recargable 50 es una batería de iones de litio. Cualquier otro tipo de fuente de alimentación recargable adecuada para alimentar un IMD puede usarse junto con los mecanismos de la divulgación actual.

65 La fuente de alimentación recargable 50 puede acoplarse a un módulo de control 52, que incluye un circuito para controlar la terapia suministrada al paciente. El módulo de control 52 puede incluir uno o más procesadores, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), procesadores de señales digitales (DSP), matrices de puertas programables en campo (FPGA), componentes electrónicos discretos, máquinas de estado, sensores, memoria y/u

otros circuitos. Las funciones atribuidas a los procesadores descritos en este documento pueden incorporarse en firmware, hardware o cualquier combinación de los mismos.

El módulo de control 52 puede acoplarse además al módulo de terapia 54, que suministra alguna forma de terapia a un paciente. Esta terapia puede incluir el suministro controlado de una sustancia y/o estimulación eléctrica. Por ejemplo, en una realización, el módulo de terapia 54 puede incluir uno o más generadores de impulsos de salida tales como elementos capacitivos, reguladores de tensión, reguladores de corriente, fuentes de tensión, fuentes de corriente y/o interruptores que están acoplados a la fuente de alimentación recargable 50 directamente o a través de módulo de control 52. El módulo de terapia 54 puede enviar impulsos eléctricos al paciente 4 a través de una combinación de electrodos. Como se muestra en la Figura 1, el módulo de terapia 54 puede acoplarse al paciente 4 a través de una o más conexiones de terapia 6, tales como cables y/o catéteres. Como alternativa o adicionalmente, el recipiente del IMD 2 puede llevar o proporcionar de otra manera uno o más electrodos para suministrar terapia. Como otra posibilidad más, el IMD 2 puede comunicarse de forma inalámbrica con y/o controlar uno o más dispositivos implantables (por ejemplo, microdispositivos) dentro del cuerpo del paciente que también proporcionan terapia y/u obtienen señales detectadas.

En una realización, la fuente de alimentación recargable 50 puede acoplarse a una bobina secundaria 56 (que se muestra en sección transversal) a través de un módulo de regulación de carga 58. Durante una sesión de recarga, se induce una corriente en la bobina secundaria 56 que se proporciona al módulo de regulación de carga 58, que controla la carga de la fuente de alimentación recargable 50.

El IMD 2 también puede incluir un módulo de telemetría 59 acoplado a una bobina de telemetría dedicada 57 (mostrada en sección transversal) o la telemetría puede realizarse utilizando una bobina secundaria 56 tanto para recarga como para telemetría. El módulo de telemetría 59 puede utilizar varios tipos de protocolos de telemetría para comunicarse con el circuito de carga externo 70. Por ejemplo, se puede utilizar un sistema de telemetría de proximidad para distancias de telemetría de 5 centímetros o menos. Se puede emplear un sistema de telemetría a distancia para distancias de alrededor de, y, en algunos casos, de más de un metro. Este último tipo de sistema puede utilizar el componente de campo eléctrico (campo E) de una onda que se propaga para transmitir información (por ejemplo, la banda MICS reservada para la telemetría de dispositivos médicos). La telemetría a distancia también se puede lograr usando el componente magnético (campo H) o transmisión de bobina acoplada. Los sistemas de telemetría de distancia que utilizan comunicación de campo E pueden emplearse cuando las separaciones entre la antena y el dispositivo objetivo superan la longitud de un brazo.

La fuente de alimentación recargable 50, el módulo de regulación de carga 58, el módulo de control 52, el módulo de terapia 54, el módulo de telemetría 59, la bobina secundaria 56 y la bobina de telemetría 57 pueden estar contenidos en una carcasa sellada herméticamente 62. Alternativamente, la bobina secundaria 56 puede unirse o colocarse sobre una superficie exterior de la carcasa sellada 62, o puede acoplarse umbilicalmente al IMD a través de un cable. En una realización, se puede colocar un escudo magnético entre la bobina secundaria 56 y otros componentes electrónicos para aumentar sustancialmente la cantidad de energía capturada por la bobina secundaria y proteger los componentes electrónicos de la energía electromagnética cuando la bobina secundaria 56 se utiliza para cargar la fuente de alimentación recargable 50.

El IMD 2 también puede incluir uno o más sensores, tal como el sensor de temperatura 51. El sensor de temperatura 51 puede usarse para asegurar que la disipación de calor no exceda los límites predeterminados durante la recarga, por ejemplo. Esto se analiza más adelante.

Como se analizó previamente, la Figura 2 ilustra además un sistema de carga 48 para recargar la fuente de alimentación recargable 50 del IMD 2. El sistema de carga 48 incluye un circuito de carga 70 que puede recibir potencia de una fuente de alimentación, que se describirá más adelante. La potencia de esta fuente de alimentación se proporciona al circuito de conversión de potencia 74, que suministra niveles de potencia apropiados al circuito de modulación 75.

El circuito de modulación 75 es un generador de señales para generar una señal de recarga de una frecuencia deseada, normalmente entre 8 KHz y 500 KHz. En una realización, el circuito de modulación 75 comprende un circuito de accionamiento para excitar la bobina primaria 76, que puede ser un circuito de puente en H o un generador de señal, por ejemplo. La señal de recarga puede ser una onda sinusoidal o algún otro tipo de señal, si se desea. La frecuencia de la señal de recarga puede depender de la frecuencia resonante del sistema, que tiene en cuenta la carga colocada en el sistema cuando la bobina secundaria 56 se acopla inductivamente a través del límite cutáneo 77 (que se muestra con líneas discontinuas) a la bobina primaria 76. La frecuencia de la señal de recarga se puede variar durante una sesión de carga para encontrar la frecuencia resonante del sistema que dará como resultado una eficiencia de carga óptima, como se analizará más adelante. En una realización específica descrita en este documento, la frecuencia resonante es sustancialmente de alrededor de 41 KHz.

La señal generada por el circuito de modulación 75 puede proporcionarse para accionar la bobina primaria 76 a través de la interfaz de bobina 82 y las líneas de señal 83a y 83b. La bobina primaria 76 puede tener muchas configuraciones diferentes. El tamaño, la forma y el número de vueltas de la bobina generalmente se seleccionarán

en base al tamaño y la forma de la bobina secundaria 56, así como del escenario de implante asociado con el IMD 2. Por ejemplo, la bobina primaria 76 se puede seleccionar para que tenga un tamaño y una forma similares a la bobina secundaria 56. Esto generalmente dará como resultado un mejor acoplamiento inductivo entre las bobinas y normalmente proporcionará una mejor transferencia de energía a la fuente de alimentación recargable 50.

El número de vueltas de la bobina primaria 76 se puede seleccionar en base a la probable profundidad del implante y la orientación del IMD dentro de un paciente. Por ejemplo, si es probable que el IMD 2 se utilice en un escenario de implante que involucre un implante profundo o inclinado, o si las bobinas se van a retener a cierta distancia del límite cutáneo 77 durante la recarga, puede ser deseable utilizar una bobina primaria que tenga un mayor número de vueltas, lo que, a su vez, aumentará el campo magnético producido por esta bobina cuando la bobina se acciona con una señal de entrada dada. Esto aumenta la fuerza del campo magnético, ya que puede ser necesario para lograr un acoplamiento inductivo adecuado entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56 en este tipo de situaciones. Asimismo, puede ser necesario un mayor número de vueltas si la bobina primaria 76 está destinada a colocarse a cierta distancia del límite cutáneo 77 en lugar de colocarse directamente en este límite, como puede ser aplicable para algunos escenarios de implante. Por ejemplo, este puede ser el caso cuando se coloca un aislante o un dispositivo de enfriamiento entre la bobina primaria 76 y el límite cutáneo 77.

La configuración seleccionada para la bobina primaria 76 (por ejemplo, tamaño, forma, número de vueltas) determinará la inductancia de la bobina primaria. En una realización específica, la inductancia de la bobina primaria está entre 1,2 y 1,3 milihenrios. Esta inductancia, junto con la capacitancia y la resistencia del sistema, a su vez, afectará la frecuencia resonante a la que el sistema es accionado de manera más eficiente. Para sintonizar el sistema de modo que esta frecuencia resonante esté en, o cerca de, alguna frecuencia resonante deseada predeterminada, un condensador de sintonización 96 que tenga una capacitancia seleccionada puede acoplarse eléctricamente a la bobina 76. Por ejemplo, este condensador de sintonización puede acoplarse en serie o en paralelo con la bobina 76. En un ejemplo, el condensador de sintonización 96 puede ser un condensador de 12 nanofaradios (nF), lo que da como resultado una frecuencia de autorresonancia de la antena que es nominalmente de 41 KHz. Por supuesto, se pueden seleccionar muchas otras frecuencias como la frecuencia resonante, seleccionándose en consecuencia el valor del condensador de sintonización 96 como se conoce en la técnica.

La bobina y el condensador de sintonización 96 pueden estar alojados dentro de una antena 78, que puede ser una estructura fabricada de un material que es un aislante eléctrico. Por ejemplo, esta puede estar fabricada de un polímero que tenga una textura cómoda adecuada para su colocación sobre la piel del paciente. Para este propósito, se pueden usar varios tipos de polímeros, que incluyen siliconas, polipropileno y uretanos. En una realización, la antena 78 está fabricada de un material elastomérico conductor térmico que es capaz de difundir el calor generado por la bobina 76 sobre una superficie más amplia para aumentar la comodidad del paciente durante la recarga.

En algunos ejemplos en donde el condensador de sintonización 96 está acoplado en serie con la bobina 76, cuando la bobina 76 está siendo accionada con una señal oscilante, como ocurrirá durante la recarga, el nodo que acopla eléctricamente el condensador 96 a la bobina 76 "suenan" a una tensión de alta amplitud. La colocación del condensador de sintonización 96 dentro de la antena 78 garantizará que este nodo de alta tensión esté bien aislado por el material aislante eléctrico utilizado para formar la antena. Una realización alternativa puede ubicar el condensador de sintonización 96 dentro del circuito 70 que está situado a distancia de la antena 78. Esto colocaría el nodo de alta tensión dentro de la interfaz 84b (que se muestra en líneas discontinuas), lo que puede no ser deseable si se daña un cable que incorpora esta interfaz. Tal escenario puede representar un riesgo de choque. Por tanto, una realización coloca el condensador de sintonización 96 dentro de la antena 78 para evitar el riesgo de choque.

El circuito de carga 70 puede tener un módulo de telemetría 86 que permita la comunicación con el IMD 2 durante una sesión de carga para proporcionar el estado u otra información relativa a la sesión de carga. El módulo de telemetría 86 puede utilizar varios tipos de protocolos de telemetría, incluido un protocolo de proximidad para distancias de telemetría de 5 centímetros o menos o un protocolo de telemetría de plena competencia para distancias de hasta 1 metro o incluso superiores. En una realización específica, el módulo de telemetría 86 está adaptado para utilizar un protocolo de proximidad para comunicarse con el IMD 2 a través de una bobina dentro del IMD. En una realización, la bobina de recarga secundaria 56 puede transmitir/recibir comunicaciones de telemetría hacia/desde la bobina primaria 76. Alternativamente, se puede proporcionar una bobina de telemetría dedicada (por ejemplo, la bobina de telemetría 57) dentro del IMD 2 para este propósito, como se describió anteriormente. Como otro ejemplo más, el módulo de telemetría 86 puede usar un protocolo de telemetría de mayor alcance para comunicarse con el IMD a través de una bobina o algún otro tipo de antena dentro del IMD.

En una realización, el circuito de carga 70 puede activarse automáticamente utilizando una señal de telemetría recibida del IMD 2. Por ejemplo, el circuito de carga 70 puede enviar continuamente solicitudes a través de comunicación por telemetría. Cuando el IMD 2 está cerca de la fuente de alimentación recargable 50, el IMD 2 envía un acuse de recibo de estas solicitudes para que el circuito de carga 70 pueda iniciar automáticamente una sesión de recarga sin la intervención del usuario. Alternativamente, la sesión de recarga puede iniciarse a petición del usuario o alguna otra interacción entre el IMD 2 y el circuito de carga 70.

El circuito de carga 70 puede ser controlado por el circuito de control 88, que puede incluir uno o más procesadores, FPGA, ASIC, DSP, microsequeciadores, componentes discretos y/u otros componentes de circuitos electrónicos. El término "procesador" o "circuitos de procesamiento" generalmente puede referirse a cualquiera de los circuitos lógicos anteriores, solos o en combinación con otros circuitos lógicos, o cualquier otro circuito equivalente que puede, pero no necesariamente, incluir dispositivos de almacenamiento tales como dispositivos de memoria integrados. Parte o toda la información necesaria para el funcionamiento del circuito de carga 70 también puede incorporarse o codificarse en un medio legible por ordenador, tal como un medio de almacenamiento legible por ordenador, que contiene instrucciones. Las instrucciones incorporadas o codificadas en un medio de almacenamiento legible por ordenador pueden hacer que un procesador programable realice las funciones asociadas con el circuito de control 88, por ejemplo, cuando se ejecutan las instrucciones.

El circuito de control 88 puede proporcionar automáticamente señales de control para indicar cómo el circuito de modulación 75 debe accionar la bobina primaria 76, por ejemplo. En una realización en donde el circuito de control 88 funciona de acuerdo con instrucciones programadas, el circuito de control 88 puede estar acoplado a uno o más dispositivos de almacenamiento 90, o puede incluir dichos dispositivos de almacenamiento 90. Estos dispositivos de almacenamiento pueden incluir medios volátiles, no volátiles, magnéticos, ópticos y/o eléctricos para almacenar datos digitales e instrucciones programadas, incluida la memoria de acceso aleatorio (RAM), la memoria de solo lectura (ROM), la RAM no volátil (NVRAM), ROM programable borrable eléctricamente (EEPROM), memoria flash, dispositivos de almacenamiento extraíbles, y similares. En algunas implementaciones, el circuito de carga 70 puede incluir una interfaz de dispositivo que permite la transferencia de datos desde el dispositivo de carga 70 a otro dispositivo para su almacenamiento. Por ejemplo, el dispositivo de carga 70 puede almacenar datos en un dispositivo de almacenamiento en red a través de una interfaz de red, o en un dispositivo de almacenamiento local utilizando una interfaz de bus serie universal (USB).

Los dispositivos de almacenamiento 90, así como cualquier otro dispositivo de almacenamiento analizado en el presente documento, pueden considerarse, en algunos ejemplos, un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones que provocan que uno o más circuitos de control, tal como, por ejemplo, el circuito de control 88, implemente una o más de las técnicas de ejemplo descritas en esta divulgación. El término "no transitorio" puede indicar que el medio de almacenamiento no está incorporado en una onda portadora o una señal propagada. Sin embargo, el término "no transitorio" no debe interpretarse en el sentido de que los dispositivos de almacenamiento 90 no son móviles. Como ejemplo, el dispositivo de almacenamiento 90 puede retirarse del circuito de carga 70 y trasladarse a otro dispositivo. En ciertos ejemplos, un medio de almacenamiento no transitorio puede almacenar datos que pueden, con el tiempo, cambiar (por ejemplo, en RAM).

En una realización, el circuito de carga 70 puede incluir un circuito de detección de temperatura 94. Este circuito recibe una o más señales de al menos un sensor de temperatura 95 que puede ser transportado por la antena 78 y está cerca de la bobina 76. El sensor de temperatura 95 proporciona una o más señales al circuito de detección de temperatura 94 para permitir que el circuito de carga 70 determine si se cumplen los límites de temperatura durante la recarga. Dichos límites pueden basarse en regulaciones gubernamentales, preferencias del paciente y/o algún otro estándar, y en algunos casos pueden ser seleccionados por el usuario (por ejemplo, pueden seleccionarse de forma programable por un médico o paciente). Si una temperatura detectada excede un límite predeterminado, el circuito de detección de temperatura 94 proporcionará una señal al circuito de control 88. Esto puede hacer que el circuito de control 88 altere la señal que acciona la antena 78 de modo que la temperatura de la antena se reduzca dentro de límites aceptables.

El circuito de carga 70 recibe energía de una fuente de alimentación que, en una realización, puede ser seleccionada por el usuario para que sea uno o más de una toma eléctrica de pared de CA, baterías recargables (por ejemplo, baterías de iones de litio) o baterías de celda primaria. Dichas baterías pueden estar alojadas con un circuito de carga o alojadas en un dispositivo separado.

En el escenario ilustrado, la fuente de alimentación es la fuente de alimentación 72 que está alojada dentro de un dispositivo externo 100. Este dispositivo externo puede ser un programador del paciente o médico que se utiliza para intercambiar datos (por ejemplo, comandos de programación, información del paciente, información de estado, etc.) con el IMD 2 y/o proporcionar capacidades de recarga. En un ejemplo, el dispositivo externo 100 proporciona cierto control durante la recarga para modular el nivel de potencia proporcionado por el circuito de carga 70 al IMD 2 para limitar el calentamiento del tejido, como se describirá a continuación.

El dispositivo externo 100 puede acoplarse al circuito de carga 70 a través de la interfaz 84a. Esta interfaz puede ser un cable que se enchufa de forma extraíble en un conector del dispositivo externo. Tal configuración permite que el circuito de carga 70 y la bobina 76 se acoplen de manera removible al dispositivo externo 100. El conector provisto para este propósito puede estar diseñado de acuerdo con un estándar de la industria (por ejemplo, el estándar Universal Serial Bus) o puede ser un conector de tipo propietario.

El dispositivo externo 100 puede incluir un circuito de control 71 que comprende uno o más procesadores, circuitos integrados de aplicación específica (ASICs), lógica de máquina de estado, software, firmware y/o cualquier tipo de

lógica conocida en la técnica. El circuito de control 71 puede proporcionar algún nivel de control al circuito de carga 70 en una realización, como se describirá a continuación.

El dispositivo externo 100 puede incluir además uno o más dispositivos de almacenamiento 73 para almacenar instrucciones programadas tales como firmware y/o software, parámetros de control, datos del paciente, parámetros de programación para controlar el funcionamiento del IMD 2 y cualquier otra instrucción y/o datos necesarios para ayudar en el control del circuito de carga, IMD y/o dispositivo externo 100. Por ejemplo, en algunos ejemplos, las instrucciones almacenadas dentro de los dispositivos de almacenamiento 73 pueden controlar la ejecución del circuito de control 71. Los dispositivos de almacenamiento 73 pueden incluir medios volátiles, no volátiles, magnéticos, ópticos y/o eléctricos para almacenar datos digitales e instrucciones programadas, que incluyen memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria no volátil RAM (NVRAM), ROM programable borrrable eléctricamente (EEPROM), memoria flash, dispositivos de almacenamiento extraíbles y similares.

El dispositivo externo 100 también puede incluir un circuito de comunicación 69 para comunicarse con el módulo de telemetría 59 del IMD 2 y/o el módulo de telemetría 86 (como puede ser deseable cuando el dispositivo externo 100 no está acoplado mediante la interfaz 84a al circuito de carga 70). En un ejemplo, el circuito de comunicación 69 puede proporcionar telemetría inductiva de corto alcance y/o telemetría de RF de mayor alcance.

El circuito de comunicación 69 puede proporcionar además la capacidad de comunicarse con otro dispositivo externo, tal como un cargador, un programador o un dispositivo informático a través de una conexión por cable o inalámbrica utilizando cualquiera de una variedad de técnicas de comunicación inalámbrica local, tal como la comunicación RF de acuerdo con IEEE 802.11 o conjuntos de especificaciones de Bluetooth®, comunicación por infrarrojos (IR) de acuerdo con el conjunto de especificaciones de IRDA u otros protocolos de telemetría estándar o propietarios. Además, el dispositivo externo 100 puede comunicarse a través de una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red telefónica pública conmutada (PSTN) o una red de telefonía celular, por ejemplo.

En algunas implementaciones, el dispositivo externo 100 puede incluir una interfaz de dispositivo que permite la transferencia de datos desde el dispositivo externo 100 a otro dispositivo para su almacenamiento. Por ejemplo, el dispositivo externo 100 puede almacenar datos en un dispositivo de almacenamiento en red a través de una interfaz de red, o en un dispositivo de almacenamiento local utilizando una interfaz de bus serie universal (USB). De esta manera, el dispositivo externo 100 también puede comunicarse con otros dispositivos informáticos o de programación a través del intercambio de medios extraíbles, como discos magnéticos u ópticos, o tarjetas de memoria.

La Figura 3 es una representación del sistema de un ejemplo del sistema de carga 48 de la Figura 2 acoplado a un dispositivo externo 100, que puede ser un programador de pacientes. Tal programador puede ser empleado por un usuario para realizar tareas de programación y supervisión asociadas con IMD 2, como se conoce en la técnica. Por ejemplo, el programador puede usarse para configurar inicialmente el IMD después del implante, para modificar la terapia que se suministra al paciente, para obtener datos del IMD indicativos del estado del paciente, la terapia y/o el sistema, etc.

El dispositivo externo 100 puede tener una interfaz de usuario 108 tal como una pantalla de visualización que puede incluir un teclado 106. La interfaz de usuario puede incluir capacidades de pantalla táctil y en color y/o cualquier otro mecanismo de interfaz de usuario conocido en la técnica. Como se analizó anteriormente, el programador de pacientes puede ser alimentado por la fuente de alimentación 72 (que se muestra con líneas discontinuas), que puede ser una batería de celda primaria, una batería recargable y/o un circuito diseñado para acoplarse a una toma eléctrica de pared. Esta fuente de alimentación puede proporcionar al circuito de carga 70 (que se muestra con líneas discontinuas) los niveles de señal de tierra y potencia necesarios para el funcionamiento del circuito.

En una realización, el circuito de carga 70 puede acoplarse de forma extraíble al dispositivo externo 100. En particular, el circuito de carga 70 puede acoplarse eléctricamente a un cable 112 que comprende porciones de cable 112a y 112b. Este cable puede estar equipado con un conector 104 que se enchufa en el conector 102 del dispositivo externo 100. Los conectores 102 y 104 pueden ser de muchos tipos. En una realización, los conectores cumplen con los aspectos eléctricos y/o mecánicos establecidos en una especificación estándar de la industria, tales como las características eléctricas descritas por la Especificación de Bus Serie Universal (USB). De forma alternativa o adicional, los conectores pueden tener uno o más aspectos que se ajusten a un formato propietario.

En algunas realizaciones, el conector 104 del cable 112 puede adaptarse para interactuar con múltiples tipos de dispositivos externos que proporcionan conexiones a tierra y tensión estándar utilizadas por el conector 104. Por ejemplo, si el conector 104 tiene conexiones a tierra y tensión estándar especificadas por la especificación USB, cualquier tipo de dispositivo externo que esté adaptado para recibir mecánicamente el conector 104, que proporcione estas conexiones a tierra y tensión estándar, y que sea capaz de satisfacer los requisitos de alimentación del circuito de carga 70 puede usarse para alimentar el recargador.

Según un aspecto, el dispositivo externo 100 puede adaptarse para detectar cuándo se ha acoplado al sistema de carga 48 y responder en consecuencia. Por ejemplo, esto puede implicar la presentación automática de una pantalla de interfaz de usuario a través de la pantalla 108 que proporciona las capacidades para permitir que un usuario inicie una operación de recarga, como se puede lograr seleccionando las teclas apropiadas del teclado 106, acoplando una interfaz de pantalla táctil o usando algún otro mecanismo de interfaz de usuario. Por lo tanto, simplemente enchufando el sistema de carga 48 en el conector 102, el dispositivo externo 100 se configura automáticamente para realizar la operación de recarga sin ninguna interacción adicional por parte del usuario, como la necesidad de navegar a una pantalla de recarga adecuada para iniciar esta operación.

El circuito de carga 70 puede estar alojado dentro de un módulo de circuito 110 que es transportado por un cable 112. Específicamente, una porción 112a del cable 112 proporciona la interfaz 84a (Figura 2) que acopla el dispositivo externo 100 al circuito de carga 70. Una segunda porción 112b del cable 112 proporciona la interfaz 84b (Figura 2) del circuito de carga de acoplamiento a la antena 78.

El módulo de circuito 110 puede, pero no necesita, proporcionar alguna capacidad para recibir la entrada del usuario y/o proporcionar retroalimentación al usuario. Tal capacidad de entrada del usuario puede incluir uno o más botones que un usuario puede emplear para iniciar la recarga o para activar una función de ubicación antes de iniciar la recarga. El módulo de circuito 110 puede incluir otras capacidades para permitir la interacción del usuario, tal como una pantalla de visualización u otros indicadores visuales (por ejemplo, LED o LCD), control activado por voz, capacidades de pantalla táctil o cualquier otro mecanismo de entrada del usuario descrito anteriormente con respecto a dispositivos externos 100 y/o conocido en la técnica.

El módulo de circuito 110 puede tener muchas formas y tamaños diferentes. En una realización, puede ser un componente tubular más ancho que el resto del cable 112. En un caso, los componentes mostrados incluidos dentro del circuito de carga 70 en la Figura 2 pueden residir todos dentro del módulo de circuito 110. En otras realizaciones, cualquiera o más de los componentes que se muestran incluidos dentro del circuito de carga 70 pueden residir en cambio dentro del dispositivo externo 100. En otras realizaciones adicionales, los componentes además de los que se muestran en la Figura 2 pueden estar alojados dentro del módulo de circuito 110. En realizaciones alternativas, uno o más de los componentes del circuito mostrados en la Figura 2 que se incluirá dentro del circuito de carga 70 puede ubicarse dentro de la antena 78.

Permitir que uno o más de los componentes del circuito de carga 70 sean transportados por el módulo de circuito 110 en lugar del dispositivo externo 100 tiene ventajas. Por ejemplo, la circuitería necesaria para controlar la antena 78 generalmente se adaptará para controlar una configuración de antena específica, como se analizó anteriormente. Por ejemplo, el circuito de modulación 75 y/o el circuito de control 88 pueden configurarse para accionar una antena que tenga una frecuencia resonante y características de carga particulares. Cuando se aloja dentro del módulo de circuito 110, este circuito se conectará y viajará con la antena para la que está diseñado, en lugar de incorporarse a un dispositivo externo específico. Esto elimina la necesidad de tener diferentes versiones de un dispositivo externo, cada una de las cuales está adaptada para accionar una configuración de antena correspondiente y/o para recargar un tipo particular de dispositivo médico implantable. El dispositivo externo solo necesita tener el conector adecuado y la potencia y los niveles de tierra esperados para controlar cualquier cantidad de configuraciones de antena que se puedan usar con una variedad de dispositivos médicos implantables. Además, ubicar el circuito dentro del módulo de circuito 110 en lugar de dentro de la antena 78 ayuda a minimizar el tamaño, el peso y el perfil de la antena. Esto puede hacer que la antena sea más fácil de manejar para el paciente. Además, el calor generado por el circuito de carga 70 puede disiparse fácilmente cuando se transporta en el cable sin contribuir al calentamiento de la antena 112 durante la recarga.

En un ejemplo, la modularidad del sistema de carga 48 puede mejorarse aún más. Es decir, la antena 78 se puede conectar de manera desmontable a la porción de cable 112b, que a su vez se puede conectar de manera desmontable al módulo de circuito 110. El módulo de circuito 110 también puede estar conectado de forma extraíble a la porción de cable 112a. Esta capacidad de "enchufar y usar" permite acoplar varios módulos de circuito a una gama de antenas para que los sistemas puedan adaptarse más específicamente a un tipo de implante. Por ejemplo, el sistema se puede adaptar para un tipo específico de dispositivo de implante seleccionando el tamaño y la forma de la espiral principal. El sistema puede adaptarse además para un escenario de implante apropiado (por ejemplo, profundidad de implante, ángulo de implante) seleccionando un módulo de circuito que tenga la capacidad para una fuerza de accionamiento particular.

En el tipo de sistema modular descrito anteriormente, la longitud de las porciones de cable 112a y 112b puede, en un caso, seleccionarse en función de las preferencias del usuario para que el módulo de circuito 110 pueda colocarse en una posición deseada con respecto a la antena 78. Por ejemplo, algunos usuarios pueden preferir que el módulo de circuito 110 esté ubicado más cerca de la antena 78 para que sea menos probable que este objeto oscile libremente durante la recarga. Otros usuarios pueden desear que el módulo de circuito esté ubicado más cerca del conector 104, lo que posiblemente permita que este módulo se lleve en el bolsillo de una chaqueta o que se lleve en la ropa. En una realización, el módulo de circuito 110 puede incluso tener clips o ganchos para permitir sujetar este módulo a la ropa de alguna manera. En una realización particular, la porción de cable 112a tiene

aproximadamente la mitad de la longitud de la porción de cable 112b, de modo que el módulo de circuito 110 está a un tercio de la distancia desde el dispositivo externo 100 hasta la antena 78.

El cable 112 puede ser un cable blindado que tenga una funda aislante externa que puede estar fabricada de nailon, uretano, silicona, caucho o algún otro material aislante. En una realización, esta está formada de caucho termoplástico de Santoprene® que tiene una dureza de aproximadamente 70 Shore.

Volviendo ahora a un análisis de la antena 78, como se mencionó anteriormente, este componente puede llevar al menos un sensor de temperatura 95 (que se muestra con líneas discontinuas) y/o un condensador de sintonización 96 (que se muestra con líneas discontinuas). Una ventaja de ubicar el condensador de sintonización cerca de la bobina 76 es que, en una configuración en serie, el nodo de alta tensión entre el condensador 96 y la bobina 76 estará bien aislado y protegido por la antena 78 en lugar de estar ubicado dentro de la porción de cable 112b (como ocurriría si el condensador estuviera incluido dentro del circuito de carga 70). Esta última realización puede suponer un riesgo de descarga para el paciente si se daña la porción de cable 112b.

La configuración de la antena 78 ilustrada en la Figura 3 incluye una abertura central 114 para permitir que el aire fluya dentro del centro de la bobina 76, y también disminuye la masa térmica de este elemento. Esto puede ayudar de alguna manera en la disipación de calor y también reducir el peso de la antena 78. Por supuesto, son posibles muchas otras configuraciones, incluidas las antenas que son estructuras sólidas sin tales aberturas.

Si bien lo anterior trata sobre un dispositivo externo separado 100 acoplado a un cable que transporta el circuito de carga 70, este es solo un ejemplo de cómo se puede configurar el sistema. En otro ejemplo, el circuito de carga 70 está contenido dentro de la misma carcasa que la fuente de alimentación 72, y el dispositivo externo separado 100 puede eliminarse. Por ejemplo, el circuito de carga 70 puede ser parte de un recargador dedicado. Dicho cargador puede ser portátil o, en cambio, puede ser una unidad estacionaria. Por ejemplo, se puede colocar un cargador estacionario en un lugar conocido por ser frecuentado por el paciente de modo que la recarga se pueda iniciar de forma pasiva sin interacción con el paciente siempre que el paciente esté dentro del alcance de la unidad. En otra realización, el circuito de carga puede ser una parte integral de un programador de paciente o médico.

Es importante que la transferencia de energía entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56 sea lo más eficiente posible. Si la transferencia no es eficiente, la recarga de la fuente de alimentación recargable 50 requerirá más tiempo, posiblemente incomodando al paciente. Además, si la transferencia de energía no es eficiente, se puede disipar más energía en forma de calor. Parte de este calor puede ser absorbido por el tejido en la proximidad de la antena 78 o el IMD 2, lo que provoca molestias al paciente.

La eficiencia de la transferencia de energía puede mejorarse ajustando la frecuencia y el ciclo de trabajo al que se acciona la bobina primaria 76 durante la recarga. La frecuencia óptima a la que se acciona la antena 78 se basa, en parte, en las propiedades eléctricas de la antena 78. En una realización, la antena incluye una bobina primaria 76 que tiene una inductancia de entre 1,2 y 1,3 milihenrios y un condensador de sintonización 96 seleccionado para ser de 12 nF, lo que da como resultado una frecuencia autorresonante de la antena que es nominalmente de 41 KHz. Sin embargo, esta inductancia de la antena cambiará con la flexión.

La frecuencia óptima a la que se acciona la antena 78 depende del entorno en el que se coloca la antena. Es decir, el entorno puede presentar una inductancia adicional que "cargue" la bobina 76 de la antena 78. Cuando cambian las características eléctricas del entorno, la autoinductancia de la antena 78 puede permanecer constante mientras que la inductancia mutua, que incluye la interacción entre la bobina 76 y el entorno, puede cambiar. Por lo tanto, la frecuencia resonante del sistema puede cambiar a medida que cambia el entorno. Como resultado, incluso si la antena está funcionando a su frecuencia resonante propia, es posible que esta no sea la frecuencia resonante del sistema. Por lo tanto, la energía no se transferirá al dispositivo médico implantable 2 con la mayor eficiencia posible, ya que la máxima eficiencia se produce cuando la frecuencia de accionamiento coincide con la frecuencia resonante del sistema.

Para ubicar la frecuencia resonante del sistema de una manera muy eficiente, un aspecto de la divulgación tiene en cuenta las transiciones de señal que ocurren dentro del circuito tanque. Estas transiciones de señal cambiarán dependiendo de si el circuito tanque está funcionando a la frecuencia resonante. Esto se describirá con más detalle con referencia al diagrama de circuito de la Figura 4.

La Figura 4 es un diagrama de un circuito que puede ser utilizado por el dispositivo de carga 70 de la Figura 2. Un circuito de puente en H 148 del tipo conocido en la técnica comprende cuatro interruptores 150, 152, 156 y 158, que pueden ser Transistores de Efecto de Campo (FET), interruptores microelectromecánicos (MEM), o algún otro tipo de interruptor controlable por el circuito de control 88.

El circuito incluye una fuente de alimentación 72 y un circuito de conversión de potencia 74. Como se describió anteriormente, la fuente de alimentación puede ser una celda primaria o una batería recargable, o alguna otra fuente de alimentación. En un ejemplo específico, la fuente de alimentación 72 proporciona un nivel de tensión de entre 7 y 8 voltios al circuito de conversión de potencia. El circuito de conversión de potencia 74 es un circuito de refuerzo que

puede potenciar el nivel de tensión recibido de la fuente de alimentación 72 a una tensión de CC de entre 8 y 12 voltios en una realización, que es una tensión que puede usarse para el funcionamiento del circuito de puente en H 148.

El circuito de puente en H 148 se emplea para generar una señal en el circuito tanque 165, en donde el circuito tanque comprende el condensador de sintonización 96 y la bobina primaria 76. Específicamente, el circuito de control 88 genera señales de accionamiento para activar los interruptores 150 y 152 durante un período de tiempo predeterminado, lo que permite que la corriente fluya desde el nodo 154 a través del interruptor 150 y el circuito tanque 165 y finalmente a tierra a través del interruptor 152. Algún tiempo después, los interruptores 150 y 152 se desactivan y los interruptores 156 y 158 se activan. Esto permite que la corriente fluya desde el nodo 154 a través del interruptor 156 y el circuito tanque 165, y finalmente a tierra a través del interruptor 158. Generando señales de accionamiento para los pares de interruptores de puerta 150, 152 y 156, 158 de esta manera, la tensión en cada uno de los nodos 162 y 163 se aproximará a una onda sinusoidal. Como se indicó anteriormente, la frecuencia de esta señal se determinará en base a la autoinductancia del circuito tanque 165, así como de la inductancia mutua del sistema que comprende adicionalmente la bobina secundaria 56 del IMD.

El ciclo de trabajo de cada par de interruptores no puede exceder el 50 %, ya que solo se puede accionar un par de interruptores a la vez sin provocar un cortocircuito a tierra. De hecho, cada par de interruptores debe funcionar con un ciclo de trabajo de algo menos del 50 % porque la transición entre cerrar un par de interruptores y abrir otro no puede ocurrir simultáneamente. Para permitir suficiente tiempo para que un par de interruptores se vuelva no conductor antes de activar otro par de interruptores, existe un "período muerto" obligatorio de tiempo durante el cual ninguno de los pares de interruptores permite que fluya corriente. Durante este período muerto, al menos un lado del circuito tanque 165 está "flotando", no estando conectado ni a tierra ni a la potencia. Durante este tiempo, se desarrolla una tensión de "retroceso" en un nodo flotante del circuito, que puede ser el nodo 162 o 163. En una realización, la amplitud de esta tensión de retorno puede mantenerse en una tensión máxima predeterminada mediante los diodos 167 y 168 que se proporcionan a través de los interruptores 150 y 156, respectivamente. En otra realización en donde se usan FET para los interruptores 150, 156, se pueden eliminar los diodos 167 y 168 y se puede depender de los diodos del cuerpo de los FET para limitar la tensión en los nodos 162 y 163. En otra realización más, tanto los diodos del cuerpo de los FET como los diodos adicionales 167 y 168 pueden usarse para este fin.

Si el circuito tanque no se maneja a la frecuencia resonante del sistema, la corriente que fluye a través de los diodos 167, 168 y/o los diodos del cuerpo de los FET (en una realización en donde los FET se usan para los interruptores 150, 156) dará como resultado la aparición de una característica de señal en una forma de onda de tensión que aparece en el nodo 162 o 163. Esta característica de señal no estaría presente de otro modo si el puente en H estuviera siendo accionado a la frecuencia resonante del sistema. En un ejemplo, esta característica comprende una transición de positivo a negativo y una transición de negativo a positivo que no aparecería en la forma de onda de tensión en el nodo monitoreado si el circuito tanque 165 estuviera siendo accionado a la frecuencia resonante. Estas transiciones pueden, en un escenario, ser descritas como "impulsos stub" que aparecen en una forma de onda de tensión detectable en el nodo 162 y/o 163 del circuito de la Figura 4.

Una transición superflua en la forma de onda (por ejemplo, un impulso stub) del tipo descrito anteriormente puede ser detectada por el circuito de detección, que está monitoreando este nodo de circuito. En un ejemplo, el circuito de detección es el circuito de detección de bordes 160, que proporciona una indicación de la transición al circuito de control 88. En otros ejemplos, puede proporcionarse un circuito que detecte el impulso stub de una manera diferente, por ejemplo detectando una serie de niveles de amplitud que se han asociado con una forma aproximada de un impulso stub.

Basándose en la salida del circuito de detección, el circuito de control 88 puede ajustar muy eficientemente la frecuencia de accionamiento del circuito tanque 165 para que coincida con la frecuencia resonante del sistema. En particular, la temporización relativa asociada con cualquier impulso stub detectado indicará si el circuito de control 88 debe aumentar o disminuir la frecuencia de accionamiento para igualar la frecuencia resonante actual del sistema. Esta sintonización se puede completar en solo unos pocos ciclos, lo que permite que el sistema permanezca con una eficiencia óptima durante la recarga, incluso cuando la bobina primaria 76 puede estar flexionándose y/o moviéndose en relación con la bobina secundaria 56. La manera en la que el sistema se sintoniza a la frecuencia resonante del sistema se describe con referencia a las Figuras. 5A-5C.

La Figura 5A es un diagrama de temporización que ilustra cómo el circuito de control 88 controla los interruptores 150, 152, 156 y 158 para accionar el circuito de puente en H a la frecuencia resonante del sistema. En esta figura, la forma de onda del "interruptor 150" ilustra la señal de control (o "señal de accionamiento") que se utiliza para activar/desactivar el interruptor 150, la forma de onda del "interruptor 152" ilustra la señal de control utilizada para activar/desactivar el interruptor 152, y así sucesivamente, para cada uno de los cuatro interruptores del circuito de puente en H. En este ejemplo, se supone que cada uno de los interruptores está activado por un nivel de señal activo alto, sin embargo, se apreciará que uno o más de los interruptores pueden estar, en cambio, activos bajos en otro ejemplo.

Como se analizó anteriormente y como se muestra en la Figura 5A, el par de interruptores 150 y 152 se activarán al mismo tiempo para permitir que la corriente fluya desde el nodo 154 a través del interruptor 150 y el circuito tanque 165 y finalmente a través del interruptor 152 a tierra. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se usa el impulso 172 para activar el interruptor 150. También en este momento, la forma de onda para el interruptor 152 muestra que el interruptor 152 también está activado para permitir este flujo de corriente. Durante este tiempo, los interruptores 156 y 158 están APAGADOS, como lo indica el impulso activo bajo 173 de la forma de onda del interruptor 158 y el nivel activo bajo correspondiente ilustrado por la forma de onda del interruptor 156. La corriente fluirá a través del par de interruptores 150, 152 de la manera antes mencionada durante un tiempo correspondiente al ancho del impulso 172. Cuando termina el impulso 172, el interruptor 150 se apaga de manera que la corriente ya no fluye a través de este par de interruptores 150, 152.

Algún tiempo después, el interruptor 156 se activa, como lo indica el impulso 178. Esto ocurre en un momento en que el interruptor 158 ya está ENCENDIDO, como lo indica el nivel activo alto ilustrado por la forma de onda del interruptor 158 durante el impulso 178. Esto permite que la corriente fluya en la dirección opuesta a través del circuito tanque 165. Este flujo de corriente continúa durante la duración del impulso activo alto 178.

Algún tiempo después, el par de interruptores 150, 152 volverán a accionarse. Esto ocurre cuando el interruptor 150 es nuevamente activado por el impulso activo alto 175. Este proceso de alternar el par de interruptores que está ENCENDIDO genera una corriente en el circuito tanque 165 representado por la forma de onda de la corriente 170 de la Figura 5A. Esta forma de onda se aproximará a una onda sinusoidal. Para simplificar, la forma de onda se muestra como una forma de onda sinusoidal, aunque se entenderá que esto es solo una aproximación.

Las señales mostradas en la Figura 5A tendrá varias características cuando el circuito de puente en H se active a la frecuencia resonante del sistema. Primero, la señal de corriente dentro del circuito tanque 165, representada por la forma de onda de la corriente 170, se aproximará a una forma de onda sinusoidal que tiene una frecuencia que está en la frecuencia resonante del sistema. La tensión a través de la bobina primaria 76 (que no se muestra en la figura 5A) también será una señal que se presente en la frecuencia resonante del sistema. No habrá ninguna diferencia de fase entre la tensión a través de la bobina primaria 76 y la corriente en el circuito tanque (representada por la forma de onda 170) a la frecuencia resonante. Además, a la frecuencia resonante, los impulsos asociados con el control de los interruptores se centrarán entre los cruces por cero de la forma de onda de la corriente 170 de la manera que se muestra en la Figura 5A. Por ejemplo, el impulso 172 de la forma de onda del interruptor 150 se muestra centrado entre los sucesivos cruces por cero 176 y 177 de la forma de onda de la corriente 170. Asimismo, el impulso 178 de la forma de onda del interruptor 156 se muestra centrado entre el cruce por cero 177 y 179, y así sucesivamente.

Como se analizó anteriormente, los interruptores 150 y 158 no pueden estar ENCENDIDOS al mismo tiempo o habrá sustancialmente un cortocircuito entre la tensión en el nodo 154 y tierra. Además, debido a que se requiere un tiempo finito para encender y apagar los interruptores, uno de estos interruptores no se puede encender al mismo tiempo que el otro interruptor se apaga. Por lo tanto, se imponen "períodos muertos" entre el momento en que se desactiva una señal de control para apagar el interruptor 158 y el momento en que se activa una señal de control para activar el interruptor 150, y viceversa. Estos "períodos muertos" se muestran mediante los periodos de tiempo 174a y 174b en la Figura 5A. En particular, el período de tiempo 174a es el tiempo mínimo desde que la señal de control para el interruptor 158 pasa de activo alto a inactivo bajo hasta el momento en que la señal de control para el interruptor 150 puede pasar de inactivo bajo a activo alto. Por el contrario, el período de tiempo 174b corresponde al tiempo mínimo desde que la señal de control para el interruptor 150 pasa de activo alto a inactivo bajo hasta el momento en que la señal de control para el interruptor 158 puede pasar de inactivo bajo a activo alto. Durante estos tiempos, el nodo 162 está "flotando", sin estar conectado a la tensión del nodo 154 ni a tierra.

Puede hacerse una observación similar para los interruptores 152 y 156: concretamente, los interruptores no pueden estar encendidos al mismo tiempo. Además, debido a que se requiere un tiempo finito para encender y apagar los interruptores, uno de estos interruptores no se puede encender al mismo tiempo que el otro interruptor se apaga, y existen "períodos muertos" forzados entre el momento en que una señal de control se desactiva para apagar el interruptor 152 y el tiempo en que una señal de control se activa para activar el interruptor 156, y viceversa. Estos "períodos muertos" se muestran mediante los periodos de tiempo 174c y 174d en la Figura 5A. En particular, el período de tiempo 174c es el tiempo mínimo desde que la señal de control para el interruptor 152 pasa de activo alto a inactivo bajo hasta el momento en que la señal de control para el interruptor 156 puede pasar de inactivo bajo a activo alto. Por el contrario, el período de tiempo 174d corresponde al tiempo mínimo desde que la señal de control para el interruptor 156 pasa de activo alto a inactivo bajo hasta el momento en que la señal de control para el interruptor 152 puede pasar de inactivo bajo a activo alto. Durante estos tiempos, el nodo 163 está "flotando", sin estar conectado a la tensión del nodo 154 ni a tierra.

Cuando el puente en H está siendo accionado a la frecuencia resonante del sistema como se representa en la Figura 5A, la tensión en el nodo 162 durante los periodos muertos 174a y 174b permanecerá en un nivel de señal bajo. No habrá transiciones de señal (por ejemplo, impulsos) que aparezcan durante los periodos muertos 174a y 174b. Esto está representado por la forma de onda 171, que muestra la tensión en el nodo 162 reflejando sustancialmente el interruptor de control de señal 150. Es decir, la tensión será llevada sustancialmente a la tensión de alimentación del nodo 154 a través del interruptor cuando el interruptor 150 está activado, y en su lugar será

llevada a un nivel de tensión bajo a través del interruptor 158 cuando este interruptor esté activado. Durante los periodos muertos 174a y 174b cuando ninguno de los interruptores está activado, esta señal en el nodo 162 permanecerá en un nivel de tensión bajo. Como tal, solo habrá un impulso de tensión, que se muestra como el impulso 171a, que se produce durante el único período T de la señal de accionamiento. Esto se muestra mediante la forma de onda 171.

En el circuito de ejemplo de la Figura 4, la tensión en el nodo 162 puede ser monitoreada por el circuito de detección de bordes 160 para detectar cualquier aparición de bordes de impulso durante los periodos muertos 174a y 174b. En el ejemplo mostrado en la Figura 5A, no se producen bordes durante los periodos muertos 174a y 174b de manera que solo se detectará un solo borde ascendente o descendente durante el periodo de tiempo T por el circuito de detección de bordes 160. Este será el borde único asociado con el impulso 171a. Así, esta señal en el nodo 162 tendrá una frecuencia que coincida con la frecuencia resonante del sistema. Basándose en la detección de un solo borde durante el período T (es decir, debido a la ausencia de impulsos stub), el circuito de control 88 puede determinar fácilmente que el sistema está siendo accionado a, o sustancialmente a, la frecuencia resonante del sistema.

Mientras que en una realización, el circuito de detección de bordes 160 solo necesita detectar los bordes ascendentes o descendentes de la señal de tensión en el nodo 162 para determinar si el circuito de puente en H está siendo accionado a una frecuencia resonante, en otra realización, el circuito de detección de bordes puede detectar tanto los bordes ascendentes como descendentes. Esto puede ser útil para determinar el ancho de los impulsos stub que aparecen durante los periodos muertos 174a y 174b, como se analizará más adelante.

Mientras que lo anterior analiza la detección de impulsos stub mediante el monitoreo del nodo de tensión 162, se aplica un análisis similar para la tensión en el nodo 163 (no mostrado en la Figura 5A). Como se analizó previamente, la tensión en el nodo 163 será controlada en base al estado de los interruptores 152 y 156, siendo requeridos los periodos muertos 174c y 174d entre la activación de estos interruptores. La tensión en el nodo 163, en una realización, reflejará de alguna manera el interruptor de control de señal 156. Es decir, la tensión en el nodo 163 será llevada a la tensión de suministro del nodo 154 cuando el interruptor 156 esté encendido, y en su lugar será llevada a una tensión baja a través del interruptor 152 cuando el interruptor 152 esté encendido.

Cuando el circuito tanque 165 se acciona a una frecuencia resonante, no aparecerán impulsos adicionales en la señal de tensión en el nodo 163 durante los periodos muertos 174c y 174d de manera similar a la que se muestra para la forma de onda 171 del nodo 162. Es decir, esta señal en el nodo 163 tendrá igualmente una frecuencia de impulso que coincida con la frecuencia resonante del sistema. Por lo tanto, se apreciará que un circuito de detección de bordes colocado en el nodo 163 podría usarse para detectar impulsos stub en lugar de, o además del circuito de detección de bordes 160 que se coloca en el nodo 162. Por lo tanto, la descripción aquí del circuito de detección de bordes 160 en el nodo 162 que se usa para este propósito es solo ilustrativa y no limitativa.

Como se describió anteriormente, cuando las señales de control del puente en H (por ejemplo, las señales de control para los interruptores 152, 154, 156, 158) se accionan a la frecuencia resonante del sistema, tanto la corriente del circuito tanque (mostrado por la forma de onda de la corriente 170) y la tensión a través de la bobina primaria 76 también están en frecuencia resonante. Además, estas dos señales estarán en fase entre sí.

La Figura 5B es un diagrama de temporización que ilustra el control del circuito de puente en H de la Figura 4 cuando el circuito de puente en H está siendo accionado a una frecuencia superior a la frecuencia resonante del sistema. Las formas de onda de la Figura 5B corresponden a formas de onda similares de la Figura 5A. Es decir, la forma de onda del "interruptor 150" ilustra la señal de control utilizada para activar/desactivar el interruptor 150, la forma de onda del "interruptor 152" ilustra la señal de control para activar/desactivar el interruptor 152, y así sucesivamente. También similar a la de la Figura 5A, la forma de onda de la corriente de tanque 180 representa la corriente en el circuito tanque 165, y la forma de onda 182 representa la tensión en el nodo del circuito 162 de la Figura 4. Como fue el caso de la Figura 5A, se supone que cada uno de los interruptores está activado por un nivel de señal "alto", sin embargo, se apreciará que las señales de activación para uno o más interruptores pueden ser activo bajo en otro ejemplo.

En el ejemplo de la Figura 5B, el circuito de puente en H está siendo accionado a una frecuencia superior a la frecuencia resonante del sistema. Como tal, aparece una característica en la señal del circuito tanque monitoreada (es decir, la señal de tensión monitoreada en el nodo 162) que de otro modo no aparecería a la frecuencia resonante. Esta característica puede comprender "transiciones" o bordes adicionales de negativo a positivo y de positivo a negativo (por ejemplo, mostrados como un impulso stub) que aparecen en la señal de tensión. Por ejemplo, se muestra que el impulso stub 185a ocurre durante el período muerto 174a de la forma de onda 182, precediendo al impulso de tensión "principal" 185b. El impulso "extra" 185a será detectado por el circuito de detección de borde 160. Por lo tanto, el circuito de detección de borde 160 detectará dos bordes ascendentes o descendentes durante el período T de la señal de accionamiento en lugar de un borde como sería el caso si el puente en H estuviera siendo accionado a la frecuencia resonante de la manera que se muestra en la Figura 5A.

Según la invención, cuando la frecuencia es demasiado alta como se ilustra en la Figura 5B, los bordes de dos impulsos sucesivos (por ejemplo, los bordes ascendentes de los impulsos 185a y 185b) estarán separados en el tiempo por menos de un período de tiempo predeterminado indicado por las flechas 186. En un ejemplo específico, este período de tiempo es menor o igual que el período muerto máximo 174a.

Como también se desprende de la Figura 5B, debido a que el sistema está siendo accionado a una frecuencia superior a la frecuencia resonante del sistema, los impulsos de control para los interruptores del puente en H comienzan a cambiar en relación con la forma de onda de la corriente 180. Por ejemplo, el impulso 187 comienza a desplazarse hacia el cruce por cero positivo a negativo 188 de la forma de onda de la corriente 180 en lugar de estar centrado entre dos cruces por cero sucesivos como fue el caso en la Figura 5A.

La Figura 5C es un diagrama de temporización que ilustra el control del circuito de puente en H de la Figura 4 cuando el circuito de puente en H está siendo accionado a una frecuencia inferior a la frecuencia resonante del sistema. Las formas de onda de la Figura 5C corresponden a formas de onda similares de la Figura 5A. Es decir, la forma de onda del "interruptor 150" ilustra la señal de control utilizada para activar/desactivar el interruptor 150, la forma de onda del "interruptor 152" ilustra la señal de control para activar/desactivar el interruptor 152, y así sucesivamente. También similar a la de la Figura 5A, la forma de onda de la corriente 190 representa la corriente en el circuito tanque 165, y la forma de onda 192 representa la tensión en el nodo de circuito 162 de la Figura 4. Como fue el caso de la Figura 5A, se supone que cada uno de los interruptores está activado por un nivel de señal "alto", aunque esto es solo ilustrativo.

En el ejemplo de la Figura 5C, el circuito de puente en H está siendo accionado a una frecuencia por debajo de la frecuencia resonante del sistema. Como tal, aparece una característica en la señal del circuito tanque monitoreada (es decir, la señal de tensión monitoreada en el nodo 162) que de otro modo no aparecería a la frecuencia resonante. Esta característica puede comprender "transiciones" adicionales de negativo a positivo y de positivo a negativo, o bordes (por ejemplo, mostrados como un impulso stub) que aparecen en la señal de tensión. Por ejemplo, se muestra que el impulso stub 199b ocurre durante el período muerto 174b de la forma de onda 192, siguiendo al impulso de tensión "principal" 199a. El impulso "extra" 199b será detectado por el circuito de detección de borde 160. Por lo tanto, el circuito de detección de borde 160 detectará dos bordes ascendentes o descendentes durante el período T de la señal de accionamiento en lugar de un borde, como ocurrirá cuando el puente en H esté siendo accionado a una frecuencia resonante.

En una realización, cuando la frecuencia es demasiado baja como se ilustra en la Figura 5C, los bordes de dos impulsos sucesivos de la señal de tensión monitoreada (por ejemplo, los bordes ascendentes de los impulsos 199a y 199b) estarán separados en el tiempo por más de un período de tiempo predeterminado, como lo indica la flecha 195. En un ejemplo específico, los bordes están separados en el tiempo por más del período muerto máximo 174a del sistema.

Como también se desprende de la Figura 5C, debido a que el sistema está siendo accionado a una frecuencia por debajo de la frecuencia resonante del sistema, los impulsos de control para los interruptores del puente en H comienzan a cambiar en relación con la forma de onda 190 de la corriente del tanque. Por ejemplo, el impulso 197 de la forma de onda del interruptor 150 comienza a desplazarse hacia el cruce por cero positivo a negativo 198 de la forma de onda de la corriente 190 en lugar de estar centrado entre cruces por cero sucesivos como fue el caso en la Figura 5A.

Utilizando la detección de impulsos stub de acuerdo con los principios analizados anteriormente, la sintonización para ubicar una frecuencia óptima para realizar la recarga puede completarse muy rápidamente. Por ejemplo, se puede determinar una frecuencia $f(\text{alta})$ en la que aparecen primero los impulsos stub de la manera que se muestra en la Figura 5B porque el circuito de puente en H está siendo accionado por encima de la frecuencia resonante del sistema. De manera similar, se puede determinar una frecuencia $f(\text{baja})$ en la que aparecen primero los impulsos stub de la manera que se muestra en la Figura 5C porque el circuito de puente en H está siendo accionado por debajo de la frecuencia resonante del sistema. Tomando el promedio de $f(\text{alta})$ y $f(\text{baja})$, se puede aproximar la frecuencia resonante del sistema. Los métodos de ejemplo para determinar la frecuencia resonante se analizan en los ejemplos de las Figuras 6A y 6B.

Los métodos para determinar la frecuencia resonante del sistema se pueden llevar a la práctica antes de que se inicie una sesión de recarga y/o durante la duración de una sesión de recarga, si se desea. Durante este tiempo, el sistema puede continuar monitoreando la aparición de impulsos stub. La aparición de dichos impulsos puede indicar si la frecuencia resonante del sistema ha cambiado, como puede ocurrir debido a la flexión de la antena 78, un cambio en la postura del paciente, el movimiento de la antena 78 con respecto al paciente, etc. Esto puede desencadenar la resintonización de la frecuencia.

La Figura 6A es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo que utiliza los conceptos descritos anteriormente para sintonizar las señales de accionamiento del circuito de puente en H 148 de modo que el puente en H se accione a la frecuencia resonante del sistema. Cuando el puente en H se acciona a la frecuencia resonante,

la corriente del circuito tanque 165 y la tensión a través de la bobina primaria 76 también estarán en la frecuencia resonante del sistema y no existirá diferencia de fase entre estas señales.

De acuerdo con este método, cuando se inicia una sesión de recarga, el circuito de puente en H 148 puede accionarse inicialmente a una frecuencia resonante nominal, que puede ser la frecuencia seleccionada en base a la autorresonancia del circuito de carga 70, incluida la antena 78 (200). Es decir, las señales de control que activan/desactivan los interruptores 150, 152, 156 y 158 se activan a esta frecuencia resonante nominal, que en un ejemplo es 41 KHz. Cuando se acciona inicialmente el circuito de puente en H a esta frecuencia resonante nominal, el ciclo de trabajo de los impulsos de activación se establece en algún ciclo de trabajo predeterminado. En una realización, este ciclo de trabajo predeterminado es relativamente pequeño para garantizar que los bordes de los impulsos de accionamiento no se acerquen a un cruce por cero de la corriente en el circuito tanque 165. Por ejemplo, con referencia a la Figura 5A, al seleccionar el ciclo de trabajo de un interruptor de accionamiento de la señal 150 para que sea bastante inferior al 50 %, el borde delantero del impulso 172 no se acercará al cruce por cero 176, y el borde trasero del impulso 172 no se acercará al cruce por cero 177. En un ejemplo específico, el ciclo de trabajo inicial se selecciona para que sea del 5 %, pero se pueden usar otros valores como alternativa.

A continuación, la frecuencia de la señal de accionamiento se incrementa gradualmente hasta que se alcanza una frecuencia de $f(\text{alta})$, que es la frecuencia a la que aparece por primera vez un impulso stub cerca de un cruce por cero predeterminado (202). Como se muestra por la forma de onda 182 de la Figura 5B, en un ejemplo, este impulso stub 185a aparecerá precediendo un impulso (por ejemplo, el impulso 187) correspondiente al impulso de la señal de control que activa el interruptor 150. Se recuerda que este impulso stub dará como resultado que el circuito de detección de borde 160 detecte más de un borde por período T.

Si se desea, el ajuste incremental de la frecuencia para obtener una frecuencia que finalmente produzca este impulso stub puede ocurrir en pasos predeterminados. Por ejemplo, la frecuencia de accionamiento se puede cambiar en pasos de entre 5 Hz y 100 Hz. En un caso específico, la frecuencia se cambia entre aproximadamente 70 Hz y 92 Hz en cada paso. Como ejemplo, la frecuencia de accionamiento puede establecerse primero en 41 KHz, incrementarse a 41,07 KHz, incrementarse de nuevo a 41,14 KHz, incrementarse de nuevo a 41,21 KHz, y así sucesivamente, hasta que se detecte un impulso stub. Cualquier incremento de frecuencia se puede utilizar para este fin. Cuanto menor sea el incremento, más precisa será la frecuencia final determinada. Sin embargo, cuando se utiliza un incremento más pequeño, el proceso de sintonización tardará más en completarse.

En una realización alternativa, en lugar de alterar la frecuencia de la señal de accionamiento en una cantidad predeterminada durante cada paso, el período de la señal de accionamiento puede cambiarse en un incremento de tiempo predeterminado. Por ejemplo, el período puede cambiarse en cada paso por un incremento de entre 10 nanosegundos (ns) y 100 ns. En una ilustración específica, el período de la señal de accionamiento puede incrementarse en 46 ns en cada paso a medida que el barrido avanza desde una frecuencia media (por ejemplo, 41 KHz) hasta $f(\text{alta})$. Esto dará como resultado un delta de frecuencia que no es constante, sino que aumenta ligeramente a medida que el barrido de frecuencia progresa de frecuencias bajas a altas. Por ejemplo, inicialmente, la frecuencia cambiará en aproximadamente 70 Hz en cada paso, pero este delta de frecuencia aumentará a medida que se acerque a $f(\text{alta})$.

Una vez que se determina $f(\text{alta})$, se puede realizar un proceso similar para determinar una frecuencia baja en la que aparecen los impulsos stub. Para lograr esto, el circuito de control 88 puede accionar de nuevo el circuito tanque 165 a la frecuencia resonante nominal (por ejemplo, 41 KHz). En pasos incrementales, el circuito de control 88 puede disminuir la frecuencia de la señal de accionamiento hasta que se alcanza una frecuencia $f(\text{baja})$ (204). Esta es la frecuencia a la que aparece por primera vez un impulso stub como resultado de la disminución de frecuencia. Se recuerda que este impulso stub 199b se detectará después de un impulso 197 que activa el interruptor 172, como se muestra en la Figura 5C, y dará como resultado que el circuito de detección de borde 160 detecte más de un borde por período. El ajuste incremental de la frecuencia puede ocurrir de nuevo en pasos de frecuencia predeterminados, como algún paso de frecuencia de entre 5 Hz y 100 Hz. En un ejemplo específico, se puede usar un cambio de frecuencia de aproximadamente 70 Hz.

Alternativamente, el período de la señal de accionamiento se puede ajustar en una cantidad predeterminada. Por ejemplo, el período puede incrementarse en cada paso entre 10 ns y 100 ns para que la frecuencia disminuya. Esto dará como resultado un delta de frecuencia que no es constante, sino que disminuye ligeramente a medida que el barrido de frecuencia progresa de frecuencias altas a bajas.

A continuación, la frecuencia de accionamiento se establece en una frecuencia $f(\text{prom})$, que es el promedio de las frecuencias alta y baja, $f(\text{alta})$ y $f(\text{baja})$, que se determinaron en los pasos anteriores (206). A esta frecuencia, no deberían aparecer impulsos stub. Si aparecen impulsos stub, se debe repetir el proceso de los pasos 202-206. A la frecuencia $f(\text{prom})$, los impulsos que controlan los interruptores del puente en H deben estar sustancialmente centrados entre los cruces por cero, como se muestra en la Figura 5A.

Se recuerda que en este punto, el ciclo de trabajo todavía se establece en un ciclo de trabajo predeterminado que es relativamente pequeño, tal como del 5 %. En un ejemplo, puede ser deseable aumentar el ciclo de trabajo tanto

como sea posible mientras se mantiene la frecuencia resonante del sistema. Esto puede ser deseable por varias razones. Primero, para un nivel de tensión dado, se proporcionará más potencia a la bobina primaria 76 en un ciclo de trabajo más alto. Esta potencia estará disponible para transferir a la bobina secundaria 56 para recargar la fuente de alimentación recargable 50. Si bien sería posible aumentar el nivel de tensión suministrado por el circuito de conversión de potencia 74 para aumentar el nivel de potencia, proporcionar un circuito de conversión de potencia 74 que pueda aumentar la tensión de esta manera puede aumentar la complejidad y/o el costo del sistema. Por lo tanto, puede ser más deseable aumentar el ciclo de trabajo, que es una operación simple controlada por el circuito de control 88.

Otra razón por la que puede ser deseable aumentar el ciclo de trabajo tiene que ver con la velocidad a la que aparecerán los impulsos stub cuando el circuito pierda la sintonización. Específicamente, cuando se usa un ciclo de trabajo más grande, los impulsos stub aparecerán muy rápidamente cuando el circuito esté ligeramente fuera de sintonización. Esto puede permitir que el sistema sea muy sensible a una condición fuera de sintonización. Esto se analiza más adelante.

En vista de lo anterior, en una realización que utiliza un ciclo de trabajo aumentado después de la sintonización de frecuencia inicial, el ciclo de trabajo de los impulsos de accionamiento (por ejemplo, los impulsos suministrados al par de interruptores 150, 152) puede incrementarse a continuación (208). Este aumento incremental puede ocurrir en una cantidad predeterminada, como por ejemplo en un 2 o un 5 por ciento en cada paso. Alternativamente, se puede aumentar más al principio (por ejemplo, en un 5 %) y luego se puede incrementar en cantidades más pequeñas (por ejemplo, en un 2 %) después de alcanzar un ciclo de trabajo de punto medio (por ejemplo, cuando el ciclo de trabajo alcanza el 30 %). Muchos ejemplos son posibles. En cualquier caso, después de cada aumento de este tipo en el ciclo de trabajo de los impulsos de excitación, se puede determinar si ha aparecido un impulso stub. El aumento incremental en el ciclo de trabajo continúa hasta que se alcanza la frecuencia $f(\text{stub1})$, que es la frecuencia a la que aparece por primera vez un impulso de stub. Este impulso stub podría ser cualquiera que esté asociado con el período muerto 174a o 174b de las Figuras 5A - 5C en una realización en donde se está realizando el monitoreo en el nodo 162.

Basándose en la ubicación del impulso stub que aparece en la frecuencia de accionamiento $f(\text{stub1})$, se puede determinar cómo ajustar la frecuencia (210). De acuerdo con un ejemplo, si los dos bordes detectados están separados en el tiempo por menos de un período de tiempo máximo predeterminado, la frecuencia debe disminuirse, como se describió anteriormente con referencia a la Figura 5B. En un ejemplo, el período de tiempo máximo predeterminado es un período muerto máximo 174a o 174b del sistema. En otras palabras, si el circuito de detección de bordes 160 detecta dos bordes separados en el tiempo por no más del tiempo 174a, la frecuencia debería disminuir. Por el contrario, si el circuito de detección de bordes 160 detecta dos bordes dentro del período T de la señal de accionamiento que están separados en el tiempo por más del tiempo 174a, la frecuencia debe aumentarse, como se muestra en la Figura 5C.

Como también se muestra en el paso 210 de la Figura 6A, el impulso stub se puede usar opcionalmente para determinar no solo el tipo de ajuste de frecuencia (por ejemplo, aumento frente a disminución), sino también el tamaño del ajuste. En particular, en algunos ejemplos, el ancho del impulso stub aumenta a medida que aumenta el grado de desajuste de sintonización, lo que permite estimar el tamaño del ajuste requerido. Esto se analiza más adelante.

En base a una determinación del tipo de ajuste de frecuencia requerido en el paso 210 (es decir, aumento frente a disminución), se puede realizar (212) otro ajuste incremental a la señal de accionamiento. Por ejemplo, si la temporización relativa de los impulsos stub es similar a la que se muestra en la Figura 5B, lo que indica que la frecuencia ahora es demasiado alta, el ajuste debería disminuir gradualmente la frecuencia. Por el contrario, si la temporización relativa de los impulsos stub es similar a la que se muestra en la Figura 5C, lo que indica que la frecuencia ahora es demasiado baja, el ajuste debe aumentar gradualmente la frecuencia. En cualquier caso, este ajuste puede ocurrir en pasos relativamente pequeños que implican un ajuste de frecuencia predeterminado. Por ejemplo, cada paso puede ajustar la frecuencia en 1 Hz o alguna otra cantidad relativamente pequeña. Alternativamente, el ajuste podría ocurrir cambiando el período de la señal de accionamiento en un incremento de tiempo predeterminado en cada paso. Como resultado de estos ajustes, los impulsos secundarios primero desaparecerán y finalmente reaparecerán en una segunda frecuencia $f(\text{stub2})$.

Como ejemplo de lo anterior, si el paso 210 determina que se necesita una reducción en la frecuencia, la frecuencia puede reducirse una cantidad de frecuencia predeterminada en cada paso (por ejemplo, en 5 Hz) o aumentando el período en algún período de tiempo en cada paso (por ejemplo, en 10 ns). Después de cada uno de estos pasos, se determina si la frecuencia se ha ralentizado tanto que ahora aparece un impulso stub 199b después de un impulso de tensión "principal" 199a, como se muestra en la Figura 5C. Si es así, esta frecuencia se considera $f(\text{stub2})$.

Alternativamente, si el paso 210 determina que se necesita un aumento en la frecuencia, la frecuencia puede aumentarse una cantidad de frecuencia predeterminada en cada paso (por ejemplo, en 5 Hz) o el período puede disminuirse en una cantidad predeterminada en cada paso (por ejemplo, en 10 ns). Después de cada uno de estos

pasos, se determina si la frecuencia se ha incrementado tanto que ahora ha aparecido un impulso stub 185a antes que un impulso "principal" 185b, como se muestra en la Figura 5B. Si es así, esta frecuencia se considera $f(\text{stub2})$.

A continuación, la frecuencia de accionamiento del puente en H se ajusta a la frecuencia final $f(\text{final})$, que es el promedio de $f(\text{stub1})$ y $f(\text{stub2})$ (214). El ciclo de trabajo puede establecerse en algún valor máximo predeterminado final (216). En una realización, este valor final puede ser del 40 % para un único par de interruptores (o del 80 % para ambos pares de interruptores). Como alternativa, se pueden seleccionar otros valores en base a los parámetros del sistema. Alternativamente, el ciclo de trabajo puede dejarse establecido en el valor utilizado durante la sintonización, que puede ser sustancialmente inferior al 40 % en algunos ejemplos.

Se apreciará que en cualquiera de los pasos descritos en este documento que impliquen el registro de una frecuencia (por ejemplo, $f(\text{alta})$, $f(\text{baja})$, $f(\text{stub1})$ o $f(\text{stub2})$), el período de la señal de accionamiento puede registrarse en su lugar y se usa para determinar una frecuencia o período final de la señal de accionamiento. Por ejemplo, el período en $f(\text{alta})$ y en $f(\text{baja})$ puede registrarse y promediarse en el paso 206. El circuito de control 88 puede entonces accionar el circuito tanque 165 en base a este período determinado, logrando el mismo resultado. La frecuencia de registro para realizar la sintonización es, por lo tanto, una elección arbitraria y, en su lugar, se podría utilizar el período de la frecuencia de accionamiento.

La señal de accionamiento final puede proporcionar una transferencia de potencia óptima a la frecuencia resonante del sistema. Esto puede minimizar la cantidad de energía desperdiciada, conservando así la energía de la fuente de alimentación 72. Esta energía desperdiciada no se perderá en forma de calor, que de lo contrario podría disiparse en el entorno circundante, posiblemente calentando el tejido y provocando molestias al paciente. Además, al aumentar el ciclo de trabajo en el paso 208 para ampliar el impulso de accionamiento, el sistema puede volverse más sensible a los impulsos stub, de modo que incluso una pequeña desviación de la frecuencia resonante del sistema dará como resultado la aparición de impulsos stub. Esto permitirá que la resintonización ocurra muy rápidamente para que se mantenga la frecuencia resonante.

En una realización, el circuito de control 88 es un circuito de procesamiento que recibe una notificación (por ejemplo, una interrupción) con la primera aparición de un impulso stub, lo que permite la resintonización de la frecuencia en tiempo real para que se mantenga la sintonización óptima a pesar de la flexión o el movimiento de la bobina, el movimiento del paciente, etc.

Como se indicó anteriormente con respecto al paso 210 de la Figura 6A, la aparición de impulsos stub se puede usar para determinar no solo un tipo de ajuste (aumento frente a disminución), sino que también se puede usar para determinar una cantidad estimada de aumento o disminución. Esto se debe a que el ancho de un impulso stub aumentará a medida que aumente el grado de desajuste entre la frecuencia de accionamiento y la frecuencia resonante del sistema. Por lo tanto, en un ejemplo en donde el circuito de detección de bordes 160 es capaz de detectar los bordes ascendentes y descendentes, se puede determinar el ancho relativo de un impulso stub (por ejemplo, el tiempo transcurrido entre los bordes ascendentes y descendentes). En un caso, dicha determinación puede ser realizada por el circuito de control 88. El ancho relativo determinado del impulso stub se puede usar para estimar una cantidad por la cual se debe cambiar la frecuencia. Por lo tanto, en una realización, el paso 210 puede determinar no solo el tipo, sino también la cantidad de ajuste a realizar en base a la ubicación y el ancho del impulso stub, respectivamente. Por ejemplo, cuando un impulso stub más grande indica que se van a realizar ajustes más grandes, esos ajustes más grandes podrían usarse para un primer número predeterminado de iteraciones para "marcar" rápidamente la segunda frecuencia stub $f(\text{stub2})$. Después de este primer número predeterminado de ajustes, el tamaño de los ajustes puede reducirse, si se desea, de modo que $f(\text{stub2})$ no se "exceda".

En algunas realizaciones, el ancho de un impulso stub puede aumentar tanto que el impulso stub puede "mezclarse" con un impulso principal. Por ejemplo, en la Figura 5B, el impulso stub 185a puede volverse tan ancho que el impulso stub 185a y el impulso 185b se convierten en un impulso. Este tipo de situación puede detectarse detectando los bordes ascendente y descendente de un impulso de señal usando un circuito de detección de bordes 160 que tenga esta capacidad. A partir de la temporización asociada con estos dos bordes, se puede determinar que el impulso es mayor que el impulso de la señal de accionamiento correspondiente 187. Además, debido a que la sincronización asociada con la señal de accionamiento es "conocida", en un ejemplo, se puede determinar si un borde ascendente del impulso detectado en el nodo 162 precede a un borde ascendente del impulso 187, o si el borde descendente de este impulso, en cambio, sigue el borde descendente del impulso 187. En el primer caso, la frecuencia de accionamiento debe disminuirse de manera similar a la descrita con respecto a la Figura 5B. En este último caso, la frecuencia de accionamiento debe aumentarse de la manera descrita con respecto a la Figura 5C.

Otras realizaciones del método de la Figura 6A son posibles. Por ejemplo, el proceso de la Figura 6A puede iniciarse con un ciclo de trabajo que se considere "suficientemente bueno" (por ejemplo, del 30 %). Usando este enfoque, se pueden realizar los pasos 202 - 206 para encontrar $f(\text{prom})$, y el proceso se puede considerar completo. Este proceso puede completarse más rápidamente que si se ejecuta todo el proceso, incluidos los pasos 208-214, que se utilizan para aumentar el ciclo de trabajo.

Como otro ejemplo, el circuito de puente en H puede accionarse inicialmente con alguna frecuencia resonante nominal y un ciclo de trabajo relativamente pequeño como se describió inicialmente con referencia al paso 200. A partir de entonces, el procesamiento puede proceder directamente a los pasos 208-214 donde el ciclo de trabajo se incrementa de forma incremental para determinar $f(\text{stub1})$, $f(\text{stub2})$ y $f(\text{final})$, donde el paso 216 se considera opcional. Tal realización puede eliminar las iteraciones asociadas con los pasos 202 y 204. Así, un experto en la técnica apreciará que son posibles muchos ejemplos. En algunos ejemplos, los pasos pueden reordenarse. Además, en los ejemplos, algunos pasos se pueden eliminar por completo para aumentar la velocidad a la que se puede realizar la sintonización. Así, la Figura 6A es solo ilustrativa.

Los diversos métodos descritos con referencia a la Figura 6A analizan el inicio del barrido de frecuencia a una frecuencia resonante nominal que se encuentra en un "rango de frecuencia sintonizada" en donde no se generan impulsos stub. En otra realización, el proceso de sintonización puede comenzar en cambio en una frecuencia $f(\text{exterior})$ que está fuera de este rango de frecuencia sintonizada. La frecuencia $f(\text{exterior})$ se selecciona para que sea una frecuencia a la que se sabe que aparecerán impulsos stub de forma fiable. Es decir, $f(\text{exterior})$ se selecciona para que esté por debajo de una frecuencia baja en la que aparecen por primera vez los impulsos stub (por ejemplo, por debajo de $f(\text{baja})$ de la Figura 6A) o por encima de una frecuencia alta a la que aparecen por primera vez los impulsos stub (por ejemplo, por encima de $f(\text{alta})$ de la Figura 6A). Se puede realizar un barrido para barrer desde $f(\text{exterior})$ hacia el rango de frecuencia sintonizada hasta que se localiza la frecuencia en donde desaparecen primero los impulsos stub ($f(\text{desaparición})$). A partir de ahí, el barrido de frecuencia puede continuar a través del rango de frecuencia sintonizada en el que los impulsos stub están ausentes, y finalmente proceder a la frecuencia a la que los impulsos stub reaparecen por primera vez ($f(\text{reaparición})$). Entonces, la frecuencia puede establecerse en el promedio de $f(\text{desaparición})$ y $f(\text{reaparición})$.

Como se analizó anteriormente con referencia a la Figura 6A, el barrido predeterminado desde $f(\text{exterior})$ a través del rango de frecuencia sintonizada puede ocurrir ajustando la frecuencia en una cantidad de ajuste de frecuencia predeterminada durante cada paso. Por ejemplo, la cantidad de ajuste puede ser un incremento de entre 5 Hz y 100 Hz. Alternativamente, el ajuste puede ocurrir cambiando el período de la señal de accionamiento en un incremento de tiempo predeterminado en cada paso. Por ejemplo, para este propósito puede usarse algún incremento de tiempo de entre 5 ns y 100 ns. Puede seleccionarse cualquier incremento de frecuencia o tiempo en cualquiera de las realizaciones de la Figura 6A y 6B, reconociendo que un incremento más pequeño producirá una determinación de frecuencia final más precisa pero dará como resultado un mecanismo de sintonización que incluye más pasos y por lo tanto tarda más en completarse.

El barrido de frecuencia desde $f(\text{exterior})$ puede comenzar por encima o por debajo del rango de frecuencia sintonizada. Si $f(\text{exterior})$ está por debajo del rango de frecuencia sintonizada, el barrido de frecuencia implicará un aumento gradual de la frecuencia (o una disminución gradual del período) hasta que desaparezca primero un impulso stub. Luego, el barrido procede a través del rango de frecuencia sintonizada hasta que se localiza la frecuencia en la que reaparece el primer impulso stub. Por el contrario, si $f(\text{exterior})$ está por encima del rango de frecuencia sintonizada, este proceso puede implicar la disminución de la frecuencia en una cantidad de frecuencia predeterminada (o el aumento del período en un incremento de tiempo predeterminado) hasta que desaparezca primero un impulso stub. Este barrido continúa a través del rango de frecuencia sintonizada hasta que se localiza la frecuencia en la que reaparece el primer impulso stub.

Se puede realizar algún procedimiento de calibración para determinar inicialmente la frecuencia $f(\text{exterior})$ y/o el ajuste de frecuencia incremental a usar durante el barrido. Un método para calibrar $f(\text{exterior})$ puede utilizar los pasos de la Figura 6A para determinar $f(\text{alta})$ o $f(\text{baja})$. La frecuencia $f(\text{exterior})$ puede entonces seleccionarse para que sea una cantidad predeterminada superior a $f(\text{alta})$ o, alternativamente, una cantidad predeterminada inferior a $f(\text{baja})$. Por ejemplo, la cantidad predeterminada puede ser de 100 Hz, de modo que $f(\text{exterior})$ se seleccione para que sea 100 Hz inferior a $f(\text{baja})$ o 100 Hz superior a $f(\text{alta})$. La cantidad de frecuencia predeterminada seleccionada para determinar $f(\text{exterior})$ debe ser lo suficientemente grande como para garantizar que cuando el circuito de puente en H se acciona a una frecuencia de $f(\text{exterior})$, aparecerán impulsos stub de forma fiable. Sin embargo, $f(\text{exterior})$ no debe estar tan lejos de la frecuencia límite correspondiente (por ejemplo, $f(\text{baja})$ o $f(\text{alta})$) que el tiempo de barrido aumentará más allá de una cantidad aceptable.

Se pueden usar muchos otros métodos para determinar $f(\text{exterior})$. Por ejemplo, se puede realizar un barrido de frecuencia de baja a alta o de alta a baja de "prueba" alrededor de la frecuencia resonante nominal conocida de la antena 78 para determinar $f(\text{desaparición})$ y $f(\text{reaparición})$. La frecuencia $f(\text{exterior})$ puede seleccionarse para que esté a una distancia aceptable de una de estas frecuencias de la manera analizada anteriormente.

En un sistema en donde se puede seleccionar $f(\text{exterior})$ para que esté por encima o por debajo de la frecuencia resonante, se debe anotar la dirección del barrido de frecuencia para que el proceso se complete con éxito. Una forma de registrar esta dirección puede implicar permitir que la frecuencia delta (es decir, la cantidad en la que la frecuencia cambiará en cada paso) sea un valor positivo (para un barrido creciente) o un valor negativo (para un barrido decreciente). En una realización, la dirección del barrido de frecuencia está meramente "preprogramada" en la lógica de manera que el barrido siempre se realiza en una dirección (por ejemplo, de baja a alta) seleccionándose $f(\text{exterior})$ en consecuencia.

El tamaño del incremento de frecuencia utilizado en el barrido también puede determinarse durante el procedimiento de calibración. Esto podría realizarse, por ejemplo, restando $f(\text{baja})$ de $f(\text{alta})$ y dividiendo por el número de pasos incrementales deseados para recorrer este rango durante el barrido de frecuencia, teniendo en cuenta que se necesitarán pasos adicionales para atravesar el rango desde $f(\text{exterior})$ hasta la frecuencia a la que los impulsos stub desaparecen por primera vez. En un ejemplo, el incremento de frecuencia puede ser de aproximadamente 70 Hz. Como se analizó anteriormente, en un ejemplo, el incremento de frecuencia podría seleccionarse como un valor negativo para dar como resultado un barrido de frecuencia decreciente.

La selección del valor incremental debe equilibrar la necesidad de precisión frente a la velocidad para completar el barrido. Se obtendrá una frecuencia resonante más precisa cuando se utilice un incremento más pequeño. Por el contrario, el tiempo para completar el barrido de frecuencia y realizar la sintonización se reducirá si se selecciona un incremento mayor. En una realización, puede ser deseable utilizar un incremento mayor en algunas situaciones en donde es necesario completar la sintonización muy rápidamente. Se puede seleccionar un valor delta más pequeño cuando la sintonización se va a realizar con mayor precisión y durante un período de tiempo más largo. Una vez que $f(\text{exterior})$ y/o el incremento de frecuencia se determinan durante el paso de calibración, esos valores se pueden almacenar para su uso posterior.

En un ejemplo muy específico, el barrido de frecuencia comienza a 39 KHz con impulsos de 1000 ns que se usan para controlar los interruptores 150 y 156 del circuito de puente en H 148. El barrido de frecuencia progresa hacia arriba a través de una frecuencia resonante nominal de 41 KHz hasta localizar una frecuencia superior a 41 KHz en la que reaparecen primero los impulsos stub. Durante este proceso, el período de la señal de control se reduce en cada paso en aproximadamente 46 ns para afectar el aumento de frecuencia. En un ejemplo, no se requieren más de 63 pasos para completar el barrido. Durante el barrido, la tensión a la que se acciona el puente en H (es decir, la tensión en el nodo 154) permanece establecida en una tensión predeterminada, que en una realización es de 11 voltios.

La Figura 6B ilustra un método de ejemplo para realizar un barrido de frecuencia utilizando $f(\text{exterior})$ como la frecuencia a la que se inicia el barrido. Primero, se puede realizar algún paso de calibración (218). Este paso de calibración puede determinar la frecuencia $f(\text{exterior})$. Esta es una frecuencia a la que se producirán de forma fiable los impulsos stub, pero que no está demasiado alejada de la frecuencia a la que desaparecerán los impulsos stub. Este paso de calibración puede determinar aún más el cambio de frecuencia incremental necesario para este barrido. Esta frecuencia y/o el valor incremental pueden almacenarse para su uso al realizar la sintonización.

A continuación, el circuito de puente en H puede accionarse a la frecuencia $f(\text{exterior})$ predeterminada, así como a un ciclo de trabajo predeterminado, de modo que se detecten (219) los impulsos stub. En un caso, la frecuencia es de 39 KHz y el ancho de pulso es de 1000 ns. En este caso, el ciclo de trabajo es de alrededor del 3,9 % si se considera el tren de impulsos que controla uno de los pares de interruptores del puente en H (por ejemplo, el par de interruptores 150, 152 o el par de interruptores 156, 158), es de alrededor del 7,8 % cuando se tienen en cuenta los trenes de impulsos para ambos pares de interruptores.

La frecuencia de accionamiento se ajusta entonces hasta que los impulsos stub desaparezcan primero a la frecuencia $f(\text{desaparición})$ (220). Este ajuste incremental implicará un aumento de la frecuencia incremental o una disminución de período incremental si $f(\text{exterior})$ está por debajo de la frecuencia resonante del sistema. A la inversa, el ajuste incremental implicará una disminución incremental de la frecuencia o un aumento incremental del período si $f(\text{exterior})$ está por encima de la frecuencia resonante del sistema. Este ajuste incremental puede usar un valor de incremento determinado durante el proceso de calibración, en un ejemplo. Como un ejemplo que implica un barrido de frecuencia creciente, el período puede reducirse en cada paso en aproximadamente 46 ns. Esto corresponderá aproximadamente a un aumento de frecuencia durante cada paso del barrido de entre 70 Hz y 92 Hz (los cambios de frecuencia se hacen más grandes a medida que aumenta la frecuencia de accionamiento).

Una vez que han desaparecido los impulsos stub, los ajustes incrementales continúan en la misma dirección (por ejemplo, ya sea aumentando o disminuyendo la frecuencia) hasta que los impulsos stub reaparecen primero a la frecuencia $f(\text{reaparición})$ (221). La frecuencia de accionamiento resonante final $f(\text{final})$, que se aproxima a la frecuencia resonante del sistema, puede establecerse en el promedio de $f(\text{desaparición})$ y $f(\text{reaparición})$ (222). Finalmente, el ciclo de trabajo y/o la tensión a la que se acciona el puente en H puede ajustarse a valores predeterminados (223). En un ejemplo, estos valores se pueden establecer en valores predeterminados de "sintonización posterior", tal como una tensión de 11 voltios y un ciclo de trabajo de entre 30 % y 40 %. En otro ejemplo, el ciclo de trabajo y la tensión pueden permanecer establecidos en sus valores de "sintonización" que en una realización es aproximadamente 7,8 % cuando se consideran los impulsos que accionan ambos interruptores 150 y 156 (o alrededor del 3,9 % para el tren de impulsos que controla cualquiera de los interruptores 150 y 156).

Existen intereses contrapuestos para determinar si elegir un ciclo de trabajo final que sea más grande o más pequeño. Por un lado, en un ciclo de trabajo grande (por ejemplo, entre 20 % y 45 %), los impulsos stub aparecen mucho más fácilmente cuando el sistema está fuera de sintonización. En otras palabras, el sistema está más "sensibilizado" a una divergencia de la frecuencia resonante del sistema, de manera que esta condición puede detectarse más rápidamente. El uso de un ciclo de trabajo grande también puede ser más eficiente al transferir

potencia por las razones mencionadas anteriormente. Por otro lado, cuando se usa un ciclo de trabajo grande, las dos frecuencias de impulsos stub estarán cerca de la frecuencia nominal del sistema (por ejemplo, la frecuencia resonante descargada de la antena 78) y la diferencia entre estas dos frecuencias de impulso stub no será muy grande. Como ejemplo específico, con referencia al paso 214 de la Figura 6A, la diferencia entre $f(\text{stub1})$ y $f(\text{stub2})$ no será grande. Por lo tanto, promediar estas dos frecuencias no será tan significativo ni producirá una frecuencia resonante que sea tan precisa como si las dos frecuencias estuvieran más separadas.

Por el contrario, cuando el ciclo de trabajo se selecciona para que sea menor (por ejemplo, menor del 20 % para un solo par de interruptores o, en un ejemplo, incluso menor del 5 % para un solo par de interruptores), las dos frecuencias que rodean la resonancia a la que aparecen primero los impulsos stub (por ejemplo, $f(\text{stub1})$ y $f(\text{stub2})$ de la Figura 6A paso 214) estarán más alejadas entre sí. Como resultado, tomar el promedio de estas frecuencias para obtener la frecuencia resonante sintonizada arrojará un resultado más preciso. Sin embargo, en este caso, el sistema no está tan sensibilizado a estar fuera de sintonización. Es decir, la frecuencia de accionamiento puede desviarse más de la resonancia antes de que aparezcan los impulsos stub, y es posible que el sistema no detecte tan rápido que existe una condición fuera de sintonización. Por lo tanto, el sistema puede permanecer fuera de sintonización por más tiempo antes de que se inicie la resintonización.

En vista de lo anterior, en un ejemplo, puede ser deseable establecer el ciclo de trabajo en un valor menor para mejorar la precisión durante el proceso de sintonización. Por ejemplo, en un ejemplo, el ciclo de trabajo de la señal que acciona un par de interruptores se establece por debajo del 10 %. En un ejemplo aún más particular, este ciclo de trabajo se reduce por debajo del 5 %. Una vez completada la sintonización, el ciclo de trabajo se puede establecer en un valor mayor (por ejemplo, más del 30 %) para sensibilizar al sistema ante una condición fuera de sintonización y mejorar la transferencia de potencia. Posteriormente, cuando existe una condición fuera de sintonización utilizando este ciclo de trabajo más grande, el ciclo de trabajo puede reducirse nuevamente para mejorar la precisión de sintonización y así sucesivamente.

El método de la Figura 6B se puede realizar muy rápidamente si $f(\text{exterior})$ y el incremento de frecuencia utilizado para el ajuste de frecuencia se seleccionan correctamente. La operación completa puede, en un ejemplo, realizarse en menos de setenta incrementos. En un ejemplo, el circuito de control 88 opera a una frecuencia que permite que esta operación se complete en menos de una décima de segundo, proporcionando una respuesta virtualmente en tiempo real.

La determinación de la frecuencia resonante del sistema de acuerdo con los métodos descritos en este documento se puede realizar una vez cuando el circuito de carga 70 se empareja por primera vez con el paciente 4. Esto determinará una frecuencia resonante del sistema que tenga en cuenta factores como el tipo de cuerpo del paciente, la ubicación y la orientación del IMD 2, el tipo de IMD 2, las características de la bobina secundaria 56, el espacio típico entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56, etc. Una vez realizada esta determinación inicial, la frecuencia resonante determinada (por ejemplo, $f(\text{final})$) puede guardarse para su uso en todas las sesiones de recarga futuras. Por ejemplo, esta frecuencia se puede guardar en el dispositivo de almacenamiento 90 del circuito de carga 70, el dispositivo de almacenamiento 73 del dispositivo externo 100, un dispositivo de almacenamiento de IMD 2 o alternativamente en algún otro dispositivo de almacenamiento. A partir de ese momento, todas las sesiones de recarga podrán realizarse con esta frecuencia, independientemente de las mediciones o indicaciones realizadas en relación con la eficiencia de la recarga. En otro ejemplo, esta frecuencia registrada puede usarse como la frecuencia nominal (por ejemplo, como en el paso 200 de la Figura 6A) la próxima vez que se determine que la frecuencia necesita volver a sintonizarse.

En otros ejemplos más, la frecuencia puede calibrarse cada vez que se inicia una sesión de recarga independientemente de si se ha hecho en el pasado. En otro ejemplo, la frecuencia resonante se puede volver a determinar en incrementos de tiempo predeterminados a lo largo de la sesión de recarga (por ejemplo, un minuto). En aún otras realizaciones, un usuario puede proporcionar algún tipo de entrada (por ejemplo, seleccionar una opción de sintonización de frecuencia proporcionada por una interfaz de usuario) que inicia la función de sintonización.

En aún otras realizaciones, un evento desencadenante puede iniciar la resintonización de frecuencia. Por ejemplo, en un sistema que utiliza comunicación de telemetría entre el IMD 2 y el circuito de carga 70 y/o un dispositivo externo adicional tal como el dispositivo externo 100 (Figura 2), el IMD 2 puede proporcionar información indicativa de la eficiencia de la sesión de recarga. Dicha información puede incluir una medición de la corriente dentro o la tensión a través de la bobina secundaria 56, una corriente o tensión asociada con la fuente de alimentación recargable 50 del IMD 2 (por ejemplo, una corriente de recarga generada a la fuente de alimentación recargable 50), una cantidad de flujo magnético que acopla la bobina secundaria 56, o alguna otra medición de la eficiencia de la sesión de recarga. Cuando un cambio en una o más de estas mediciones indica que la eficiencia de la recarga puede haber disminuido (por ejemplo, cuando la corriente que fluye hacia la fuente de alimentación recargable 50 disminuye por debajo de una cantidad de umbral), se puede solicitar al circuito de carga 70 que determine si han aparecido impulsos stub en el forma de onda del tanque, y si es así, inicie la resintonización de frecuencia de acuerdo con cualquiera de los métodos descritos anteriormente con referencia a las Figuras 6A y 6B.

En otra realización más, la métrica utilizada para desencadenar la resintonización de frecuencia puede ser la temperatura. Por ejemplo, el sensor de temperatura 95 en la antena 78 y/o el sensor de temperatura 51 en el IMD 2 pueden emplearse para determinar los aumentos de temperatura asociados con la antena 78 o el IMD 2 respectivamente. Dichos aumentos de temperatura pueden ser una indicación de que la potencia se pierde en forma de calor y, por lo tanto, una frecuencia de transmisión inferior a la óptima. Cualquiera de tales sensores de temperatura se puede usar solo o en combinación con otros sensores de temperatura para desencadenar otra búsqueda de la frecuencia resonante del sistema según cualquiera de los métodos de las Figuras 6A y 6B o una variación de los mismos.

Como se analizó anteriormente, la reaparición de impulsos stub se puede usar para desencadenar la resintonización en una realización. Por ejemplo, el circuito de control 88 puede ser accionado por interrupción o, en su lugar, se puede utilizar el sondeo para determinar cuándo han reaparecido los impulsos stub. En una realización basada en interrupciones, la capacidad de detectar la temporización relativa entre impulsos puede incorporarse en el circuito de detección de borde 160 de manera que este circuito pueda generar una interrupción diferente dependiendo de si se necesita aumentar o disminuir la frecuencia. Entonces, el circuito de control 88 puede responder en consecuencia, proporcionando así un sistema que responde rápidamente de manera apropiada a una indicación de que se necesita un ajuste de frecuencia. Esto es importante en un sistema que, por ejemplo, incluye una bobina flexible que puede deformarse con relativa facilidad para adaptarse a la forma del cuerpo de un paciente. La flexión de la bobina puede cambiar la frecuencia resonante del sistema. Además, los cambios de un paciente en la posición del cuerpo y/o el movimiento de la bobina primaria 76 con respecto a la bobina secundaria 56 pueden cambiar igualmente la frecuencia resonante del sistema. Cualquiera o más de estas condiciones pueden dar como resultado la necesidad de reiniciar uno o más de los pasos del proceso de las Figuras 6A y/o 6B periódicamente durante la sesión de recarga en cualquiera de las formas analizadas anteriormente.

Cuando se vuelve a sintonizar durante la recarga, puede ser deseable utilizar una versión abreviada de cualquiera de los métodos de las Figuras 6A o 6B. Por ejemplo, en el caso de la Figura 6A, puede ser deseable reducir de alguna manera el ciclo de trabajo actual y volver a ejecutar solo los pasos 212-216 para llegar a una frecuencia ajustada en lugar de realizar todo el método. Alternativamente, puede ser deseable reducir el ciclo de trabajo y volver a ejecutar solo los pasos 202 - 206. En cualquier caso, una vez que se ha vuelto a determinar la frecuencia resonante, puede ser deseable regresar el ciclo de trabajo al valor de sintonización previa grande, sensibilizando así al sistema para que no esté sintonizado, como se analizó anteriormente.

En otra realización más, se puede completar una búsqueda rápida para resintonizar la frecuencia usando los pasos del método de la Figura 6B, que es particularmente eficiente si la frecuencia $f(\text{exterior})$ y el valor de la frecuencia incremental se han calibrado correctamente. Muchas combinaciones son posibles dentro del alcance de la divulgación.

Lo anterior analiza enfoques para sintonizar la frecuencia de modo que la recarga se pueda realizar de manera eficiente. Esta sintonización generalmente se realiza mientras la antena 78 está estacionaria con respecto a la bobina secundaria 56. De hecho, puede ser deseable que la antena 78 se coloque en la ubicación óptima para realizar la recarga antes de que se inicie la búsqueda de frecuencia. La ubicación óptima puede ser aquella ubicación que dará como resultado que se suministre la mayor corriente a la fuente de alimentación recargable 50 a un nivel de potencia dado. El siguiente análisis considera varios enfoques para realizar esta ubicación de antena, como puede ser deseable antes de iniciar la búsqueda de frecuencia.

Una forma de determinar la ubicación óptima de la antena implica usar el módulo de telemetría 59 del IMD 2 para comunicar datos al circuito de carga 70 y/o un dispositivo externo asociado (por ejemplo, el dispositivo externo 100). Dichos datos pueden ser indicativos de la calidad del acoplamiento entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56, en donde la calidad del acoplamiento implica la cantidad de flujo magnético que acopla la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56. Los ejemplos de datos que indican la calidad del acoplamiento incluyen corriente dentro de la bobina secundaria 56, una tensión a través de la bobina secundaria, una corriente que se entrega a la fuente de alimentación recargable 50, una tensión asociada con la fuente de alimentación recargable 50, una cantidad de flujo magnético que acopla la bobina secundaria 56 y así sucesivamente. Por ejemplo, a medida que aumenta la calidad del acoplamiento, la corriente que se entrega a la fuente de alimentación recargable 50 generalmente también aumentará. Por lo tanto, tal información puede ser transmitida por el módulo de telemetría 59 al módulo de telemetría 86 del circuito de carga 70 y/o al circuito de comunicación 69 (Figura 2) y luego utilizada para proporcionar retroalimentación a un usuario. Dicha retroalimentación puede proporcionarse a través de la interfaz de usuario 108 del dispositivo externo 100 y/o una interfaz de usuario del módulo de circuito 110 (Figura 3).

En una realización, las señales indicativas de la calidad del acoplamiento se traducen en datos que el usuario puede interpretar fácilmente para determinar si y/o cómo mover la antena 78 para lograr un mejor acoplamiento. Por ejemplo, la amplitud de la corriente que fluye hacia la fuente de alimentación recargable 50 puede comunicarse al circuito de carga 70 y traducirse en una o más indicaciones de barra en una interfaz de usuario asociada con el circuito de carga 70 o el dispositivo externo 100. Tal indicación de barra puede ser similar a las pantallas que indican la calidad de recepción de un teléfono celular. El usuario puede continuar recolocando la antena 78 hasta que se visualice el número máximo de "barras". Otras indicaciones pueden ser un número que aumenta a medida que

aumenta la calidad del acoplamiento, un color que indica la calidad del acoplamiento (rojo, amarillo o verde), una indicación audible que puede proporcionar señales verbales ("te estás acercando") o un tono cambiante correspondiente a la calidad del acoplamiento (por ejemplo, aumentando o disminuyendo el tono a medida que mejora el acoplamiento) y/o una indicación táctil tal como una vibración que cambia de frecuencia a medida que el usuario se acerca a la ubicación óptima de la antena.

Aún en algunas otras realizaciones, la retroalimentación puede proporcionarse a través de una interfaz de usuario para identificar una dirección de movimiento sugerida que puede mejorar el acoplamiento. Por ejemplo, la antena puede transportar un sensor tal como uno o más acelerómetros o giroscopios y usarlo para determinar una tendencia actual en el movimiento de la antena. Ese movimiento puede correlacionarse con una tendencia en el cambio en la calidad del acoplamiento y usarse para sugerir una dirección de movimiento nueva o continua. Una vez que el usuario ha llegado a una ubicación óptima para la recarga, el sistema puede proporcionar información para indicar que la antena 78 debe mantenerse ahora en la posición actual.

Adicional o alternativamente, se puede proporcionar información relativa a la velocidad del movimiento de la antena. Por ejemplo, cuando se determina que se está aproximando a la ubicación óptima para la ubicación de la antena, se puede recomendar al usuario que disminuya la velocidad de movimiento de la antena para que el usuario no sobrepase la ubicación óptima.

Hay muchas opciones disponibles para comunicar comentarios a un usuario, y los ejemplos anteriores son simplemente varias técnicas posibles que pueden permitir que un usuario coloque la antena 78 para lograr al menos un acoplamiento adecuado entre las bobinas primaria y secundaria. En cualquier caso, se puede emplear la interfaz de usuario 108 del dispositivo externo 100, una interfaz de usuario del módulo de circuito 110, otra interfaz de usuario o alguna combinación de las mismas para proporcionar información al usuario.

El enfoque descrito anteriormente para ubicar la bobina primaria 76 con respecto a la bobina secundaria 56 depende de la capacidad de transferir datos desde el IMD 2 a un dispositivo externo tal como el circuito de carga 70 y/o el dispositivo externo 100. Esto, a su vez, depende de que la fuente de alimentación recargable 50 tenga un suministro de potencia adecuado para que el módulo de telemetría 59 esté operativo.

En un ejemplo, la fuente de alimentación recargable 50 es una batería denominada de "cero voltios" capaz de descargarse a 0, o sustancialmente cerca de 0, voltios sin impactar negativamente en la fuente de alimentación. En este tipo de realización, es posible que la fuente de alimentación recargable 50 se haya agotado, de modo que el módulo de telemetría 59 no esté operativo para proporcionar información que pueda ser utilizada por un usuario para colocar la bobina primaria 76 en relación con la bobina secundaria 56. En este caso, se necesita algún otro mecanismo para este propósito.

De acuerdo con un aspecto, el mecanismo de sintonización de frecuencia descrito anteriormente puede usarse para ubicar una ubicación óptima, o al menos adecuada, para la antena 78 cuando no se puede establecer la comunicación entre el módulo de telemetría 59 del IMD 2 y un dispositivo externo. En este ejemplo, algunos o todos los pasos del proceso de las Figuras 6A o 6B puede ejecutarse cuando un usuario mueve la antena cerca de la bobina secundaria 56. El cambio de ubicación dará como resultado un cambio correspondiente en la frecuencia resonante determinada del sistema. Una ubicación óptima producirá la mayor frecuencia resonante.

Para utilizar un mecanismo de sintonización de frecuencia para localizar un dispositivo que no responde, los pasos de las Figuras 6A o 6B, o algún subconjunto de los mismos, debe completarse lo suficientemente rápido para que se pueda establecer una correlación significativa entre una frecuencia resonante del sistema notificada actualmente y la ubicación actual de la antena 78. Por lo tanto, cuando el mecanismo de sintonización se utiliza con fines de ubicación, puede ser deseable optimizar en alguna medida el proceso de las Figuras 6A o 6B. Por ejemplo, puede ser deseable utilizar diferentes puntos de partida y valores de incremento durante el proceso de ubicación que los que se utilizan para la sintonización de la frecuencia de recarga. Estos valores alternativos pueden proporcionar una determinación de frecuencia "suficientemente buena" con relativa rapidez (por ejemplo, sustancialmente en tiempo real) de modo que se pueda proporcionar una indicación de frecuencia fiable a medida que cambia la ubicación de la antena 78.

Como ejemplo específico, el proceso de la Figura 6A puede utilizar un ciclo de trabajo más grande (por ejemplo, del 20 % para un solo par de interruptores) en el paso 200 que el que se usaría de otro modo durante la sintonización para recarga. Además, los incrementos empleados en los pasos 202 y 204 para aumentar y disminuir la frecuencia para ubicar la frecuencia de extremo alto y bajo, $f(\text{alta})$ y $f(\text{baja})$, respectivamente, pueden ser mayores que los que se emplearían de otro modo en el contexto de sintonización de recarga. Además, la frecuencia promedio $f(\text{prom})$ determinada en el paso 206 puede considerarse un sustituto "suficientemente bueno" para su uso en el proceso de ubicación, de modo que los pasos restantes de la Figura 6A se omiten. En tal realización, el proceso puede repetirse continuamente los pasos 200-206, informando al usuario la $f(\text{prom})$ determinada a medida que la antena 78 se reubica. Esto puede permitir una respuesta casi en tiempo real al movimiento.

Como otro ejemplo, los pasos 200-206 de la Figura 6A puede omitirse, empleando un valor guardado para $f(\text{prom})$ como punto de partida, mientras se repite el procesamiento de los pasos 208-214.

En una realización, al usuario se le pueden proporcionar datos indicativos de los valores de $f(\text{final})$ a medida que se mueve la antena, siendo la ubicación que produce el mayor valor de frecuencia resonante la ubicación asociada con el acoplamiento óptimo entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria. Esta retroalimentación puede proporcionarse sustancialmente en tiempo real en una realización. Tal retroalimentación puede ser generada por el circuito de control 88 y/o el circuito de control 71 en base a la información asociada con un valor de frecuencia resonante, y puede proporcionarse a través de la interfaz de usuario 108 y/o una interfaz de usuario similar del módulo de recarga 110 en un ejemplo.

Otro ejemplo puede simplemente utilizar un valor almacenado para $f(\text{final})$ como punto de partida para el método del localizador de frecuencia. En este caso, se supone que $f(\text{final})$ se determinó previamente para este circuito de carga 70 y para el paciente 4 durante una sesión de recarga cuando el IMD 2 pudo haber tenido la capacidad de comunicarse con el dispositivo de carga y/o el dispositivo externo 100. La comunicación puede permitir que se determine una ubicación de recarga óptima a través de métricas que indican la calidad del acoplamiento entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56, tal como la amplitud de la corriente de carga que se suministra a la fuente de alimentación recargable 50, una corriente o tensión en o a través de la bobina secundaria 56, una corriente o tensión en algún otro lugar dentro de un circuito del IMD 2, y así sucesivamente. Dado que la frecuencia $f(\text{final})$ se estableció previamente usando una ubicación que se sabe que es sustancialmente óptima, esta frecuencia ahora se puede usar para reubicar esa posición óptima. Es decir, el circuito de puente en H 148 puede accionarse con la frecuencia previamente registrada para $f(\text{final})$. Entonces, la antena 78 puede moverse cerca de la bobina secundaria 56. Durante este movimiento, el circuito de detección de borde 160 y el circuito de control 88 pueden monitorear la existencia y el tamaño de los impulsos stub en la señal del tanque monitoreada. La ubicación óptima puede ser la posición que no dé como resultado ningún impulso stub a esta frecuencia de accionamiento, según lo identificado por el circuito de control 88. En otra realización, el circuito de control 71 puede proporcionar esta función de ubicación. El procesamiento requerido para completar esta determinación se puede realizar muy rápidamente, de modo que la retroalimentación se proporcione casi en tiempo real.

En una realización, al usuario se le puede proporcionar una retroalimentación basada en si los impulsos stub se están ampliando o estrechando. Por ejemplo, si el movimiento de la corriente hace que los impulsos se amplíen, se puede proporcionar una retroalimentación que indique que la dirección del movimiento debe invertirse. De manera similar, si los impulsos se están estrechando, se puede proporcionar alguna indicación de que el usuario está "orientándose" hacia la ubicación óptima. Son posibles muchos mecanismos y tipos de retroalimentación, como se analizó anteriormente. Esta retroalimentación puede proporcionarse sustancialmente en tiempo real en un ejemplo de manera que la retroalimentación tenga una correlación significativa con una posición actual de la antena 78. La retroalimentación puede ser generada por el circuito de control 88 y/o el circuito de control 71, que puede proporcionar una indicación basada en los impulsos stub que se pueden comunicar a un usuario a través de una interfaz de usuario, tal como la interfaz de usuario 108 del dispositivo externo 100 o una interfaz de usuario similar del módulo de recarga 110.

En aún otra variación del enfoque anterior, se puede realizar un barrido de frecuencia simple en donde la frecuencia de accionamiento para el puente en H varía continuamente alrededor de una frecuencia de "punto medio" seleccionada. Esta frecuencia de punto medio seleccionada es preferiblemente una que está asociada con la resonancia del sistema cargado. Por ejemplo, la frecuencia del punto medio puede ser una frecuencia $f(\text{final})$ previamente determinada que se determina de cualquiera de las formas analizadas anteriormente, o puede ser una frecuencia resonante propia conocida del circuito de carga 70 y la antena 78 cuando la antena no está cargada. Como alternativa, se pueden usar otras frecuencias de punto medio seleccionadas. En cualquier caso, la frecuencia de accionamiento del puente en H puede variarse sistemáticamente alrededor de esta frecuencia de punto medio, comenzando por debajo y terminando por encima (o viceversa) de ese punto medio. Mientras se produce la variación de frecuencia, el circuito de control 88 puede estar monitoreando los impulsos stub. El circuito de control 88 y/o el circuito de control 71 pueden identificar la ubicación en la que se produce la frecuencia de accionamiento más alta sin generación de impulsos stub como la ubicación de recarga óptima y esta información puede transmitirse al usuario empleando retroalimentación de cualquiera de los tipos descritos anteriormente.

Otro ejemplo más puede realizar continuamente un barrido desde un lado de la región sintonizada al otro de la manera descrita con respecto a la Figura 6B. Si los deltas de frecuencia o período se seleccionan adecuadamente según lo determinado durante un proceso de calibración, se puede completar un barrido muy rápidamente de modo que se pueda proporcionar retroalimentación en cuanto a la frecuencia resonante sustancialmente en tiempo real. Como se ha expuesto con respecto a una realización particular, un barrido puede requerir sólo alrededor de una décima de segundo para completarse. Por lo tanto, si la velocidad del barrido se selecciona en consecuencia, el tiempo de respuesta del sistema es más que adecuado para permitir que se identifique una ubicación óptima o casi óptima.

En una realización, durante un proceso de ubicación de barrido de frecuencia, la frecuencia resonante del sistema puede monitorearse hasta que esté "lo suficientemente cerca" de la frecuencia resonante conocida del sistema en la

ubicación óptima de la antena (por ejemplo, $f(\text{final})$). Es decir, el usuario no necesita continuar ajustando la ubicación de la antena hasta que se logre realmente $f(\text{final})$. En cambio, el usuario solo necesita encontrar una ubicación que se sepa que corresponde al menos a un nivel mínimo aceptable de acoplamiento entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56 (como lo indicará alguna frecuencia previamente asociada con este nivel de acoplamiento "suficientemente bueno"). Esto puede minimizar la frustración del usuario así como el tiempo empleado en recolocar la antena 78 hasta que se logre realmente la ubicación asociada con $f(\text{final})$.

En algunas realizaciones, las indicaciones de "puntos de referencia" pueden usarse como punto de partida para colocar la antena 78 cerca de la ubicación que se sabe que es óptima para la recarga. Tales indicaciones de puntos de referencia pueden implicar indicadores visibles en el cuerpo del paciente, tales como cicatrices, irregularidades en la pigmentación de la piel u otros atributos físicos visibles. Según un aspecto, se pueden aplicar sobre la piel del paciente pequeños tatuajes apenas visibles, o quizás no visibles en absoluto, para marcar la posición de la antena 78 para una recarga óptima. Dichos puntos de referencia pueden ser detectados por uno o más sensores ópticos ubicados en o alrededor de la antena 78 y usados para recolocar la antena.

Como ejemplo de lo anterior, la ubicación de recarga óptima puede determinarse inicialmente mediante la retroalimentación disponible del IMD 2 a través de la comunicación de telemetría durante una sesión de recarga realizada cuando la fuente de alimentación recargable 50 no se ha agotado. Una vez que la antena 78 está colocada usando esta retroalimentación, la información de puntos de referencia para esta ubicación física (por ejemplo, el patrón de cualquier atributo físico existente) se puede recopilar (por ejemplo, utilizando sensores proporcionados en la antena 78). Esta información de puntos de referencia puede almacenarse en el dispositivo de almacenamiento 90 del circuito de carga 70 o en otro dispositivo de almacenamiento. Posteriormente, cuando la antena 78 se coloca cerca del IMD 2, se puede detectar un patrón de referencia para una ubicación actual de la antena 78 y compararlo con el patrón de referencia registrado asociado con la ubicación de recarga óptima. Pueden emplearse algoritmos de reconocimiento de patrones para proporcionar retroalimentación a un usuario sobre cómo mover la antena 78 para centrar la antena sobre el patrón de puntos de referencia apropiado. Esta guía se puede proporcionar sin establecer una comunicación de telemetría con el IMD 2. En una realización, después de seleccionar una ubicación aproximada basándose en indicadores visuales, la ubicación puede sintonizarse con precisión utilizando cualquiera de los otros mecanismos de ubicación descritos en este documento.

Aún hay otros mecanismos disponibles para realizar la ubicación de la antena, como puede describirse con referencia a la Figura 7. La Figura 7 es un diagrama de circuito similar al que se muestra en la Figura 4, con aquellos elementos que son similares a los mostrados en la Figura 4 que se etiquetan con indicadores numéricos similares. A diferencia de la realización de la Figura 4, el circuito de la Figura 7 incluye un detector de corriente 230 para detectar la corriente a través del circuito tanque 165 midiendo la tensión a través de la resistencia 231. En una realización, el detector de corriente 230 detecta el nivel de corriente pico a través del circuito tanque, pero el detector de corriente 230 puede medir un nivel de corriente diferente en otras realizaciones (por ejemplo, valor de corriente de raíz cuadrada media (RMS), etc.). El nivel se proporciona al circuito de control 88.

La Figura 7 también comprende un detector de tensión 232. Este detector de tensión puede monitorear el nivel de tensión proporcionado por el circuito de conversión de potencia 74 en el nodo 154. Este nivel de tensión es ajustable en base a la señal 234 proporcionada por el circuito de control 88.

De acuerdo con una realización de la antena de ubicación 78, el circuito de puente en H 148 se acciona con un ciclo de trabajo y una frecuencia predeterminados. La frecuencia seleccionada para este propósito puede ser un valor predeterminado de $f(\text{final})$, una frecuencia resonante propia del sistema o alguna otra frecuencia. A continuación, la antena 78 se barre cerca del IMD 2. A medida que la antena se acerca a la ubicación óptima para realizar la recarga, que es la ubicación en donde el acoplamiento entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56 es mayor, la cantidad en la que la bobina secundaria 56 carga la bobina primaria 76 aumenta hasta un máximo. Esta carga aumenta la resistencia en serie de CA de la bobina primaria 76, aumentando la impedancia general del circuito tanque. Dado que la tensión RMS en el nodo 154 es un producto de la impedancia del circuito tanque y la corriente RMS a través del circuito tanque, y asumiendo que la tensión en el nodo 154 no cambia, la corriente en el circuito tanque será mínima donde la calidad de acoplamiento de recarga es máxima. Por lo tanto, el circuito de control 88 puede monitorear el nivel de corriente del circuito tanque a través del detector de corriente 230 para este nivel mínimo de corriente en el circuito tanque para determinar una ubicación óptima de la antena para la recarga.

Usando el enfoque anterior basado en la corriente para ubicar una antena, la potencia proporcionada a la bobina primaria 76 estará en un nivel mínimo cuando se encuentre la ubicación de recarga óptima. Esto se debe a que la potencia proporcionada a la bobina primaria está directamente relacionada con la tensión RMS del circuito tanque (que es constante) y la corriente RMS en el circuito tanque (que es mínima en una ubicación de recarga óptima).

En vista de lo anterior, en lugar de monitorear la corriente para la ubicación en donde la corriente es mínima para determinar la ubicación óptima de la antena (es decir, un enfoque de ubicación basado en la corriente), puede ser deseable en algunos casos usar un enfoque basado en la tensión para localizar la antena 78 cuando no se puede establecer la telemetría con el IMD 2. Usando tal enfoque, el nivel de potencia en la bobina primaria 76 estará en un máximo (en lugar de un mínimo) cuando la antena se localice de manera óptima de la siguiente manera.

De acuerdo con un aspecto de un enfoque de ubicación basado en la tensión, el circuito de control 88 puede accionar el circuito tanque 165 a una frecuencia y un ciclo de trabajo predeterminados para lograr un nivel de corriente predeterminado a través del circuito tanque 165. Esta frecuencia, ciclo de trabajo y nivel de corriente predeterminados se pueden establecer durante un proceso de calibración, si se desea, como se analizará a continuación. Luego, cuando la antena 78 se recoloca con respecto a la ubicación general del IMD 2, el circuito de control 88 ajusta la tensión que entrega el circuito de conversión de potencia 74 para mantener este nivel de corriente predeterminado en el circuito tanque 165. Como resultado de este ajuste de tensión, la tensión aumentará progresivamente a medida que la antena 78 se mueva más cerca de la ubicación óptima para realizar la recarga, ya que en esta ubicación óptima también aumentará la carga. La tensión máxima se obtendrá en la ubicación óptima de recarga, según lo determine el circuito de control 88. Usando este enfoque de ubicación basado en la tensión, se transferirá un nivel máximo de potencia a la bobina primaria 76 cuando la antena 78 se coloca en la ubicación de recarga óptima. Esto se opone a un nivel mínimo de potencia que se transferirá cuando se emplee un enfoque basado en la corriente.

En una realización alternativa, durante un proceso de ubicación basado en la tensión, la tensión en el nodo 154 solo necesita alcanzar una tensión "suficientemente buena" antes de que la ubicación se considere adecuada para iniciar la recarga. En otras palabras, en lugar de obligar al usuario a encontrar el mejor lugar que resulte en el nivel de tensión máximo absoluto posible, el usuario solo necesita encontrar una ubicación que produzca una tensión aceptable que se sabe que corresponde a un nivel de potencia aceptable en la bobina primaria 76. Esto puede minimizar la frustración del usuario así como el tiempo empleado en recolocar la antena 78.

Como se describió anteriormente, los valores utilizados durante un método de ubicación basado en la tensión pueden calibrarse para un escenario de implante determinado. Dicha calibración se puede realizar durante una sesión de recarga en donde se puede establecer una comunicación de telemetría con el IMD 2. Como ejemplo, se puede determinar una posición de recarga óptima encontrando la ubicación en la que se puede obtener un nivel óptimo de acoplamiento entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56. En tal ubicación, sustancialmente la corriente máxima puede ser entregada a la fuente de alimentación recargable 50, según lo informado por la comunicación de telemetría. Se pueden usar otras métricas además de, o en lugar de, la corriente para encontrar esta ubicación óptima en la que el acoplamiento entre las bobinas también es óptimo, como se analizó anteriormente.

Una vez que se determina esta ubicación óptima cuando se puede establecer la comunicación de telemetría con el IMD 2, el circuito de control 88 puede sintonizar la frecuencia a la que se acciona el circuito de puente en H 148 como se explicó anteriormente. A continuación, el circuito de control 88 puede ajustar el nivel de potencia entregado al circuito tanque 165 de modo que se suministre sustancialmente una corriente de recarga predeterminada a la fuente de alimentación recargable 50. Este nivel de potencia se puede ajustar cambiando el ciclo de trabajo de la señal de accionamiento y/o la tensión que se entrega al nodo 154. El nivel de potencia necesario para obtener una corriente de recarga predeterminada variará en base a la profundidad y orientación del implante, el tipo de cuerpo, etc. La frecuencia de accionamiento sintonizada, el ciclo de trabajo final, el nivel de corriente a través del circuito tanque 165 y la tensión en el nodo 154 pueden registrarse como datos de calibración para las técnicas de ubicación de la antena.

Aún otros datos de calibración pueden incluir una tensión mínima aceptable que es indicativa de una posición de antena "suficientemente cerca". En tal ubicación, el nivel mínimo aceptable de acoplamiento puede existir entre la bobina primaria 76 y la bobina secundaria 56 para obtener un flujo de corriente razonable en la fuente de alimentación recargable 50. Esta ubicación "suficientemente cercana" se puede determinar, por ejemplo, alejando la antena 78 de la ubicación óptima conocida a una ubicación en donde la corriente que fluye hacia la fuente de alimentación recargable 50 cae a algún nivel considerado como el nivel mínimo necesario para mantener una sesión de recarga. Por ejemplo, esta puede ser la ubicación en donde la corriente que fluye hacia la fuente de alimentación recargable 50 cae al 30 % del nivel máximo. La tensión en el nodo 154 puede ajustarse para obtener el valor de corriente a través del circuito tanque 165 que se registró cuando la antena 78 estaba en la ubicación óptima de recarga. Este nivel de tensión ajustado puede registrarse como el nivel correspondiente al nivel mínimo aceptable de acoplamiento entre las bobinas primaria y secundaria que proporcionará al menos un flujo adecuado de corriente a la fuente de alimentación recargable 50. Cuando se obtiene al menos este nivel de tensión durante un proceso de ubicación de la antena, se puede determinar que la posición de la antena está "suficientemente cerca" de la posición óptima para iniciar la recarga.

Los datos de calibración anteriores y otros pueden registrarse durante una sesión de recarga cuando se dispone de información de telemetría. Estos datos están entonces disponibles para su uso en la ubicación de la antena 78 cuando la telemetría no está disponible para ayudar en este proceso. El uso de los datos de calibración hace que el proceso sea más preciso y eficiente, ya que los niveles dentro del circuito tanque 165 se sintonizarán a un escenario de implante de un paciente particular.

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método de colocación de la antena 78 alterando la frecuencia de accionamiento del recargador. En un ejemplo, la calibración se puede realizar cuando se establece la comunicación

con el IMD 2 para determinar la frecuencia resonante del sistema que se logrará en la ubicación de recarga óptima (248).

La recarga puede iniciarse a una frecuencia de accionamiento, un ciclo de trabajo y una tensión (250) predeterminados. En un ejemplo, la frecuencia de accionamiento predeterminada puede ser la frecuencia determinada en el paso 248.

La antena 78 (y por lo tanto la bobina primaria 76) puede colocarse en relación con el IMD 2 (252). Dicha colocación puede involucrar el movimiento de la antena en un movimiento de barrido relativamente lento sobre un área cercana al IMD 2. Mientras la antena se recoloca de esta manera, se puede determinar una frecuencia resonante para una ubicación actual de la antena en un ejemplo o se puede identificar la aparición de impulsos stub en otro ejemplo (256). En el primer ejemplo, la frecuencia resonante se puede determinar usando cualquiera de los mecanismos analizados anteriormente, incluyendo el uso de todos o algunos subconjuntos de los pasos analizados con respecto a la Figura 6A y/o la Figura 6B. De acuerdo con un enfoque simple para determinar la frecuencia, en cada ubicación, la frecuencia se ajusta de forma incremental alrededor de una frecuencia de punto medio seleccionada para determinar una frecuencia en donde el circuito de detección de borde 160 no detecta impulsos stub. Esto aproximará la frecuencia resonante para esta ubicación. La frecuencia resonante se acercará más a la registrada en el paso de calibración 248 a medida que la antena se mueva más cerca de la ubicación óptima.

Alternativamente, si el proceso de ubicación se inició a una frecuencia resonante del sistema conocida que se determinó durante el paso de calibración 248 como la frecuencia resonante en la ubicación de recarga óptima, el paso 256 puede implicar determinar si los impulsos stub han desaparecido en esta ubicación. Los impulsos stub se volverán más estrechos y finalmente desaparecerán por completo, a medida que se acerque a la ubicación óptima.

En cualquier caso, se puede proporcionar información al usuario (258). Se puede proporcionar retroalimentación en base a la frecuencia resonante que se determina para cada ubicación y/o el ancho y/o la ocurrencia de impulsos stub en una ubicación dada. Esta realimentación puede indicar cómo cambia la calidad del acoplamiento de recarga a medida que se mueve la antena 78. La retroalimentación puede sugerir una dirección en la que, o una velocidad a la que, el usuario puede mover la antena 78 para mejorar la calidad del acoplamiento de recarga.

En un ejemplo, puede ocurrir una determinación de frecuencias resonantes y/o identificación de impulsos stub en tiempo real o casi en tiempo real para que se pueda proporcionar retroalimentación mientras la antena 78 todavía está ubicada sobre una posición correspondiente a esa frecuencia. Hay muchos mecanismos disponibles para proporcionar esta retroalimentación, como se analizó anteriormente.

El proceso puede continuar hasta que se alcance una ubicación que proporcione un acoplamiento de recarga óptimo, o al menos adecuado (260). Por ejemplo, esta ubicación puede ser una en donde la frecuencia resonante en esta ubicación esté dentro de un porcentaje predeterminado de la frecuencia resonante que se produce cuando la antena 78 está en la posición óptima para la recarga (por ejemplo, f_{final}). Cuando la frecuencia está dentro de este rango, la calidad del acoplamiento es al menos adecuada. En un ejemplo, un "acoplamiento de recarga adecuado" puede definirse como un acoplamiento que da como resultado un flujo magnético suficiente para acoplar las bobinas primaria y secundaria de modo que al menos algún nivel de potencia mínimo esté disponible para recargar la fuente de potencia recargable 50. Esto puede determinarse midiendo la corriente o la tensión proporcionadas a la fuente de alimentación recargable 50.

Cuando se ha cumplido que una frecuencia cumple con los criterios predeterminados, el proceso de ubicación puede considerarse completo (262). De lo contrario, el procesamiento puede volver al paso 252, en donde continúa la recolocación de la antena 78 y se vuelve a determinar la frecuencia resonante. En una realización, si no se encuentra ninguna ubicación que produzca una frecuencia resonante que cumpla los criterios del paso 258 dentro de un período de tiempo predeterminado, se puede proporcionar alguna intervención. Esto se analiza adicionalmente con respecto a la Figura 11 a continuación.

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método de colocación de la antena 78 alterando la tensión del cargador. En este escenario, se puede realizar un paso de calibración cuando la comunicación de telemetría está disponible para determinar una ubicación de recarga óptima. Este paso de calibración puede determinar una señal de accionamiento del puente en H (por ejemplo, que incluye el ciclo de trabajo y la frecuencia) a la que se acciona el circuito de puente en H y/o la tensión que se suministrará al puente en H para lograr el nivel deseado de corriente de recarga que se suministra a la fuente de alimentación recargable 50. Cuando se obtiene este nivel deseado de corriente de recarga dentro del IMD 2, se puede registrar la corriente en el circuito tanque 165, junto con el ciclo de trabajo y la frecuencia de la señal de accionamiento del puente en H. La tensión en el nodo 154 también se puede registrar en la ubicación óptima y/o en una o más ubicaciones (por ejemplo, en ubicaciones en donde la corriente hacia la fuente de alimentación recargable 50 ha caído a algún nivel predeterminado), si se desea. Estos datos de calibración proporcionarán el nivel de corriente, el ciclo de trabajo y la frecuencia predeterminados que se mantendrán constantes durante el proceso de ubicación basado en la tensión (268).

A continuación, la recarga puede iniciarse a la frecuencia de accionamiento y el ciclo de trabajo predeterminados, ajustando la tensión del circuito de puente en H para obtener el nivel de corriente predeterminado en el circuito tanque, según lo determinado por los datos de calibración (270). La antena se puede colocar (o recolocar) en relación con el IMD 2 (274). La corriente en el circuito tanque 165 puede haber cambiado debido al movimiento de la antena. Por lo tanto, el circuito de control 88 puede ajustar la tensión en el nodo 154 para mantener una corriente sustancialmente constante en el circuito tanque 165, que en una realización es el nivel de corriente registrado durante el paso de calibración (276). Durante el proceso de recolocación, se puede proporcionar retroalimentación basada en la tensión que se determina para cada ubicación. Esta retroalimentación puede indicar cómo cambia la calidad del acoplamiento de recarga a medida que se mueve la antena 78 (278). En un ejemplo, la tensión se puede determinar en tiempo real o casi en tiempo real, de modo que se proporcione retroalimentación mientras la antena 78 se ubica sobre una posición correspondiente. Se recuerda que la tensión aumentará a medida que se acerque a la ubicación óptima de recarga, ya que la carga aumenta al máximo en la posición óptima.

En una realización, la retroalimentación puede sugerir una dirección en la cual, o una velocidad a la cual, el usuario puede mover la antena 78 para mejorar la calidad del acoplamiento de recarga. Hay muchos mecanismos disponibles para proporcionar esta retroalimentación, como se analizó anteriormente.

La tensión puede monitorearse para determinar cuándo se ha alcanzado una ubicación que proporcionará al menos un acoplamiento de recarga adecuado (280). En una realización, esta ubicación puede ser una en donde la tensión esté por encima de una tensión aceptable mínima predeterminada que se sabe que está presente cuando la antena 78 está ubicada dentro de una proximidad "suficientemente buena" de la bobina secundaria 56 para realizar una recarga adecuada. En otro ejemplo, esta ubicación puede ser una en donde la tensión esté dentro de algún porcentaje predeterminado de la tensión máxima conocida que ocurriría en la ubicación de recarga óptima. Como se describió anteriormente, tanto la tensión mínima aceptable como la tensión máxima pueden registrarse durante la calibración.

Cuando se ha alcanzado una tensión que cumple los criterios predeterminados (por ejemplo, la tensión está dentro de un porcentaje predeterminado de la tensión máxima), el proceso de ubicación puede considerarse completo (282). De lo contrario, el procesamiento puede volver al paso 272, en donde continúa la recolocación de la antena 78 (como puede basarse en la retroalimentación proporcionada) y se vuelve a determinar la tensión. En una realización, si no se encuentra ninguna ubicación que produzca una tensión que cumpla con los criterios del paso 278 dentro de un período de tiempo predeterminado, se puede proporcionar alguna intervención. Esto se analiza adicionalmente con respecto a la Figura 10 a continuación.

Las técnicas anteriores basadas en la tensión proporcionan ejemplos de un sistema para encontrar una o más ubicaciones en las que se puede colocar una bobina primaria de un dispositivo de carga con respecto a una bobina secundaria de un dispositivo médico implantable para lograr al menos un nivel mínimo de acoplamiento entre la bobina primaria y la bobina secundaria. Ese nivel mínimo de acoplamiento proporcionará al menos una recarga adecuada de la fuente de alimentación recargable 50. Como se describió anteriormente, este sistema puede incluir un circuito tanque que comprende la bobina primaria. Un circuito de control está configurado para monitorear una primera señal asociada con el circuito tanque mientras cambia la ubicación de la bobina primaria, y además para ajustar automáticamente una segunda señal asociada con el circuito tanque para mantener la primera señal a un nivel sustancialmente constante mientras la ubicación de la bobina primaria está cambiando. La retroalimentación se proporciona a un usuario en base a la segunda señal. El ajuste de la segunda señal puede aumentar el nivel de potencia suministrada al circuito tanque a medida que la bobina primaria se acerca a cualquiera de las una o más ubicaciones. En algunos ejemplos, la primera señal puede ser una corriente en la bobina primaria y la segunda señal puede ser una tensión a la que se acciona la bobina primaria. En un caso, la retroalimentación puede proporcionarse en tiempo real para que la retroalimentación tenga una correlación significativa con una posición actual de la antena 78.

Dichas técnicas de ubicación basadas en la tensión incluyen además un método para encontrar una o más ubicaciones en las que se puede colocar una bobina primaria 76 de un dispositivo de carga con respecto a una bobina secundaria 56 de un dispositivo médico implantable 2 para lograr al menos un nivel mínimo de acoplamiento entre las bobinas primaria y secundaria. Este método puede comprender monitorear una primera señal (por ejemplo, una corriente) asociada con la bobina primaria del dispositivo de carga mientras la ubicación de la bobina primaria está cambiando con respecto al IMD. Una segunda señal (por ejemplo, una tensión) asociada con la bobina primaria puede ajustarse automáticamente para mantener la primera señal a un nivel sustancialmente constante mientras cambia la ubicación de la bobina primaria. El ajuste de la segunda señal puede aumentar el nivel de potencia suministrada al circuito tanque a medida que la bobina primaria se acerca a cualquiera de las una o más ubicaciones. Se pueden proporcionar comentarios de los usuarios en base a la segunda señal.

Otros ejemplos de estos enfoques incluyen un método para ubicar una bobina primaria 76 de un cargador externo en relación con una bobina secundaria 56 de un dispositivo médico implantable 2. De acuerdo con este método, un circuito tanque 165 de un recargador externo puede accionarse mientras se recoloca la bobina primaria 76 con respecto a la bobina secundaria 56. Una primera señal asociada con el circuito tanque 165 puede mantenerse a un nivel constante ajustando una segunda señal asociada con el circuito tanque mientras se recoloca la bobina

primaria. La segunda señal puede controlarse para determinar una posición de la bobina secundaria que logre al menos un acoplamiento adecuado entre la bobina primaria y la bobina secundaria.

Si se desea, los enfoques de ubicación basados en la frecuencia y en la tensión se pueden usar en tándem para encontrar una posición de la antena para la recarga. Por ejemplo, una vez que se obtiene una ubicación aproximada usando un método basado en la tensión como se analizó anteriormente, se puede usar un enfoque basado en la frecuencia para sintonizar con precisión la ubicación. Cualquiera de los métodos analizados anteriormente con respecto a la detección de impulsos stub puede usarse para este propósito. Por ejemplo, una vez que la antena 78 ha sido colocada en una ubicación aproximada, el circuito de puente en H 148 puede accionarse a una frecuencia previamente determinada de $f(\text{final})$ para confirmar que no aparecen impulsos stub dentro de la señal del tanque. Si aparecen impulsos stub, puede ser conveniente sintonizar con precisión la ubicación. Alternativamente, se puede usar un enfoque basado en la frecuencia para determinar una ubicación aproximada, y luego se puede usar un enfoque basado en la tensión para confirmar que efectivamente hay una tensión máxima presente en esa ubicación. La tensión máxima utilizada para este propósito puede haber sido previamente registrada como parte de los datos de calibración.

La descripción anterior proporciona varios ejemplos de ubicación de la bobina primaria 76 en una posición casi óptima, o al menos adecuada, para la recarga. Algunas de estas técnicas de ubicación pueden usarse cuando el IMD 2 no puede comunicarse con el circuito de carga 70 u otro dispositivo, como un dispositivo externo 100. Como se analizó previamente, una vez que la bobina primaria 76 ha sido ubicada en al menos una posición adecuada para realizar la recarga, la sintonización de frecuencia puede realizarse opcionalmente para determinar una frecuencia que sea óptima o casi óptima para realizar la recarga en esa ubicación. Entonces se puede iniciar la recarga.

Otro aspecto de esta divulgación se refiere no solo a la frecuencia de sintonización, como se puede realizar antes y/o durante la recarga, sino también a la sintonización de la potencia que se entrega a la bobina primaria 76 durante la recarga. El control de esta potencia puede ser necesario para controlar la disipación de calor por la antena 78 y el IMD 2 para que no se excedan los límites reglamentarios y las preferencias del paciente.

La cantidad de calor que se disipa dentro del IMD 2 y la antena 78 y, por tanto, la necesidad de limitar la potencia en la bobina primaria 76, puede determinarse de varias formas. Un método directo implica medir la temperatura del IMD 2 mediante uno o más sensores de temperatura 51 en el IMD. Por ejemplo, una temperatura del IMD 2 puede informarse mediante comunicación de telemetría al circuito de carga 70. Asimismo, el sensor de temperatura 95 puede usarse para determinar cuándo la temperatura de la antena 78 excede un máximo predeterminado. En cualquier caso, los límites de disipación de calor para el IMD 2 y/o la antena 78 pueden estar dictados por los requisitos reglamentarios, los límites del fabricante, las preferencias del paciente y/u otras consideraciones.

En cualquier caso, si una temperatura alcanza una temperatura máxima predeterminada (tal como 41 °C), el circuito de control 88 puede primero volver a sintonizar la frecuencia para garantizar que el sistema esté funcionando a una frecuencia resonante. El circuito de control 88 puede entonces reducir la potencia que se entrega al circuito tanque 165, lo que se puede lograr disminuyendo el ciclo de trabajo de la señal de accionamiento y/o la tensión del puente en H.

Si bien los sensores de temperatura (por ejemplo, los sensores 51 y 95) pueden proporcionar una forma de medir directamente la disipación de calor durante la recarga, es posible que los sensores de temperatura no estén disponibles en todos los sistemas. Por lo tanto, según otro aspecto, la disipación de calor en la antena 78 y el IMD 2 puede calcularse en lugar de medirse, como sigue.

Se sabe que de la potencia total que se suministra a la bobina primaria, denominada "Potencia_Primary", al menos parte de esta potencia, o "Potencia_Carga", se utilizará para recargar la fuente de alimentación 50 del IMD 2. Se perderá algo de potencia debido al calor que se disipa en la bobina primaria, denominada "Calor_Primary". El resto de la potencia se pierde como calor en el IMD 2, o "Calor_IMD". Por lo tanto, la cantidad de potencia perdida como calor en el IMD se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Calor_IMD} = \text{Potencia_Primaria} - \text{Calor_Primaria} - \text{Potencia_Carga} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Suponiendo que tanto la tensión como la corriente en la bobina primaria 76 son ondas sinusoidales, el valor de Potencia_Primary es el producto de la corriente RMS en la bobina primaria, la tensión RMS en la bobina primaria y el coseno de la diferencia de fase entre estas dos señales. La corriente RMS en la bobina primaria puede determinarse directamente dividiendo la corriente máxima en la bobina, que es medida por el detector de corriente 230, por la raíz cuadrada de dos. La tensión RMS a través de la bobina primaria es una función de la tensión en el nodo 154, como lo puede medir el detector de tensión 232, o puede ser simplemente un valor "conocido" basado en una configuración del circuito de conversión de potencia 74. La frecuencia y el ciclo de trabajo de la señal de accionamiento del puente en H son igualmente valores "conocidos" disponibles para el circuito de control 88, ya que el circuito de control 88 controla la señal de accionamiento. Finalmente, en un ejemplo, la tensión RMS en la bobina primaria se puede determinar de la siguiente manera:

$$V_{rms} = Tensión \sqrt{\frac{2W}{1/frec}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

En esta ecuación, "Tensión" es la tensión en el nodo 154 proporcionada por el circuito de conversión de potencia 74, "W" es el ancho de un impulso que acciona el interruptor 150 o 156 (por ejemplo, el ancho del impulso 187 en la Figura 5B), y "frec" es la frecuencia de accionamiento del puente en H (por ejemplo, la inversa del período "T" en la Figura 5B). Finalmente, en un ejemplo, se puede suponer que después de realizar la sintonización de la frecuencia, la diferencia de fase entre la corriente RMS y la tensión RMS es cero. Por lo tanto, usando estas relaciones, la potencia que se entrega a la bobina primaria 76 puede determinarse usando valores medidos y conocidos.

Mientras que en una realización, la potencia entregada a la bobina primaria 76 asume una relación en fase entre la corriente y la tensión del circuito tanque 165 de modo que la diferencia de fase es "cero", en otro ejemplo, la diferencia de fase puede medirse para conseguir más precisión. Esto se puede lograr comparando la temporización de una señal en el nodo 162 del circuito de puente en H, según lo determine el circuito de detección de borde 160, con un cruce por cero de la forma de onda de la corriente del tanque, según lo indicado por el detector de corriente 230. Para aumentar la precisión de esta determinación de diferencia de fase, se puede realizar una calibración para garantizar que el retardo impuesto por el circuito de detección de borde 160 sea sustancialmente el mismo que el retardo impuesto por el detector de corriente 230. Al determinar la diferencia de fase entre la corriente RMS y la tensión RMS del circuito tanque 165, la potencia entregada a la bobina primaria (Potencia_Primary) 76 puede determinarse con mayor precisión en los casos en donde la diferencia de fase es diferente de cero.

El valor de Calor_Primary es el producto del cuadrado de la corriente RMS en la bobina primaria (según lo determinado por el detector de corriente 230) y un valor constante del sistema conocido para la resistencia en serie de CA de la bobina primaria 76 a la frecuencia resonante nominal, que en este ejemplo es de 41 KHz (ausente de cualquier contribución de la carga debido al acoplamiento entre las bobinas primaria y secundaria). Esta resistencia en serie de CA es un valor constante que puede determinarse o calcularse empíricamente, por ejemplo. El circuito de control 88 de una realización asegura que Calor_Primary no exceda la preferencia del paciente y/o los límites regulatorios asegurando que la corriente RMS en la bobina primaria 76 no exceda algún valor máximo predeterminado.

La cantidad de potencia entregada para cargar la fuente de alimentación recargable 50 del IMD 2, o Potencia_Carga, puede determinarse como el producto de la tensión entregada a la fuente de alimentación recargable 50 y la corriente de recarga para esta fuente de alimentación, los cuales pueden medirse en una realización y proporcionarse a través del módulo de telemetría 56 al circuito de carga 70.

En vista de lo anterior, los valores de Potencia_Primary, Calor_Primary y Potencia_Carga pueden usarse para determinar la cantidad de potencia disipada como calor (Calor_IMD) en el IMD 2. En una realización, el circuito de control 88 puede luego ajustar la potencia entregada a la bobina primaria 76 (Potencia_Primary) en consecuencia como se analizó anteriormente, ajustando la tensión del puente en H y/o el ciclo de trabajo del circuito de accionamiento del puente en H para que la disipación de calor no exceda los requisitos reglamentarios y los niveles de comodidad del paciente.

Algunos o todos los pasos de procesamiento usados para determinar Calor_IMD pueden ser realizados por el circuito de control 88. En otra realización, algunos de todos los pasos de procesamiento pueden ser realizados por el circuito de control 71 del dispositivo externo 100. En particular, el dispositivo externo 100 puede ser un programador de pacientes que se comunica a través del circuito de telemetría 69 con el IMD 2 durante la recarga para recibir información de corriente y tensión para que se pueda calcular un valor para Potencia_Carga. El dispositivo externo 100 puede recibir además a través de la interfaz 84a información sobre la corriente en la bobina primaria 76. Tal información puede permitir que el circuito de control 71 del dispositivo externo determine el calor que se disipa en la bobina primaria 76, o Calor_Primary.

En una realización, en cualquier momento dado, el dispositivo externo 100 almacena un valor del nivel de potencia actual que se suministra a la bobina primaria 76, o Potencia_Primary. Como se analizó anteriormente, esto se puede determinar en base a los niveles de corriente y tensión en el circuito tanque 165 y la diferencia de fase entre estas dos señales. En base a los valores calculados de Potencia_Carga y Calor_Primary, así como el valor conocido de Potencia_Primary, se puede determinar el nivel de corriente de Calor_IMD. El dispositivo externo 100 puede entonces determinar si cualquiera de los valores de Calor_Primary o Calor_IMD ha excedido los límites aceptables. Si es así, el dispositivo externo 100 puede proporcionar una indicación al circuito de carga 70 para disminuir el nivel de potencia en la bobina primaria 76 en una cantidad determinada. El dispositivo externo 100 actualizará entonces el valor almacenado para Potencia_Primary. De esta manera, el dispositivo externo 100 puede controlar la potencia que se entrega a la bobina primaria 76.

En un ejemplo, Potencia_Primary se mantiene en un nivel tal que el límite de Calor_Primary y Calor_IMD está justo por debajo de los límites deseados. Esto permitirá que la recarga se complete lo más rápido posible. Por lo tanto, después de determinar los valores de Calor_Primary y Calor_IMD de cualquiera de las maneras mencionadas, y si

ambos están por debajo de los límites aceptables, puede ser deseable aumentar *Potencia_Primary* para que el límite de estos dos valores se incremente justo por debajo de los límites. Por tanto, el dispositivo externo 100 de un ejemplo puede proporcionar una indicación al circuito de carga 70 para aumentar la potencia en la bobina primaria en una cantidad determinada.

La realización anterior "descarga" algunos de los pasos de procesamiento del circuito de carga 70 al circuito de control 71 del dispositivo externo 100. En otra realización, los pasos de procesamiento podrían dividirse de una manera diferente. Por ejemplo, el circuito de carga 70 podría realizar todos o menos pasos de procesamiento. En algunas realizaciones, por ejemplo, el dispositivo externo 100 no es necesario para realizar el ajuste de potencia, de modo que todos los pasos los realiza el circuito de carga 70.

Cuando el circuito de carga 70 recibe una indicación de que se necesita un ajuste de potencia (por ejemplo, desde el dispositivo externo 100) o, alternativamente, determina que este ajuste es necesario, hay varias formas de ajustar la potencia en la bobina primaria 76. En particular, el circuito de carga 70 puede alterar la tensión en el nodo 154 y/o el ciclo de trabajo de la señal de accionamiento. En un ejemplo, *Potencia_Primary* es más sensible a un cambio en el ciclo de trabajo que a un cambio en la tensión. Así, cuando se necesita un cambio de potencia, el circuito de control 88 puede ajustar primero el ciclo de trabajo. En una realización, el ajuste estará limitado de modo que el ciclo de trabajo final esté dentro de los límites alto y bajo. En una realización, el impulso de un tren de impulsos que acciona cualquiera de los interruptores 150 y 156 debe estar entre 1000 ns y 6000 ns. Esto está entre aproximadamente 4 % y 26 % para el interruptor de accionamiento de señal 150 o 156, o el doble de estos valores si se tienen en cuenta ambos interruptores 150, 156. Como alternativa, se pueden usar otros límites de ciclo de trabajo, teniendo en cuenta que para uno solo de los interruptores 150 o 156, el ciclo de trabajo debe ser algo inferior al 50 % para tener en cuenta el período muerto. Si el grado de ajuste de potencia que se necesita no puede lograrse ajustando el ciclo de trabajo dentro de estos límites, el circuito de control puede ajustar aún más la tensión en el nodo 154.

En un ejemplo, después de que el circuito de carga 70 determina un nivel por el cual se puede ajustar la potencia, o alternativamente recibe el nivel de ajuste del dispositivo externo 100, el circuito de carga 70 utiliza los datos de sintonización 90b (Figura 2), que pueden comprender una o más tablas de consulta, para determinar cómo lograr este ajuste. En un ejemplo, la frecuencia actual de la señal de accionamiento y la cantidad de ajuste que se requiere pueden proporcionarse como entrada a la tabla de consulta para determinar una cantidad por la cual se altera el ciclo de trabajo y/o la tensión en el nodo 154. Tal realización puede suponer que la tensión y la corriente en la bobina primaria 76 están en fase entre sí. En otro caso, la información relativa a la diferencia de fase entre estas dos señales, como puede determinarse de la manera descrita anteriormente, puede proporcionarse como entrada adicional a la tabla de consulta. En otro ejemplo más, los datos de sintonización 90b pueden comprender ecuaciones en lugar de tablas de consulta para determinar los cambios necesarios en el ciclo de trabajo y/o la tensión del puente en H. Tales ecuaciones pueden basarse en el modelado del circuito de puente en H, por ejemplo.

En vista de lo anterior, se apreciará que después de que se haya completado la sintonización de frecuencia del circuito de puente en H para lograr una corriente y una tensión dentro de la bobina primaria 76 que estén sustancialmente en fase, el circuito de control 71 y/o el circuito de control 88 pueden, en ejemplos, seleccionar un ciclo de trabajo y/o nivel de tensión que limite la disipación de calor. Esta selección puede basarse en los datos de sintonización 90b, que pueden almacenarse dentro de los dispositivos de almacenamiento 90 del circuito de carga 70, dentro de los dispositivos de almacenamiento 73 del dispositivo externo 100 y/o dentro de algunos otros dispositivos de almacenamiento.

La sintonización de potencia en la bobina primaria 76 (*Potencia_Primary*) puede realizarse en varios intervalos de tiempo. En un ejemplo, la sintonización de potencia puede ocurrir siempre que ocurra la sintonización de frecuencia. En otro ejemplo, la sintonización de la potencia en la bobina primaria 76 se puede realizar con más frecuencia que la sintonización de la frecuencia. Por ejemplo, la resintonización de la frecuencia puede ocurrir solo después de que ocurra un evento desencadenante, como la aparición de impulsos stub dentro de una forma de onda del circuito tanque 148. Por el contrario, la resintonización de *Potencia_Primary* se puede realizar a intervalos de tiempo regulares durante la recarga, tal como una vez por minuto.

La Figura 10 es un diagrama de flujo de potencia de sintonización en la bobina primaria según un método de ejemplo. Primero, la recarga puede iniciarse a un nivel de potencia predeterminado (284). Este nivel de potencia puede ser un nivel de potencia inicial conocido para proporcionar al menos un nivel mínimo de corriente de recarga a la fuente de alimentación recargable 50 cuando se ha logrado algo diferente la colocación óptima para la antena 78.

Como se analizó anteriormente, el nivel de potencia en la bobina primaria 76 se puede controlar ajustando el ciclo de trabajo de la señal de accionamiento del puente en H y/o la tensión del circuito de puente en H. En un ejemplo, el nivel de potencia inicial puede estar asociado con un ciclo de trabajo y un nivel de tensión predeterminados. Es decir, se puede seleccionar un ciclo de trabajo inicial y un nivel de tensión para usar al iniciar la recarga después de que se haya completado la sintonización de frecuencia. Esto puede almacenarse como datos de calibración 90a (figura 2) si se desea, o registrarse de alguna otra manera.

A continuación, se puede determinar (285) el calor disipado por la bobina primaria. En un caso, esto se determina como el producto del cuadrado de la corriente RMS a través de la bobina primaria 76 y la resistencia de la bobina primaria 76. La corriente RMS se puede medir en una realización y la resistencia en serie de CA de la bobina es un valor conocido que depende del diseño de la bobina. En una realización, la resistencia en serie de CA de la bobina se puede determinar empíricamente o mediante técnicas conocidas de modelado de circuitos.

También se puede determinar (286) la potencia suministrada a la fuente de alimentación recargable del IMD 2. En una realización, esto se determina como el producto de la tensión de la fuente de alimentación recargable 50 y la corriente que se entrega a esta fuente de alimentación. Ambos valores pueden medirse mediante un circuito dentro del IMD 2 y proporcionarse mediante telemetría al circuito de carga 70 y/o al dispositivo externo 100.

A continuación, se puede determinar el calor disipado por el IMD (288). En un ejemplo, el calor se determina restando el calor disipado por la bobina primaria y la potencia entregada a la fuente de alimentación recargable como se determina en los pasos 285 y 286, respectivamente, a partir de la potencia entregada a la bobina primaria, que es un valor conocido.

A continuación, se determina si se necesita un ajuste de potencia basado en el calor disipado por la bobina primaria 76 (como se determina en el paso 285) o el calor disipado por el IMD 2 (determinado en el paso 289). Cierta cantidad máxima de disipación de calor puede, en un caso, estar asociada con cada bobina primaria e IMD 2 de tal manera que si la disipación de calor de la bobina primaria 76 o del IMD 2 excede la cantidad máxima asociada, la potencia entregada a la bobina primaria 76 se reduce. De lo contrario, si la disipación de calor tanto para el IMD 2 como para la bobina primaria 76 está por debajo de los límites, puede ser deseable aumentar el nivel de potencia para que la recarga se complete más rápidamente. Si no existe ninguna de estas condiciones, el nivel de potencia puede permanecer igual.

Si no se necesita un ajuste de potencia, la ejecución puede volver al paso 285 para que el proceso pueda repetirse. De lo contrario, se puede determinar (290) un nivel de potencia actualizado para su uso en el accionamiento de la bobina primaria 76. El nuevo nivel de potencia puede estar determinado por la cantidad que el límite de la disipación de calor del IMD o la disipación de calor de la antena está por encima o por debajo del valor objetivo. Es decir, la cantidad de ajuste puede ser proporcional a la distancia entre el valor de disipación de calor y el valor objetivo. En otra realización, la cantidad del ajuste puede ser una cantidad fija que se aplica independientemente de cuán lejos esté el valor de disipación de calor del valor objetivo. En cualquier caso, el nivel de potencia actualizado se puede guardar para determinar el calor disipado por el IMD 2 en el paso 288.

A continuación, la potencia puede ajustarse en la cantidad determinada. Como se analizó previamente, el ajuste al nivel de potencia se puede realizar ajustando el ciclo de trabajo del puente en H (292). En una realización, este ajuste se realiza dentro de límites permisibles predeterminados. Por ejemplo, el ciclo de trabajo para un par de interruptores no puede exceder aproximadamente el 26 %, aunque se pueden usar otros valores como alternativa. Además, puede ser deseable establecer un límite inferior, tal como alrededor del 4 %, para el ciclo de trabajo de un par de interruptores. Se puede seleccionar cualquier límite para este propósito siempre que el ciclo de trabajo para un par de interruptores sea inferior al 50 % en cierta cantidad necesaria para adaptarse al período muerto. En un ejemplo, se pueden usar una o más tablas de consulta para mapear el ajuste de potencia deseado a un ajuste de ciclo de trabajo. Esta determinación puede tener en cuenta el ciclo de trabajo actual y la frecuencia actual. En otro ejemplo, en lugar de tablas de consulta, pueden usarse ecuaciones basadas en un modelo de circuito para determinar una cantidad para alterar el ciclo de trabajo.

Si no se puede lograr todo el ajuste de potencia únicamente a través de un ajuste del ciclo de trabajo en el paso 292 (294), el nivel de tensión del circuito de puente en H se puede ajustar para llevar el nivel de potencia de la bobina primaria 76 al valor deseado (296). Nuevamente, la porción del ajuste de potencia que no se pudo lograr a través de la modificación del ciclo de trabajo puede asignarse a un ajuste de tensión usando una o más tablas de consulta. Alternativamente, las ecuaciones que modelan el circuito pueden usarse para este propósito. El procesamiento puede entonces volver al paso 285 para repetir el proceso.

Mientras que el enfoque anterior utiliza un ajuste del ciclo de trabajo como medio principal para controlar la potencia en la bobina primaria 76, en otro ejemplo, se puede realizar un ajuste de potencia ajustando primero la tensión del circuito de puente en H. Solo si esto no es suficiente, se ajustará el ciclo de trabajo. En otra realización, se pueden realizar ajustes tanto en el ciclo de trabajo como en la tensión para lograr un nivel dado de ajuste de potencia.

El ajuste de potencia en la bobina primaria 76 se puede realizar repetidamente durante una sesión de recarga, como se muestra en la Figura 10. Alternativamente, los pasos de la Figura 10 se puede realizar a intervalos regulares, tal como una vez por minuto. En otro ejemplo más, la ejecución del proceso se puede realizar tras la aparición de un evento desencadenante. Por ejemplo, cuando la comunicación de telemetría del IMD 2 indica que se ha producido un cambio significativo en la potencia que se entrega a la fuente de alimentación recargable 50, el proceso de la Figura 10 se puede realizar para ajustar la potencia a la bobina primaria 76.

Como se analizó previamente, los pasos de la Figura 10 puede ser realizado por el circuito de control 88, por el circuito de control 71 del dispositivo externo, o por alguna combinación de los mismos. En un ejemplo, la mayoría de los pasos de procesamiento pueden descargarse al dispositivo externo 100, que determina una cantidad de ajuste del nivel de potencia. Esta cantidad se puede comunicar luego al circuito de carga 70, que luego convierte el ajuste de potencia en un ciclo de trabajo y/o ajuste de tensión apropiado. En otra realización, todos los pasos pueden ser realizados por un dispositivo externo 100, que simplemente comunica el nivel de tensión objetivo y el ciclo de trabajo al circuito de control 88, que luego afecta los cambios. Estos pasos se pueden realizar utilizando circuitos de hardware, instrucciones programadas o cualquier combinación de los mismos.

La Figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra un método para realizar una sesión de recarga de acuerdo con la divulgación actual. La recarga puede iniciarse usando una señal de accionamiento predeterminada (300). En un caso, esta señal de accionamiento implica un nivel de tensión, un ciclo de trabajo y una frecuencia predeterminados. Se puede determinar si se puede establecer comunicación con el IMD (302). Si es así, la ubicación de la antena 78 se puede realizar utilizando la retroalimentación de telemetría como guía (304). Por ejemplo, el IMD 2 puede comunicar datos relacionados con señales de tensión, corriente y/o campo magnético dentro de IMD. Como un ejemplo específico, el IMD 2 puede informar la amplitud de una corriente que se proporciona a la fuente de alimentación recargable 50. Esta información puede usarse para medir la calidad del acoplamiento de recarga y determinar la ubicación de recarga óptima para la antena 78.

El proceso de ubicación del paso 304 puede iniciarse en respuesta a alguna entrada del usuario. Por ejemplo, un usuario puede presionar un botón, seleccionar una función, usar un comando activado por voz o proporcionar alguna otra entrada de usuario para activar una función de ubicación del circuito de carga 70. En otra realización, la función de ubicación se inicia automáticamente cada vez que el usuario inicia una sesión de recarga.

Una vez que se determina la ubicación óptima, se puede realizar una sintonización de frecuencia para determinar una frecuencia óptima para realizar la recarga (306). Esto se puede realizar usando los métodos de las Figuras 6A o 6B, o cualquiera de las muchas variaciones que están disponibles como lo pueden apreciar los expertos en la técnica y/o como se describe en este documento. Por supuesto, en un ejemplo, se puede omitir este paso y se puede usar un valor previamente determinado para $f(\text{final})$ para la frecuencia de accionamiento sin realizar ninguna sintonización adicional.

A continuación, se puede realizar la sintonización del nivel de potencia, si se desea (307). Tal sintonización se puede realizar en una realización utilizando un método como el descrito con referencia a la Figura 10. Esta sintonización puede implicar la alteración de una tensión y/o un ciclo de trabajo en el que se genera el circuito de puente en H.

Puede determinarse periódicamente si la recarga se ha completado (308). Esto se puede determinar usando retroalimentación de telemetría a partir del IMD 2. Tal retroalimentación puede proporcionar un nivel de corriente de recarga que se proporciona a la fuente de alimentación recargable 50, un nivel de tensión de la fuente de alimentación recargable 50, alguna combinación de los mismos, o alguna otra señal indicativa del estado de carga de la fuente de alimentación recargable 50.

Si se determina en base a la retroalimentación que la fuente de alimentación recargable 50 se ha recargado completamente, o casi completamente, el proceso puede considerarse completo (318). De lo contrario, el circuito de carga 70 puede simplemente continuar recargando mientras monitorea la retroalimentación hasta que el IMD 2 informe que la fuente de alimentación recargable 50 está completamente o casi completamente cargada. Por supuesto, un usuario es libre de finalizar la recarga antes de que esto ocurra, si así lo desea.

En un ejemplo, mientras se realiza la recarga, uno o más de los pasos 306 - 308 pueden repetirse periódicamente, según sea necesario. Por ejemplo, si un paciente mueve la antena 78 sin darse cuenta, puede ser necesario reubicar una posición de antena para realizar una sesión de recarga adecuada. Tal condición puede ser determinada por un cambio en una señal monitoreada por el IMD 2 (por ejemplo, una caída repentina en la corriente de recarga en la fuente de alimentación recargable 50), un cambio en una señal monitoreada por el circuito de carga (por ejemplo, corriente en el circuito tanque 165) o la aparición de impulsos stub detectados por el circuito de detección de borde 160. Esta condición se puede informar al usuario para que el usuario pueda repetir los pasos de ubicación para la recolocación de la antena 78.

De manera similar, si el paciente cambia de postura, flexiona la antena 78 o hace algo más para provocar que cambie la calidad del acoplamiento, la señal de accionamiento óptima y el nivel de potencia para accionar el circuito de puente en H pueden cambiar. Nuevamente, esto puede detectarse usando cualquiera de las técnicas analizadas anteriormente, incluso mediante el uso de una señal monitoreada por el IMD o el circuito de carga 70, incluida la aparición de impulsos stub detectados por el circuito de detección de borde 160. Este cambio en la frecuencia de accionamiento óptima puede requerir que se inicie otra búsqueda para determinar la nueva frecuencia y/o el ciclo de trabajo óptimos para accionar el circuito de puente en H 148. Además, se puede requerir un nuevo nivel de potencia en la bobina primaria 76 para garantizar que los niveles de disipación de calor apropiados se mantengan en los niveles objetivo o cerca de ellos, como se muestra en el paso 307.

Como se puede apreciar, puede ser difícil determinar si la pérdida de la ubicación de la antena o algún otro factor (por ejemplo, la flexión de la antena o el cambio de posición del paciente) provoca un cambio en una señal monitoreada (por ejemplo, la aparición de un impulso stub, etc.) Por lo tanto, cuando ocurre tal cambio, puede ser deseable repetir algunos o todos los pasos 304 - 306. Como se analizó anteriormente, si se desea, algunos o todos estos pasos se pueden realizar a intervalos regulares, tal como una vez por minuto.

Volviendo al paso 302, si no se puede establecer la comunicación con el IMD 2, la retroalimentación del IMD no estará disponible para ubicar la antena 78. En este caso, se puede usar un mecanismo de ubicación que utiliza una señal del circuito de carga 70 para realizar la ubicación de la antena (310). Por ejemplo, como se analizó anteriormente, se puede usar un enfoque basado en la tensión o un enfoque basado en la frecuencia para colocar la antena. Si se desea, se puede emplear alguna combinación de estos dos procesos para este propósito. Como se analizó anteriormente, este proceso de ubicación puede iniciarse mediante la interacción del usuario (por ejemplo, presionar un botón, interactuar con una pantalla táctil, etc.). Alternativamente, este proceso puede iniciarse automáticamente cada vez que se inicia la recarga y no se puede establecer comunicación con el IMD 2.

Una vez colocada la antena, se puede determinar una frecuencia óptima para realizar la recarga de cualquiera de las formas antes mencionadas (312). Si se usa un enfoque de monitoreo de tensión para ubicar la antena 78 para realizar la recarga como se establece con respecto a la Figura 9, la tensión final establecida durante el proceso de ubicación puede usarse como la tensión a la cual se sintoniza la frecuencia. Alternativamente, la tensión se puede ajustar un poco antes o después del proceso de sintonización de frecuencia según sea necesario para reducir la disipación de calor.

Periódicamente, se puede determinar si se ha establecido la comunicación con el IMD 2, como puede ocurrir cuando se proporciona suficiente carga a la fuente de alimentación recargable 50 para que el módulo de telemetría 59 se vuelva operativo (314). Si se ha establecido la comunicación, el procesamiento puede proceder opcionalmente al paso 304 para realizar la reubicación de la antena 78 o la resintonización de los niveles de frecuencia o potencia. En otra realización, el procesamiento puede pasar directamente al paso 308 para determinar si la recarga está completa. En cualquier caso, una vez que se establece la comunicación, la recarga puede completarse de la manera analizada anteriormente con respecto a los pasos 304-308.

En algunos casos, es posible que nunca se establezca la comunicación, como puede ocurrir si no se entrega la carga adecuada a la fuente de alimentación recargable 50 debido a la baja calidad del acoplamiento o algún otro problema asociado con el sistema. En este caso, se puede establecer un límite de tiempo de caducidad en la sesión de recarga (316). Por ejemplo, la sesión puede llevarse a cabo durante un máximo de diez minutos sin comunicación. Si se llega a este límite de tiempo sin establecer comunicación, la sesión de recarga puede terminar (318) y el proceso se considera completo. En este caso, el usuario puede recibir alguna orientación sobre cómo proceder a continuación. Por ejemplo, la interfaz de usuario 108 del dispositivo externo 100 y/o una interfaz de usuario del módulo de recarga 110 pueden sugerir buscar asistencia técnica. En algunos ejemplos, las pruebas de confianza pueden estar disponibles para que las ejecute un usuario o personal técnico para verificar el funcionamiento adecuado del sistema. Alternativamente, el usuario puede recibir orientación sobre las técnicas de recarga adecuadas y aconsejarle que "intente de nuevo".

Como puede apreciarse, los métodos descritos aquí incluyen muchas variaciones. Por ejemplo, en muchos casos, los pasos de los diversos métodos pueden reordenarse sin alterar los efectos y resultados de los métodos descritos. Además, en muchos casos, las distintas técnicas se pueden llevar a la práctica juntas o por separado. Por ejemplo, aunque el uso de un método de ubicación junto con la sintonización de frecuencia puede producir resultados de recarga óptimos, no existe ningún requisito de que la sintonización de frecuencia se use junto con un método de ubicación. La antena de ubicación 78 puede usarse sola para determinar una posición de antena para realizar la recarga. Posteriormente, se puede usar alguna frecuencia predeterminada para realizar la recarga (por ejemplo, un valor registrado predeterminado para $f(\text{final})$). Alternativamente, un usuario experto en colocar la antena 78 en una ubicación de recarga apropiada puede no necesitar someterse a un proceso de ubicación durante cada sesión de recarga. En su lugar, el usuario puede proceder directamente a la sintonización de frecuencia, o incluso puede omitir este paso y usar un valor previamente determinado para la frecuencia de recarga (por ejemplo, $f(\text{final})$ u otro valor determinado usando una variación de la sintonización de frecuencia).

De manera similar, no es necesario que se sintonice la potencia durante la recarga. Por ejemplo, si se selecciona un nivel de potencia que se sabe que es lo suficientemente bajo como para evitar que la disipación de calor exceda los límites, es posible que no haya necesidad de sintonizar los niveles de potencia. Sin embargo, en tales casos, los niveles de potencia pueden estar por debajo de los niveles óptimos, por lo que la recarga tardará más en completarse. A la inversa, la sintonización de potencia se puede realizar sin el uso de métodos de sintonización de frecuencia y/o ubicación. Así, un experto en la técnica apreciará que son posibles muchas variaciones de los sistemas y métodos descritos.

Se apreciará que la divulgación actual contempla muchas realizaciones. Por ejemplo, mientras que la divulgación actual describe una realización de un circuito de puente en H para generar una señal en el circuito tanque 165, muchos otros tipos y configuraciones de circuitos de excitación están disponibles para este propósito. Por ejemplo,

puede usarse un generador de señales (por ejemplo, un generador de ondas sinusoidales) para este propósito. La invención está definida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de carga configurado para suministrar potencia por vía transcutánea, que comprende:
5 un circuito tanque (165) que comprende una bobina primaria (76);
un circuito de detección;
un circuito de accionamiento (75) configurado para accionar la bobina primaria a una frecuencia de
accionamiento; y
10 un circuito de control (88) configurado para monitorear una señal de tensión en un nodo del circuito
tanque y para sintonizar la frecuencia de accionamiento en base a una característica de la señal,
caracterizado porque
el circuito de detección está configurado para detectar un impulso stub si los bordes ascendentes de un
primer y un segundo impulsos de tensión sucesivos están separados en el tiempo por menos de un
período de tiempo predeterminado y porque el circuito de control está configurado para sintonizar
15 adicionalmente la frecuencia para encontrar un frecuencia resonante del sistema si se detecta un impulso
stub y está configurado para mantener la frecuencia sin cambios en caso contrario.
2. El sistema de carga de la Reivindicación 1, en el que el circuito de detección es un circuito de detección de
20 borde (160) configurado para detectar el impulso stub.
3. El sistema de carga de la reivindicación 1, en el que el circuito de detección está acoplado a un nodo de
circuito asociado con la bobina primaria.
4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además:
25 un cable (112) acoplado a la bobina primaria; y
en donde el circuito de control es llevado por el cable.
5. Un sistema que comprende el sistema de carga de la reivindicación 1, que comprende además:
30 un dispositivo médico implantable (IMD) (2) configurado para recibir la potencia suministrada por vía
transcutánea; y
un programador (100) configurado para intercambiar al menos uno de datos e instrucciones programadas
con el IMD, y en donde el programador comprende el circuito de control o está acoplado
35 comunicativamente al mismo.
6. El sistema de carga de la reivindicación 1, en el que el circuito de control está configurado para sintonizar la
señal a una frecuencia resonante del sistema siempre que se detecten impulsos stub.
- 40 7. Un sistema que comprende el sistema de carga de la reivindicación 6, que comprende además un dispositivo
médico implantable para recibir la potencia suministrada por vía transcutánea.
8. Un método para suministrar potencia por vía transcutánea utilizando el sistema de carga de la reivindicación
1, el método que comprende:
45 accionar la bobina primaria; monitorear una señal de tensión en un nodo de circuito del circuito tanque
que comprende la bobina primaria; y
caracterizado porque el método comprende el paso de sintonizar la señal de accionamiento que está
accionando la bobina primaria a una frecuencia resonante siempre que se detecten los impulsos stub.
50
9. El método de la reivindicación 8, que comprende además monitorear al menos una frecuencia a la que se
acciona la bobina primaria o una tensión a la que se acciona la bobina primaria y ajustar una ubicación de la
bobina primaria en base a la frecuencia de la tensión.
- 55 10. El método de la reivindicación 8, que comprende además detectar el impulso stub detectando una transición
en la señal monitoreada.
11. El método de la reivindicación 8, que comprende además ajustar la frecuencia de la señal de accionamiento
en una cantidad que se basa en el ancho del impulso stub.
60
12. El sistema de carga de la reivindicación 1, que comprende además medios de generación de señales para
generar una señal en la bobina primaria.
13. Un sistema que comprende el sistema de carga de la reivindicación 12, que comprende además medios de
65 dispositivos médicos implantables para recibir la potencia suministrada por vía transcutánea.

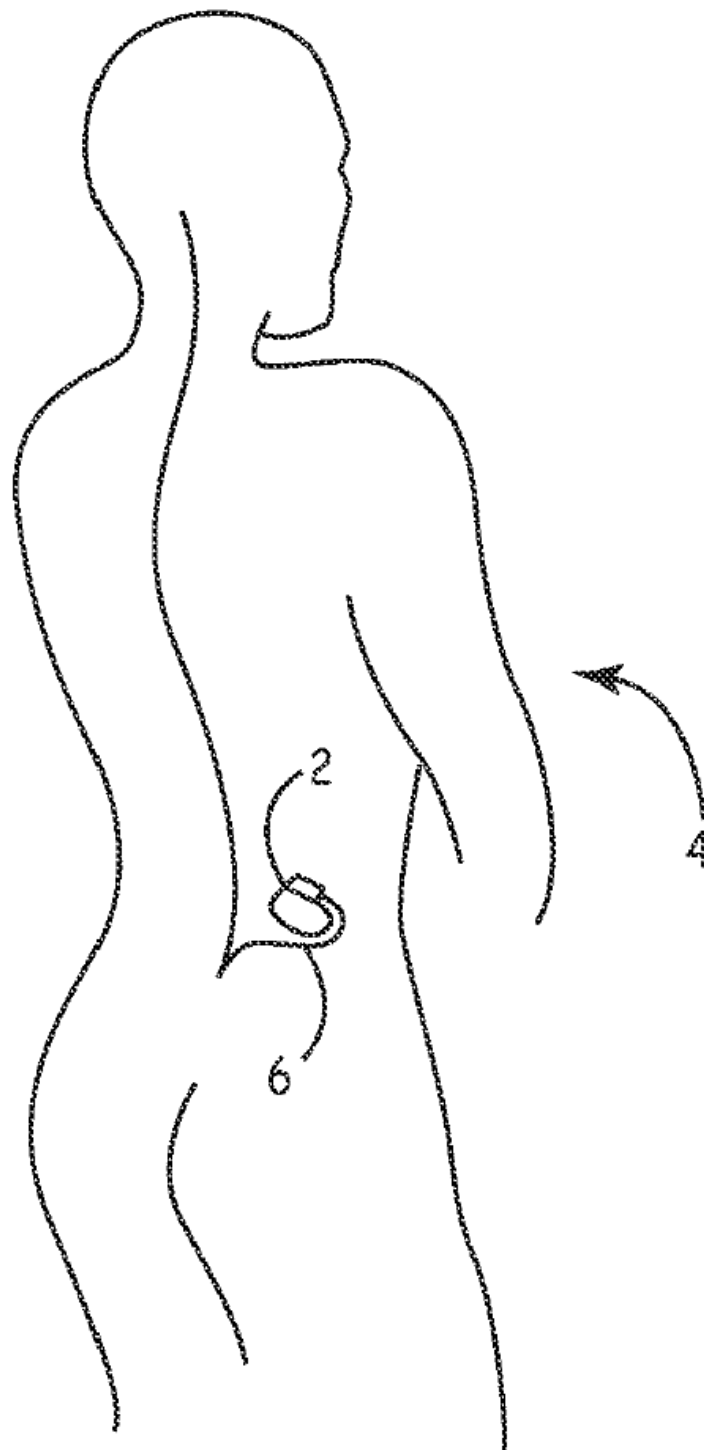


Figura 1

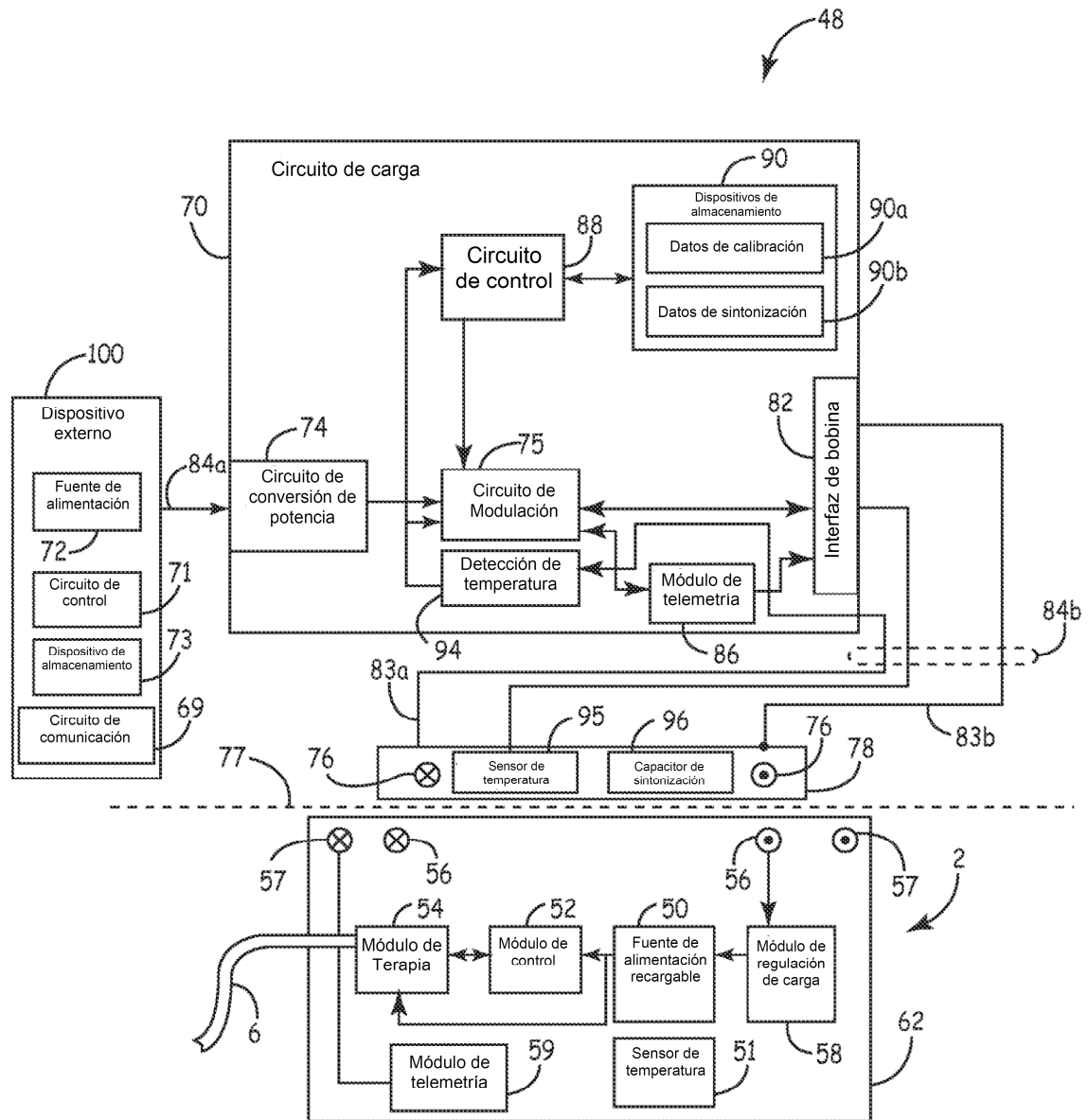


Figura 2

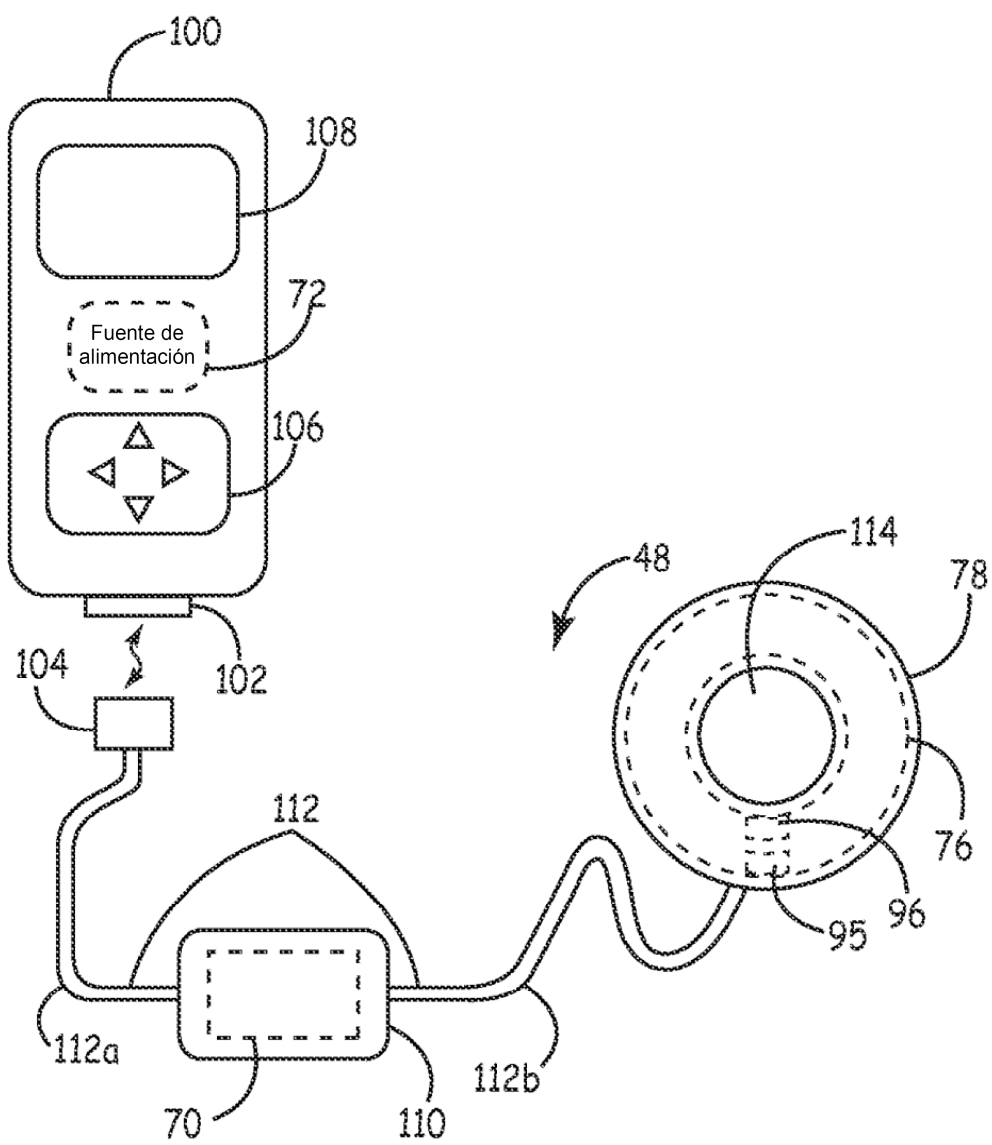


Figura 3

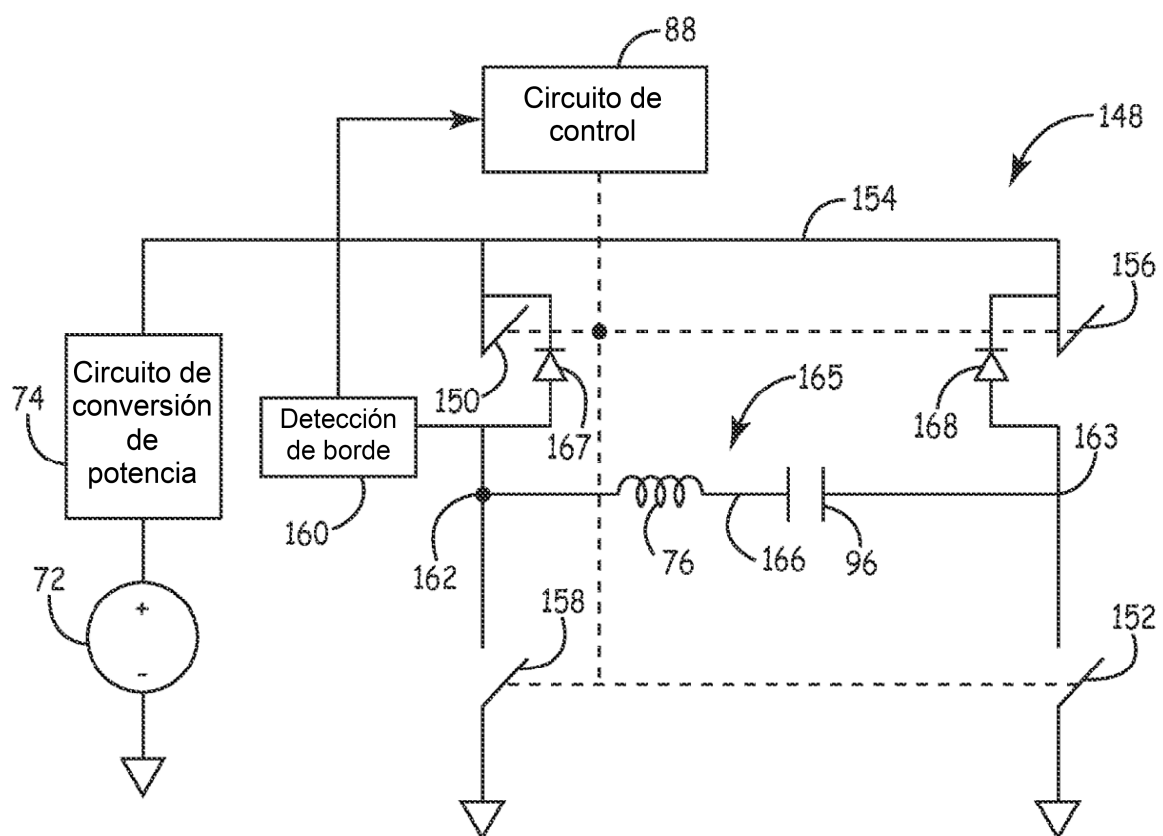


Figura 4

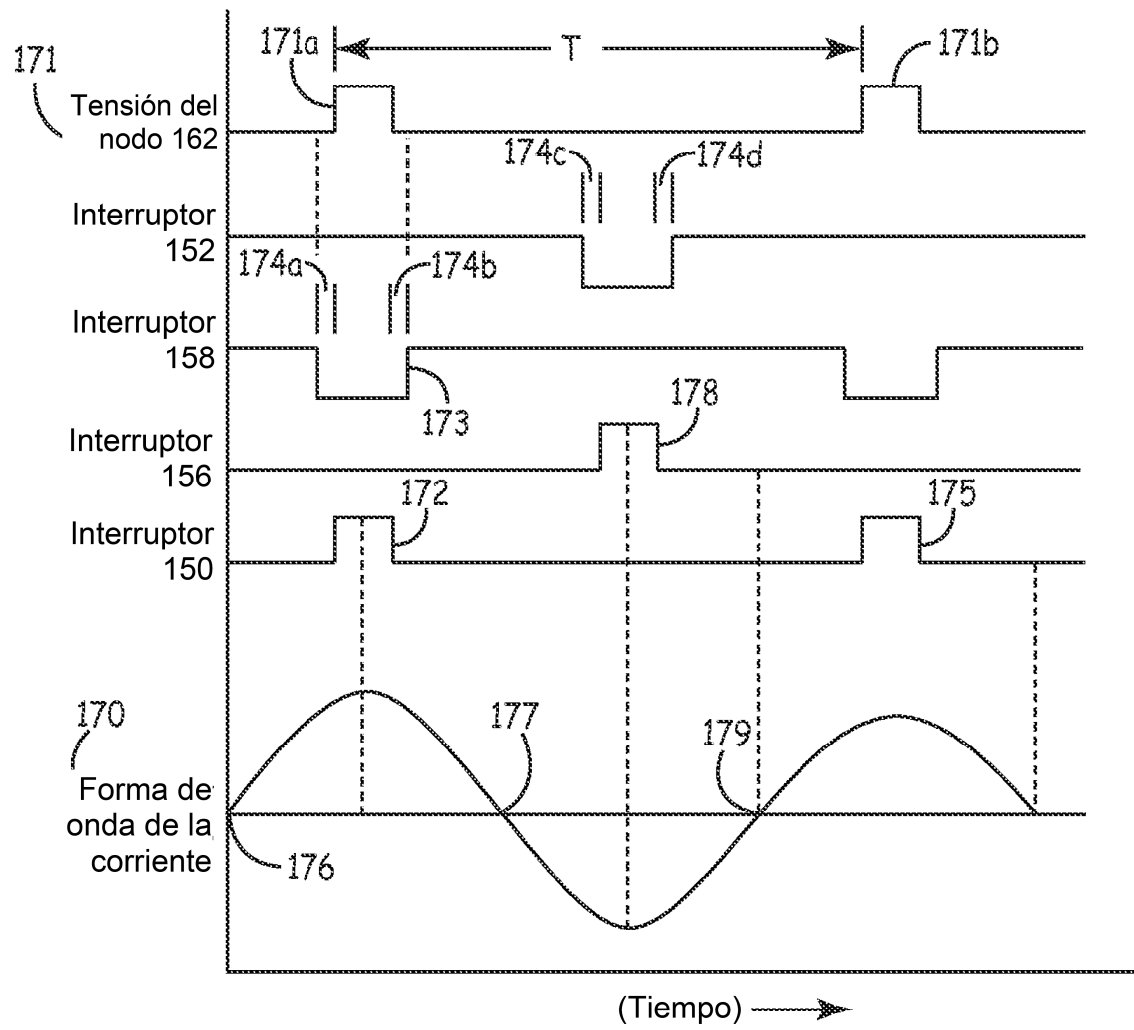


Figura 5A

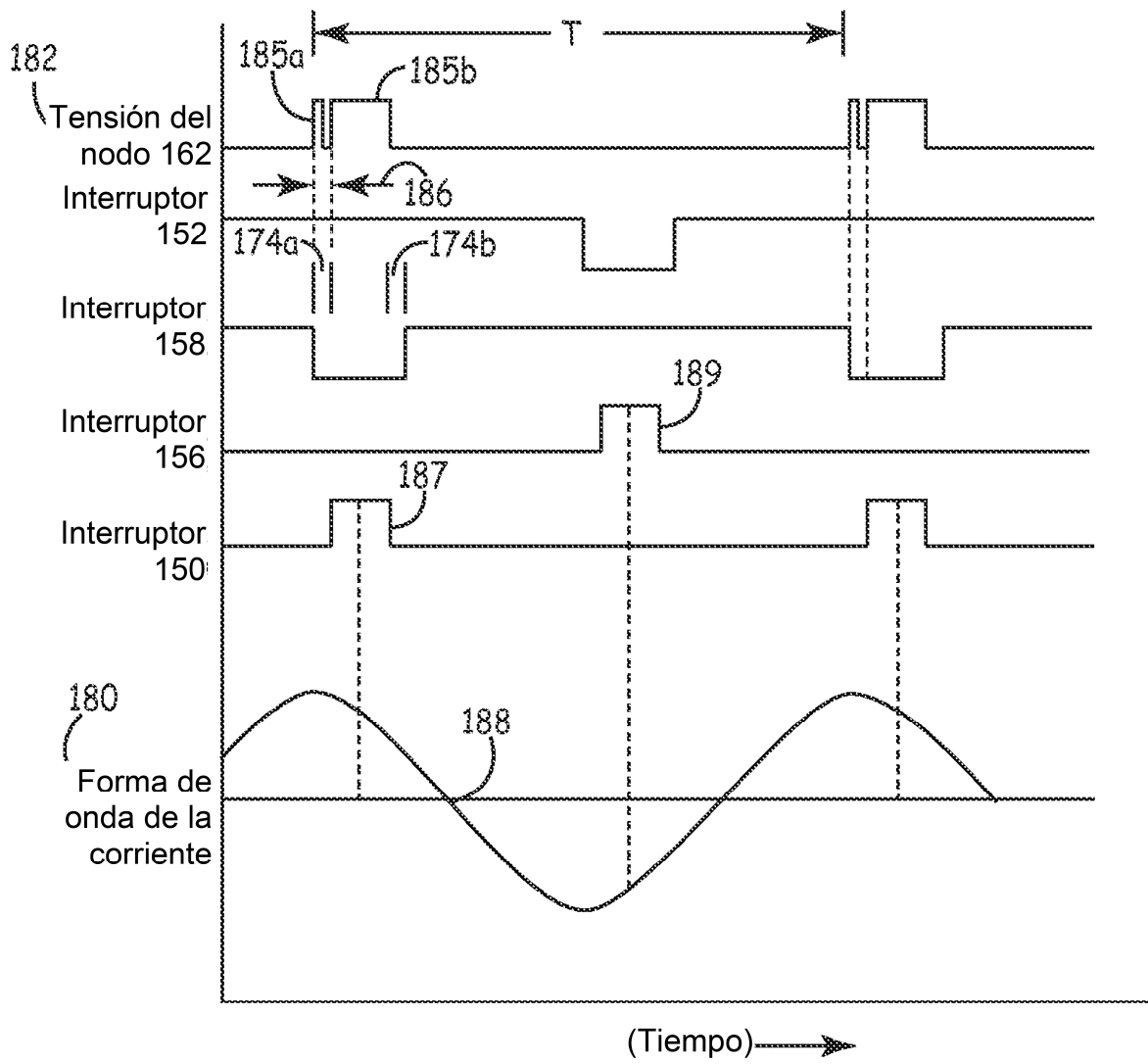


Figura 5B

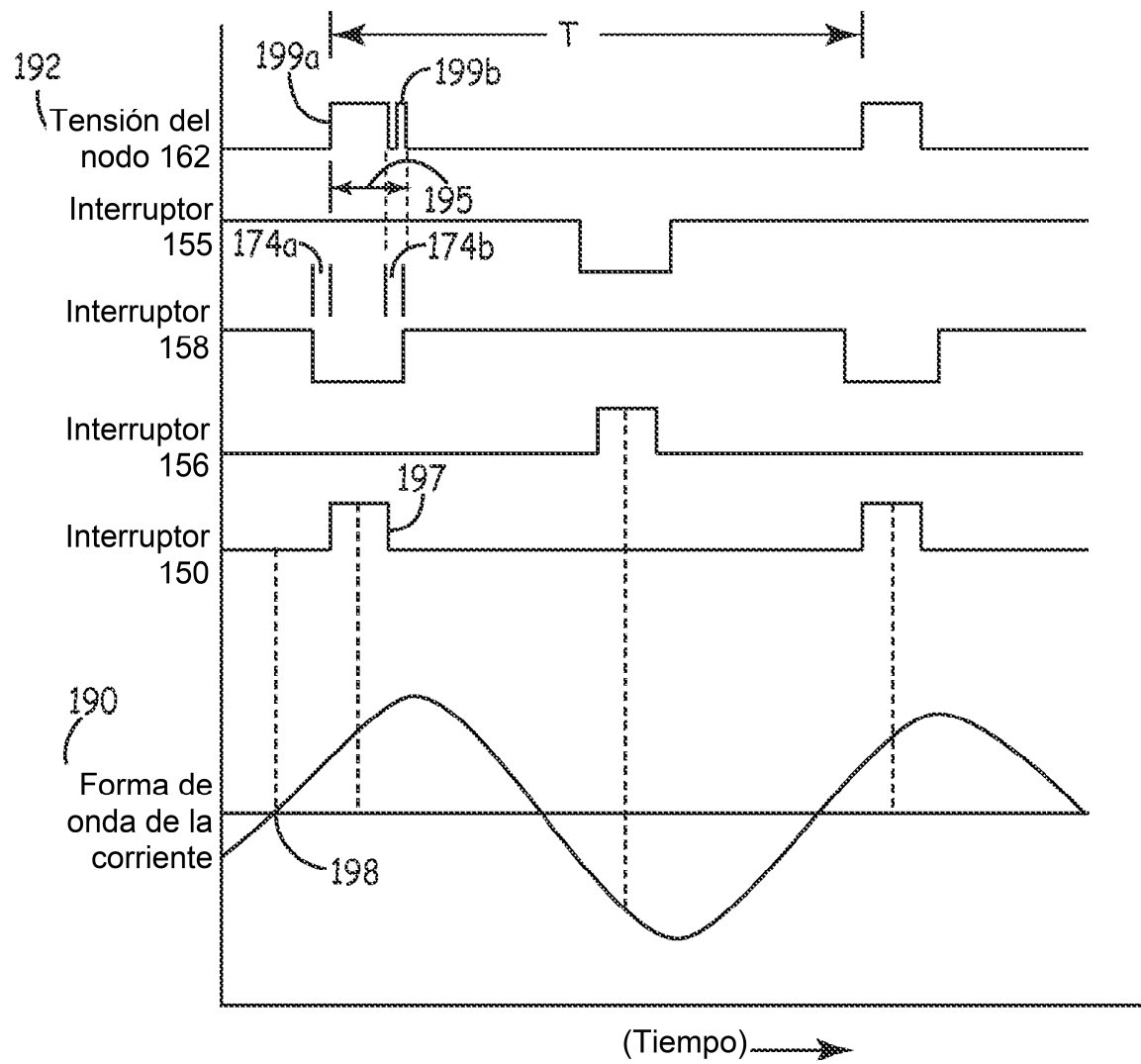


Figura 5C

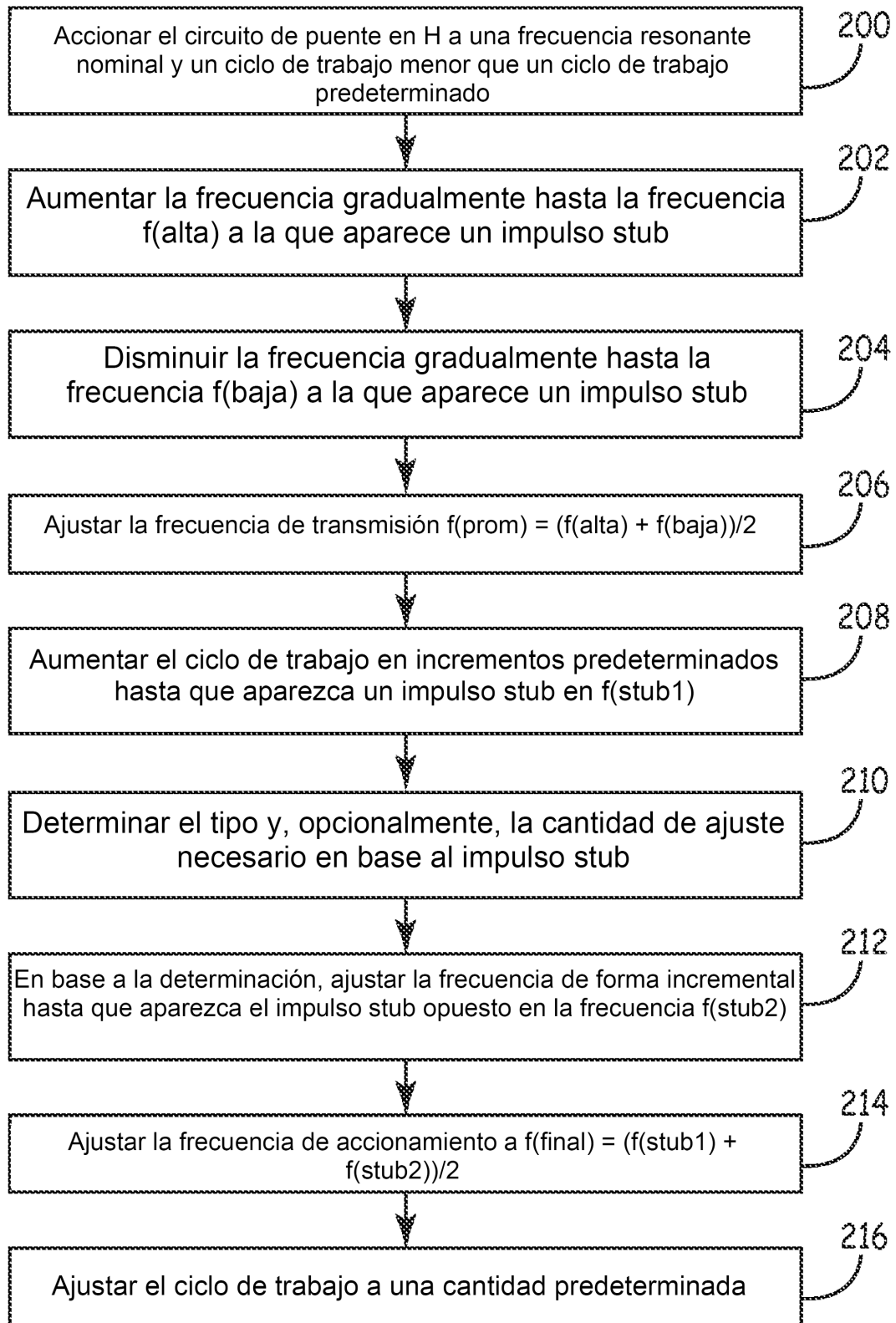


Figura 6A

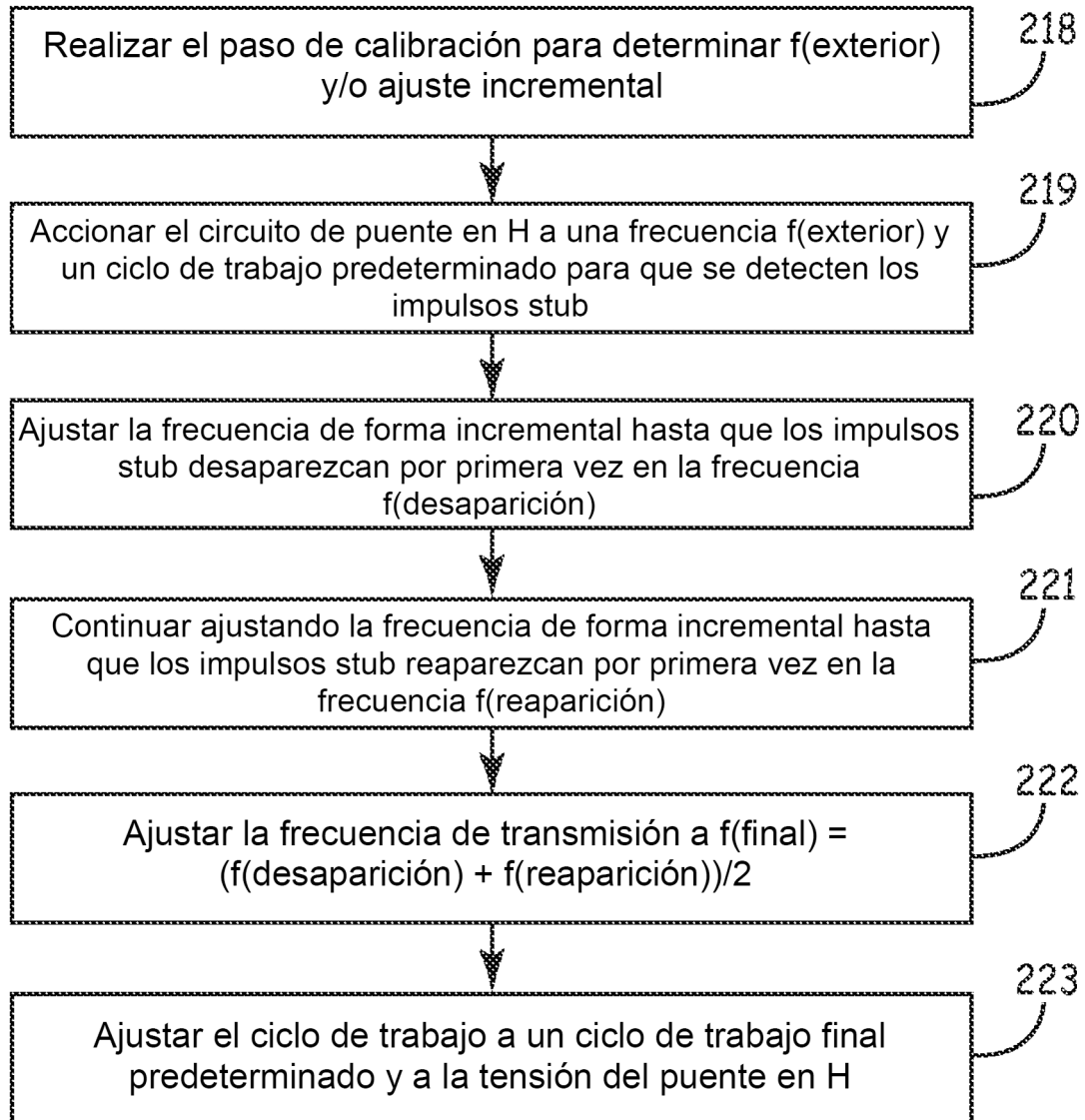


Figura 6B

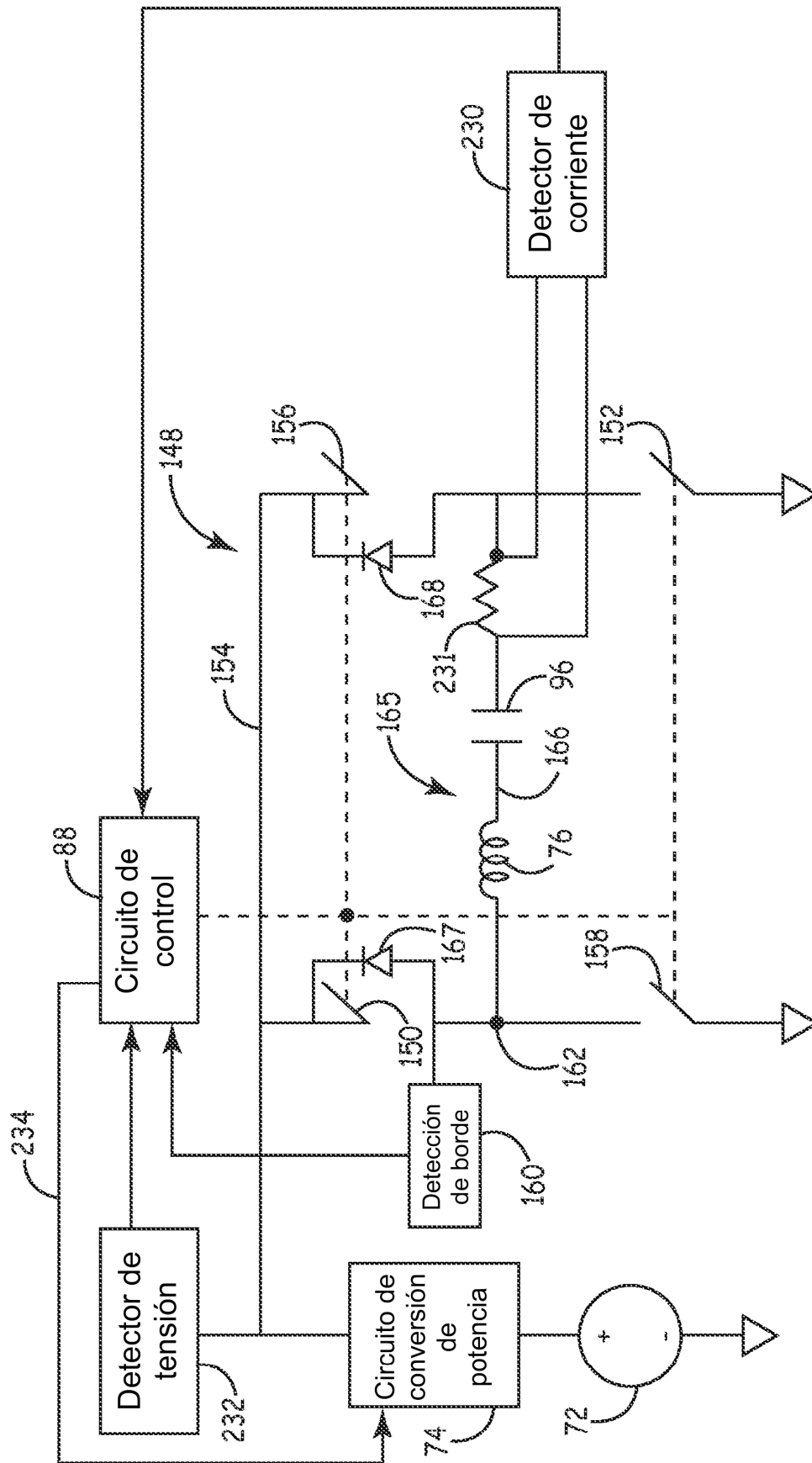


Figura 7

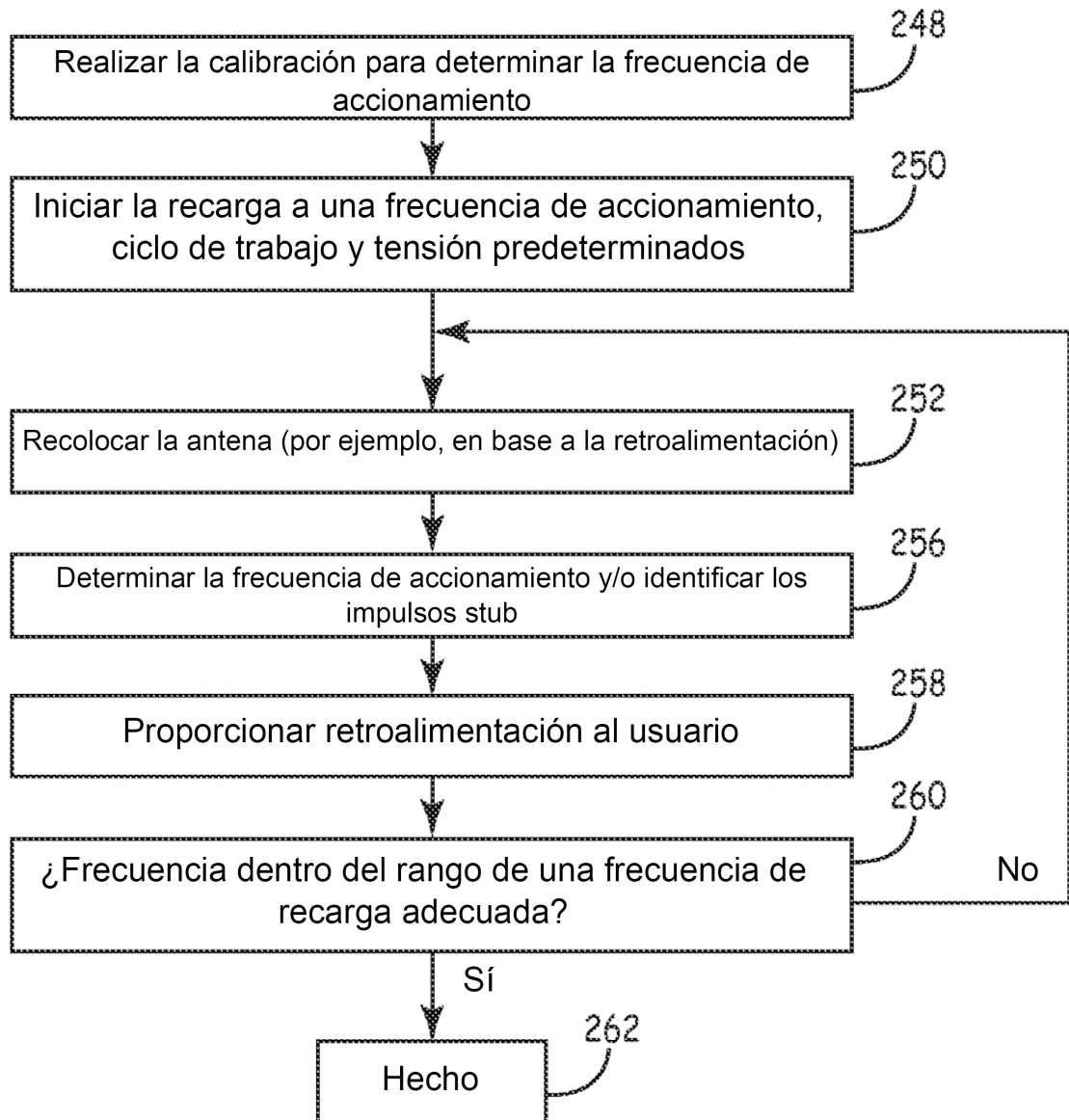


Figura 8

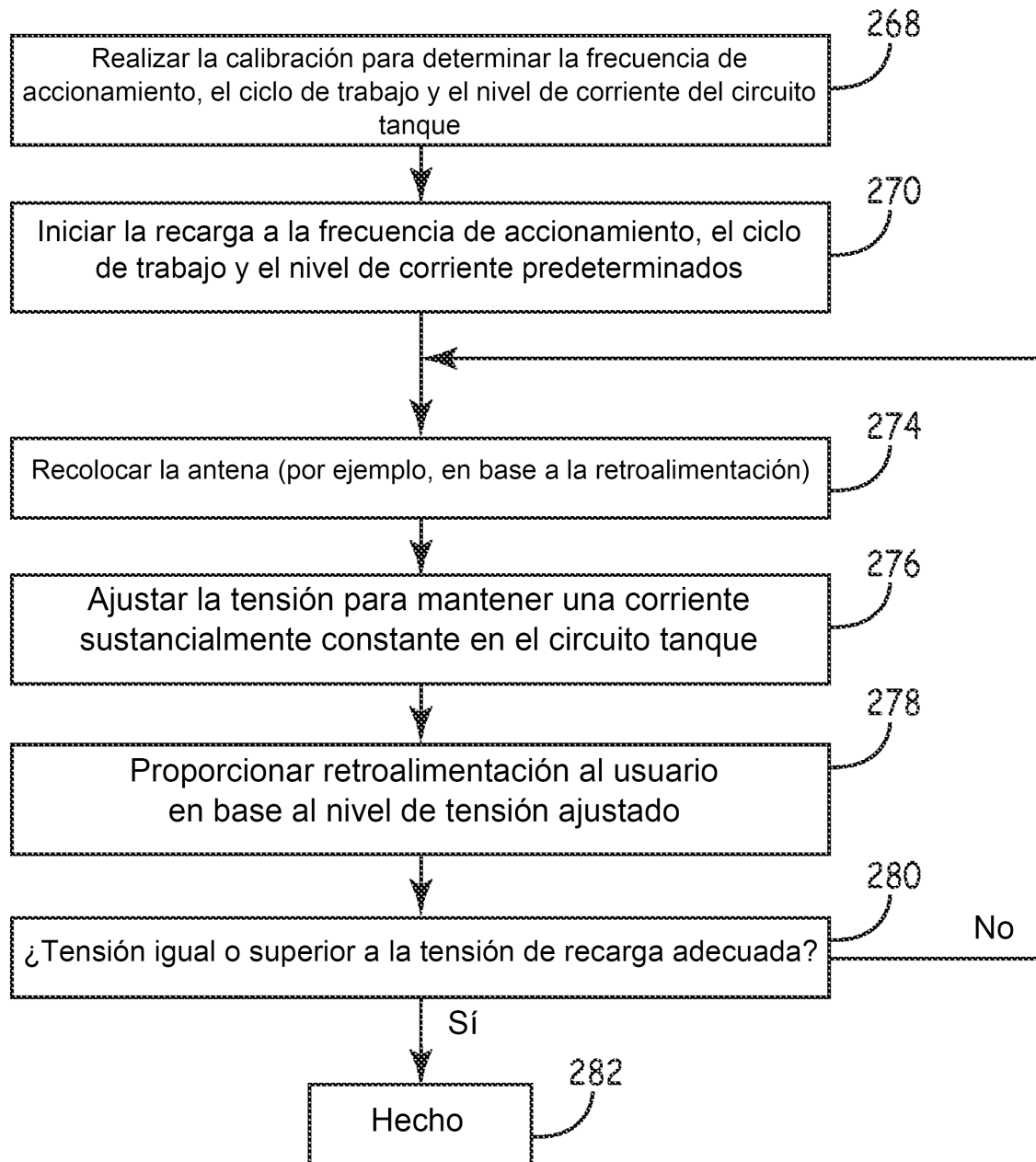


Figura 9

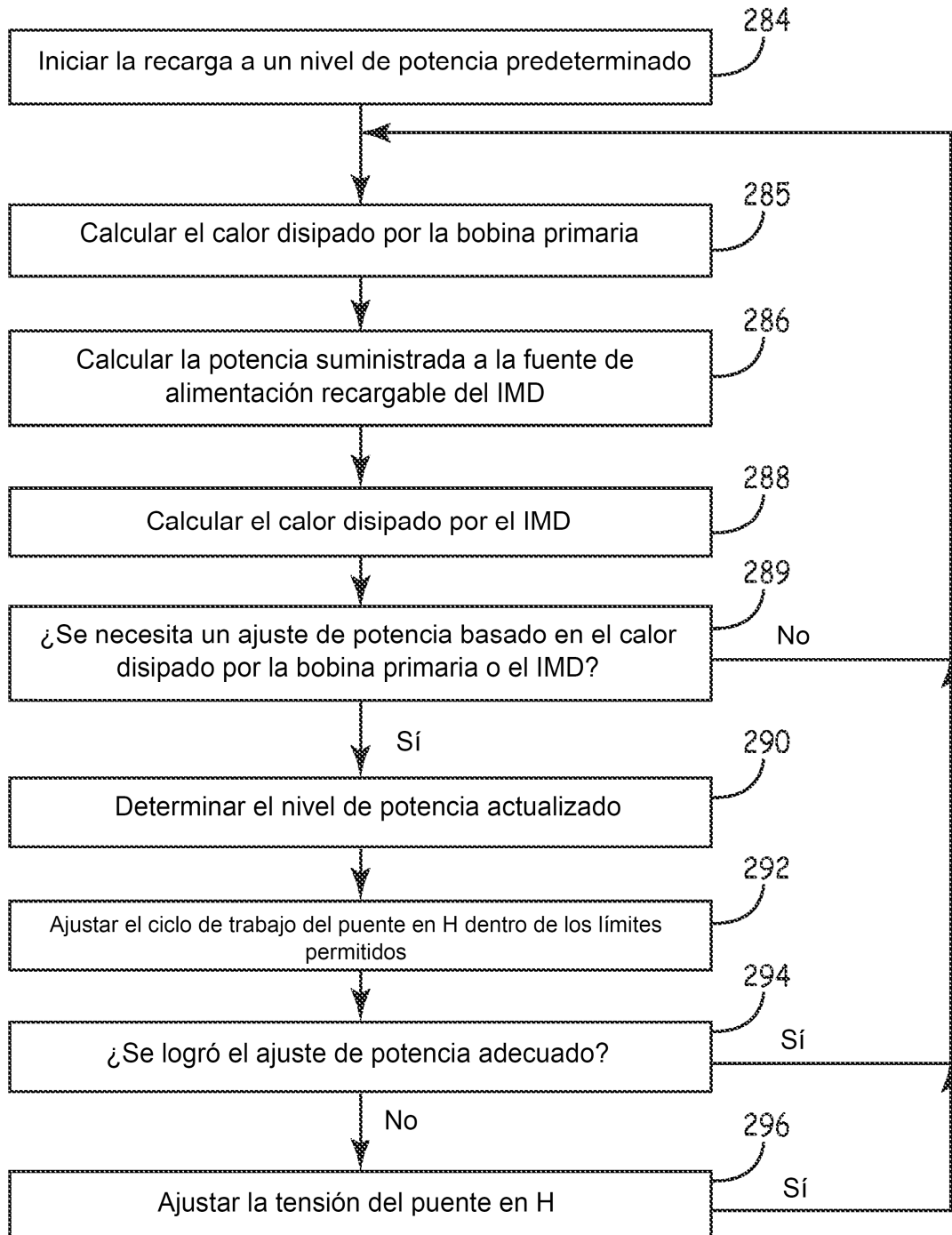


Figura 10

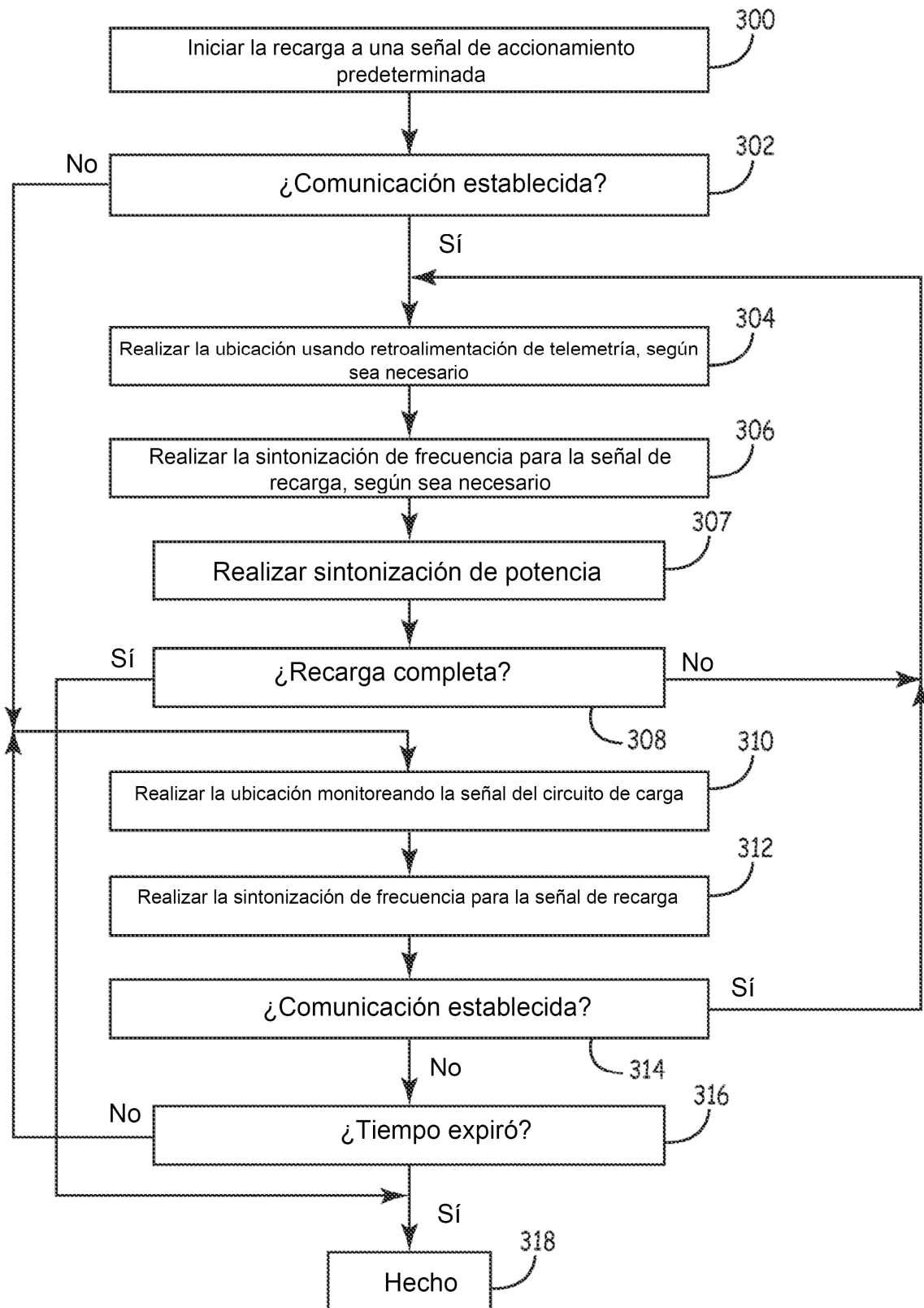


Figura 11