

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 593 091**

51 Int. Cl.:

**A61N 1/37** (2006.01)

**A61N 1/372** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2008 PCT/US2008/013484**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2009 WO09075814**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2008 E 08860337 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016 EP 2231271**

54 Título: **Dispositivo médico implantable con sensor de Hall**

30 Prioridad:  
**12.12.2007 US 7455 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.12.2016**

73 Titular/es:  
**CARDIAC PACEMAKERS, INC. (100.0%)  
4100 HAMLINE AVENUE NORTH  
ST. PAUL, MN 55112-5798, US**

72 Inventor/es:  
**LINDER, WILLIAM J. y  
MUTTONEN, ANGELA M.**

74 Agente/Representante:  
**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 593 091 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**

Dispositivo médico implantable con sensor de Hall

5 Antecedentes

Un dispositivo médico implantable (IMD) puede usarse para monitorizar uno o varios sitios de tejido o para proporcionar electroestimulación a uno o varios sitios de tejido tal como para provocar o inhibir una respuesta contráctil en el tejido muscular, o para proporcionar una o varias otras formas de electroestimulación (por ejemplo, una estimulación neuronal, tal como la dirigida a un sitio vagal, tal como para el control del dolor, para proporcionar un tratamiento para una o varias arritmias cardíacas, o para uno o varios otros usos terapéuticos o diagnósticos). Por ejemplo, el propio corazón puede generar despolarizaciones intrínsecas espontáneas, mientras que las despolarizaciones intrínsecas evocadas pueden ser el resultado de un impulso de electroestimulación tal como un impulso de marcapasos. Una despolarización del tejido cardíaco puede provocar su contracción. Tras la contracción, mientras se expande una cavidad cardíaca para llenarse con sangre, puede producirse una repolarización del tejido cardíaco permitiendo su posterior despolarización. Un dispositivo médico implantable tal como un dispositivo de control del ritmo cardíaco (CRMD) puede administrar impulsos de electroestimulación para regular tal contracción del tejido cardíaco. Los ejemplos de un dispositivo de control del ritmo cardíaco pueden incluir, entre otros, un marcapasos, un desfibrilador, un cardioversor, un dispositivo de resincronización cardíaca, o uno o varios otros dispositivos que combinan algunas o todas estas capacidades o una o varias otras capacidades.

Además, la frecuencia cardíaca, contractibilidad y excitabilidad pueden modularse a través de vías reflejas mediadas por el sistema nervioso central, que pueden incluir partes de los componentes simpático y parasimpático del sistema nervioso vegetativo. Por ejemplo, los barorreceptores y quimiorreceptores en el corazón, los grandes vasos y los pulmones pueden transmitir información de actividad cardíaca a través de las fibras nerviosas aferentes parasimpáticas y simpáticas al sistema nervioso central. Un aumento de la actividad aferente simpática puede desencadenar una simpática refleja

El equilibrio entre los componentes simpático y parasimpático del sistema nervioso vegetativo puede denominarse tono vegetativo.

Una disminución en el tono vagal o parasimpático puede ser un factor que puede contribuir a o provocar diversas taquiarritmias cardíacas. Tales taquiarritmias pueden incluir fibrilación auricular y taquicardia ventricular, por ejemplo. En un ejemplo, un dispositivo médico implantable puede proporcionar estimulación neuronal, tal como para provocar la respuesta refleja de la activación parasimpática o de la inhibición simpática. En determinados ejemplos, la estimulación neuronal puede incluir una o varias de estimulación magnética, eléctrica, óptica o acústica de objetivos neuronales.

La patente estadounidense n.º 4.301.804 da a conocer un marcapasos cardíaco implantable en el cuerpo que tiene un conmutador de efecto Hall que puede activarse por un campo magnético para modificar una o varias características del marcapasos. Un circuito en el marcapasos produce una señal estroboscópica que se usa para activar un flujo de corriente a través del elemento de efecto Hall una vez cada ciclo de impulso de marcapasos durante un periodo de 25 µs.

Por la patente estadounidense n.º 5.438.990 se conocen respectivamente un aparato y un procedimiento según la primera parte de las reivindicaciones 1 y 9, respectivamente.

Visión general

La presente invención se refiere a un aparato tal como se expone en la reivindicación 1 y a un procedimiento tal como se expone en la reivindicación 9. En las reivindicaciones dependientes se describen realizaciones preferidas.

El sensor de efecto Hall está formado como una parte de un circuito integrado que incluye un procesador. En un ejemplo, puede usarse un sensor de efecto Hall integrado para detectar la presencia de un campo magnético y para proporcionar una señal para su uso en la selección de un modo de tratamiento cardíaco. En un ejemplo, la tasa de interrogación del sensor de efecto Hall puede ajustarse tras detectar un campo magnético. En un ejemplo, el sensor de efecto Hall proporciona una medida de la intensidad de un campo magnético cerca de un dispositivo médico implantable.

Esta visión general pretende proporcionar una visión general del contenido de la presente solicitud de patente. No pretende proporcionar una exclusiva o exhaustiva

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, que no necesariamente están dibujados a escala, los números de referencia similares pueden describir componentes similares en vistas diferentes. Los números de referencia similares que tienen sufijos de

letras diferentes pueden representar ejemplos diferentes de componentes similares. Los dibujos ilustran generalmente, a modo de ejemplo, pero no a modo de limitación, diversas realizaciones comentadas en el presente documento.

5 La figura 1 muestra un ejemplo de una parte de un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable.

Las figuras 2A-B muestran ejemplos de una estructura de circuito integrado para un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable.

10 La figura 3 muestra un ejemplo de un procedimiento para detectar un campo magnético cerca de un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable.

Las figuras 4A-B muestran ejemplos ilustrativos de un gráfico de una magnitud de campo magnético frente al tiempo con respecto a uno o varios intervalos de tiempo o umbrales de dispositivo.

15 Descripción detallada

En un ejemplo, la energía administrada por los impulsos de electroestimulación puede proporcionarla una batería situada dentro del dispositivo médico implantable, tal como un dispositivo de control del ritmo cardiaco o uno o varios otros dispositivos médicos implantables. En este ejemplo, la energía almacenada en la batería puede disminuir a lo largo del tiempo, tal como debido al funcionamiento normal del dispositivo implantable, con la administración de impulsos de electroestimulación o debido a uno o varios otros efectos. En un ejemplo, puede proporcionarse a un usuario una indicación para estimar la vida útil que le queda a la batería en el dispositivo médico implantable, tal como el dispositivo de control del ritmo cardiaco, tal como conmutando a un modo de prueba del estado de la batería y observando la tasa de impulsos de un marcapasos de los impulsos que se emiten como una función de la tensión terminal de la batería o uno o varios otros indicadores de la vida útil restante de la batería (por ejemplo, un estado de carga).

Un conmutador mecánico puede ser sensible a un campo magnético, tal como un "conmutador de láminas", y puede usarse para poner el dispositivo de control del ritmo cardiaco en tal modo de prueba del estado de la batería. El conmutador mecánico también puede responder a uno o varios otros campos magnéticos que no se aplican con relación al tratamiento cardiaco.

Un campo magnético suficientemente grande puede interferir con la administración de impulsos de electroestimulación, tal como poniendo involuntariamente el dispositivo de control del ritmo cardiaco en uno de uno o varios modos sin tratamiento o de tratamiento reducido, tales como un modo de prueba, un modo predeterminado de fábrica en el que se inhabilita el tratamiento, un modo seguro o alternativo que proporciona un tratamiento más limitado, o uno o varios otros modos. Si el campo magnético es muy grande, por ejemplo, como en el caso de los campos magnéticos generados durante un procedimiento de formación de imágenes por resonancia magnética, pueden fluir corrientes eléctricas anormalmente grandes en los conductores del circuito, los circuitos que contienen materiales magnéticos pueden experimentar fuerzas físicas anormalmente grandes, o pueden producirse uno o varios otros efectos no deseados. Tales corrientes anormalmente grandes pueden hacer que se produzca un calentamiento interno excesivo y pueden dañar los componentes internos del dispositivo de control del ritmo cardiaco. De manera similar, las fuerzas anormalmente grandes experimentadas por los circuitos que contienen materiales magnéticos pueden dar como resultado una disfunción temporal o un daño permanente del dispositivo de control del ritmo cardiaco.

Los presentes inventores han reconocido, entre otros, que puede usarse un sensor de campo magnético de estado sólido sensible a la presencia de campos magnéticos en lugar de, o además de, un conmutador mecánico de funcionamiento magnético. En un ejemplo, también puede usarse un sensor de campo magnético de estado sólido para caracterizar la intensidad (por ejemplo, magnitud o uno o varios otros parámetros) de un campo magnético detectado. En determinados ejemplos, el sensor magnético de estado sólido puede estar configurado para reconocer campos magnéticos que están asociados con uno o varios tratamientos, incluyendo un tratamiento cardiaco, y para distinguir tales campos magnéticos de otros campos magnéticos sin que sean necesarias piezas móviles. Por tanto, puede usarse un sensor magnético de estado sólido para poner el dispositivo de control del ritmo cardiaco en el modo de prueba del estado de la batería, tal como para inducir un modo alternativo de electroestimulación, o en un modo seguro para formación de imágenes por resonancia magnética (IRM) para reducir la probabilidad de daño interno durante la exposición a un campo magnético aplicado externamente anormalmente grande, o uno o varios otros modos operativos.

La figura 1 ilustra un ejemplo de una parte de un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable 100, tal como para administrar electroestimulación a, o detectar despolarizaciones evocadas o intrínsecas espontáneas de, una parte deseada de un corazón 120. En este ejemplo, el dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 puede incluir un módulo de controlador 102, un conjunto conector 104, una batería 106, una unidad de memoria 108, un conjunto de circuitos de comunicaciones 112, un conmutador de caja 117 y un condensador de almacenamiento de energía 116 situado dentro de la carcasa 118. En este ejemplo, el módulo de controlador 102 puede incluir un módulo de circuito

integrado 101 con un procesador 103, un circuito analógico-digital 105, un circuito de interrogación 116 y un sensor de efecto Hall 107. En un ejemplo, los impulsos de electroestimulación pueden proceder del condensador de almacenamiento de energía 116 y administrarse a una o varias cavidades cardiacas, tal como a través de uno o varios electrodos 122, que pueden estar asociados con uno o varios cables 114. En un ejemplo, puede usarse el  
 5 circuito de interrogación 116 para proporcionar señales de corriente de excitación o tensión de excitación al sensor de efecto Hall 107. En determinados ejemplos, el circuito de interrogación 116 puede incluir un circuito temporizador o puede estar configurado para recibir una o varias señales de control de temporización del procesador 103. Como se explicará más abajo, puede usarse el sensor de efecto Hall 107 para detectar la presencia y la intensidad de un campo magnético, tal como el que se origina desde un dispositivo magnético externo, tal como un dispositivo  
 10 magnético 130 (por ejemplo, un imán permanente, un electroimán, un campo magnético estático o dinámico de una o varias partes de un aparato médico diagnóstico tal como un escáner de formación de imágenes por resonancia magnética (IRM), o una o varias otras fuentes del campo magnético). En determinados ejemplos, el dispositivo magnético 130 puede incluir un imán colocado intencionadamente cerca del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 por un usuario, u otro dispositivo que puede generar un campo magnético de intensidad suficiente para desencadenar un cambio con respecto al modo operativo ambulatorio normal, tal como colocando el dispositivo de control del ritmo cardiaco en un modo de prueba del estado de la batería, un modo configurado para interrumpir la aplicación del tratamiento, un modo para desencadenar el almacenamiento de electrogramas que contienen información fisiológica procedente de uno o varios sitios de tejido, un modo para desencadenar una o varias características de investigación, un modo para aumentar o disminuir el tratamiento, o uno o varios otros modos  
 15 operativos. En un ejemplo, también pueden usarse las señales generadas por el sensor de efecto Hall 107 en presencia de un campo magnético por el procesador 103 para seleccionar entre uno o varios de marcapasos, desfibrilación o uno u otros modos operativos. En este ejemplo, tales modos pueden programarse en una unidad de memoria 108. En determinados ejemplos, el módulo de circuito integrado 101 puede incluir una memoria de semiconductor, tal como una memoria *flash*, NMOS, SRAM, DRAM, EPROM, EEPROM, o una o varias otras formas de memoria de semiconductor para almacenar instrucciones o datos, tal como los asociados con un tratamiento cardiaco.

En determinados ejemplos, uno o varios del procesador 103, el circuito analógico-digital 105, el circuito de interrogación 116 o el sensor de efecto Hall 107 pueden formarse de manera monolítica e integrarse entre sí en un  
 20 único sustrato compartido en común, tal como silicio, silicio sobre aislante, silicio sobre zafiro, carburo de silicio, germanio de silicio, carburo de silicio y germanio, arseniuro de galio, nitruro de galio, fosforo de indio, diamante o una o varias otros materiales de sustrato incluidos como sección, parte o componente de un circuito integrado compartido en común o un paquete de circuito integrado compartido en común. En determinados ejemplos, uno o varios del procesador 103, el circuito analógico-digital 105, el circuito de interrogación 116 o el sensor de efecto Hall  
 25 107 puede estar incluido como un sección, parte o componente de un paquete de circuito integrado (por ejemplo, una matriz de malla de bolas encapsulada en plástico (BGA), chip invertido, matriz LGA (*land grid array*), soldadura automática de película (TAB), o uno o varios otros tipos de paquete de circuito integrado).

En determinados ejemplos, una parte del módulo de circuito integrado 101 puede incluir circuitos formados de diferentes materiales. Por ejemplo, el sensor de efecto Hall 107 puede formarse como dado separado y unirse al  
 30 módulo de circuito integrado 101 a través de tecnología de montaje con bolitas de soldadura, tecnología de chip invertido, o una o varias otras técnicas de empaquetado, montaje o ensamblaje. El sensor de efecto Hall 107 también puede formarse directamente sobre el módulo de circuito integrado 101 mediante un proceso de semiconductor u otro proceso de fabricación, tal como deposición química de vapor. Por tanto, el sensor de efecto Hall 107 puede incluir un material semiconductor diferente del material semiconductor usado para formar el procesador 103, el circuito analógico-digital 105 o el circuito de interrogación 116 o uno o varios otros circuitos incluidos como parte del módulo de circuito integrado 101 o uno o varios otros módulos. En determinados ejemplos, pueden seleccionarse uno o varios materiales con movilidades de Hall superiores, tales como antimoniuro de indio, antimoniuro de galio o uno o varios otros materiales para potenciar la sensibilidad del sensor de efecto Hall 107 a un  
 35 campo magnético.

El sensor de efecto Hall 107 puede formarse como un dispositivo de heteroestructura que incluye capas adyacentes que tienen una o varias energías de intervalo prohibido diferentes de una capa adyacente para confinar el flujo de corriente. Las capas con energías de intervalo prohibido diferentes pueden obtenerse, por ejemplo, con  
 40 semiconductores de compuestos III-VI y III-V, tales como arseniuro de galio-aluminio-arseniuro de galio, fosforo de indio-arseniuro de galio-indio, o uno o varios otros semiconductores de compuestos.

El dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 mostrado es para simplificar la comprensión de los ejemplos descritos y no pretende limitar el dispositivo 100 a la configuración particular ilustrada. Por ejemplo, el circuito de comunicaciones 112 y la memoria 108 se forman de manera monolítica con el procesador 103 como parte del  
 45 módulo de circuito integrado 101, y pueden incluirse en el dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 junto con uno o varios otros circuitos o módulos. En un ejemplo, el circuito temporizador puede incluirse como parte del procesador 103 o el circuito analógico-digital 105.

Las figuras 2A-B muestran ejemplos de un estructura de circuito integrado para un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable, tal como el dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. En la figura 2A se ilustra una vista en

sección transversal de una parte de un módulo de circuito integrado monolítico 201 que puede incluir un sensor de efecto Hall 207A, un circuito analógico-digital 205, un circuito de interrogación 216 y un procesador 203. En un ejemplo, el circuito analógico-digital 205 es un convertidor analógico-digital. La figura 2B es una vista en planta de un sensor de efecto Hall 207B con una geometría cuadrada. En un ejemplo, el sensor de efecto Hall 207A-B, como el procesador 203A, el circuito analógico-digital 205A y el circuito de interrogación 216A, pueden tener un patrón, tal como mediante un proceso fotolitográfico, como parte de un proceso para formar un módulo de circuito integrado. Por tanto, son posibles otras geometrías de sensor de efecto Hall, tal como una que tenga la forma de un patrón cruciforme, o uno o varios otros patrones. En diversos ejemplos, el sensor de efecto Hall 207A y el sensor de efecto Hall 207B son el mismo sensor.

En un ejemplo, el circuito de interrogación 216 puede estar configurado para aplicar tensiones u otras señales al sensor de efecto Hall 207A-B. En un ejemplo, el circuito analógico-digital 205 puede estar configurado para recibir una o varias señales de corriente o tensión procedentes del sensor de efecto Hall 207, tal como en respuesta a una o varias señales de tensión aplicadas por el circuito de interrogación 216, y para convertir las señales recibidas en señales digitales. En un ejemplo, el circuito analógico-digital 205 proporciona una señal de tensión de 12 bits al procesador 203, tal como para su uso en la determinación de la existencia o intensidad de un campo magnético. En un ejemplo, el procesador 203 también puede usar las señales digitales proporcionadas por el circuito analógico-digital 205 para estimar una intensidad de campo magnético cerca del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. En un ejemplo, el procesador 203 también puede usar la intensidad estimada de campo magnético (por ejemplo, una magnitud del campo magnético) procedente de las señales digitales proporcionadas por el circuito analógico-digital 205, junto con una o varias ventanas o umbrales programables, para seleccionar un modo operativo del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100.

En determinados ejemplos, el sensor de efecto Hall 207A incluye un hueco n 209A formado dentro de una región p 208A. Una región p 210A puede estar formada en el hueco n 209A, tal como para definir un canal n escondido con una anchura (w), limitando así el flujo de electrones a una región no empobrecida 212A entre un primer contacto 226A1 y un segundo contacto 226A2. En un ejemplo, la región p 208A y la región p 210A pueden estar acopladas a un potencial de referencia, tal como la tierra del circuito, para regular la conducción en el canal n escondido a través del uso de las respectivas anchuras de empobrecimiento para ajustar la anchura (w). El hueco n 209A y la región p 210A pueden formarse mediante difusión o implantación de iones en determinados ejemplos. En diversos ejemplos, la densidad de portadores en el hueco n 209A puede ser de desde aproximadamente  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$  hasta aproximadamente  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . La dimensión del hueco n 209A entre la región p 208A y la región p 210A puede oscilar entre aproximadamente 1 micrómetro y aproximadamente 3 micrómetros, en determinados ejemplos. En determinados ejemplos, la profundidad de la región p 210A puede estar entre aproximadamente 0,1 micrómetros y aproximadamente 1 micrómetro y puede tener una densidad de portadores superior a  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . La densidad de portadores en la región p 208A puede ser del orden de  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . En diversos ejemplos, la región p 208A es una región de un sustrato, que puede fabricarse para estar aislado del procesador 203, el circuito analógico-digital 205 o el circuito de interrogación 216, o de uno o varios otros circuitos.

El sensor de efecto Hall 207A-B es una estructura rotacionalmente simétrica, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 2B. Una estructura rotacionalmente simétrica puede tener una tensión de equilibrio próxima a cero, reduciendo así el número de mediciones usadas para detectar con precisión la presencia de un campo magnético cerca del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. La densidad de corriente en la parte no empobrecida 212A puede representarse por

$$(1) \quad J = q^2 n/m * \langle \tau_m / (1 + (\omega_c \tau_m)^2) \rangle E - q^3 n/m^2 \langle \tau_m^2 / (1 + (\omega_c \tau_m)^2) \rangle (E \times B) + q^4 n/m^3 \langle \tau_m^3 / (1 + (\omega_c \tau_m)^2) \rangle B(E \cdot B)$$

donde  $J$  representa un vector de densidad de corriente,  $E$  representa un vector de campo eléctrico,  $B$  representa un vector de campo magnético,  $q$  representa una carga eléctrica,  $n$  representa una densidad de portadores de banda de conducción en la región no empobrecida 212A,  $\tau_m$  representa un tiempo de relación de momento,  $m^*$  representa una masa efectiva de los portadores en la banda de conducción,  $\omega_c$  representa una frecuencia ciclotrónica, y  $\langle \rangle$  indica el promedio de los valores dados por las variables contenidas entre los mismos. El primer término puede estar asociado con el efecto Hall, los términos segundo y tercero pueden estar asociados con un efecto de magnetorresistencia. La ecuación 1 puede permitir la detección de un campo magnético con un semiconductor mediante una o varias mediciones de corriente o tensión. Si se selecciona una geometría adecuada para el sensor de efecto Hall, puede simplificarse el cálculo para detectar un campo magnético.

En un ejemplo ilustrativo, si el gradiente de flujo magnético no varía a través de la parte no empobrecida 212A, el vector de campo magnético (representado por  $\hat{A}_z$ ) puede ser normal de manera sustancialmente uniforme a la superficie del sensor de efecto Hall. Esto puede producirse cuando el tamaño del sensor de efecto Hall puede hacerse pequeño con relación a las líneas asociadas de flujo magnético. Si también la intensidad de campo magnético puede ser tal que los términos de magnetorresistencia sean pequeños con relación al término de efecto

Hall, y la densidad de corriente en la dirección y puede ser próxima a cero, el vector de densidad de corriente  $J$  puede aproximarse por

$$(2) \quad J_x = -qn/B_z \langle \tau_m \rangle^2 / \langle \tau_m \rangle^2 E_y$$

y la constante de Hall  $R_H$  puede aproximarse por

$$(3) \quad R_H = - \frac{E_y}{(J_x B_z)} = - 1/(qn) \langle \tau_m \rangle^2 / \langle \tau_m \rangle^2$$

donde el factor de Hall puede representarse por

$$(4) \quad r_H = \langle \tau_m \rangle^2 / \langle \tau_m \rangle^2.$$

Para una región no empobrecida ligeramente dopada 212A, tal como se indicó anteriormente,  $r_H$  puede estar cerca de la unidad y la movilidad de Hall puede representarse por

$$(5) \quad \mu_H = R_H \sigma = q^2 n \langle \tau_m \rangle / m^* = \mu_n r_H,$$

donde  $\sigma$  representa una conductividad de los portadores en la región no empobrecida 212A y  $\mu_n$  representa una movilidad de portador de banda de conducción asociada. Los límites geométricos anteriores pueden obtenerse aplicando un campo magnético sustancialmente en la dirección z, midiendo la tensión en la dirección y, y midiendo la corriente en la dirección x. Por tanto, en este ejemplo ilustrativo, el campo magnético puede representarse por

$$(6) \quad B_z = - qn(E_y/J_x) r_H.$$

Por tanto, las mediciones de una señal de tensión o corriente realizadas con el sensor de Hall 207A-B pueden usarse por el procesador 203 para estimar la intensidad de campo magnético así como para identificar su presencia. Por consiguiente, en determinados ejemplos, puede usarse el sensor de efecto Hall 207A-B para conmutar un dispositivo de control del ritmo cardiaco a uno o varios modos operativos diferentes, tales como un modo de prueba del estado de la batería, o un modo seguro para IRM, tal como dependiendo de diferentes grados de intensidad de campo magnético que pueden estar presentes. En un ejemplo, el sensor de efecto Hall también puede permitir ajustes casi en tiempo real para la administración del tratamiento cardiaco tras detectar un campo magnético que puede interferir con la administración de impulsos de electroestimulación (por ejemplo, inhibiendo, aumentando, disminuyendo o ajustando de otro modo el tratamiento).

El factor de Hall puede ser el responsable de provocar un error de medición significativo, y por tanto, puede tenerse en cuenta. El error puede reducirse aunque puede existir un compromiso en cuanto a complejidad añadida y energía de batería invertida para realizar los cálculos pertinentes. En un ejemplo ilustrativo, puede generarse una corrección realizando una serie de ocho mediciones de tensión-corriente, promediando pares de tensiones medidas, generando coeficientes de tensión de equilibrio y generando un factor de corrección geométrica mediante o bien un algoritmo o bien una tabla de consulta. Los presentes inventores también han reconocido que para una estructura rotacionalmente simétrica tal como la mostrada en la figura 2B, la tensión de equilibrio puede reducirse hasta casi cero y pueden usarse menos mediciones de tensión (por ejemplo, dos en lugar de ocho) para identificar con más precisión la presencia e intensidad (tal como una magnitud) de un campo magnético sin necesidad de cálculos más complejos. El factor de corrección geométrica también puede ser unitario para una geometría rotacionalmente simétrica, reduciendo así sustancialmente el factor geométrico como fuente de error de medición.

Aunque el sensor de efecto Hall 207A-B se ilustra en las figuras 2A-B con una conducción de tipo n, también puede usarse una conducción de tipo p para detectar un campo magnético. En tal ejemplo, los portadores de tipo p pueden sustituirse por los portadores de tipo n en el hueco n 209A, y los portadores de tipo n por los portadores de tipo p en la región p 208A y la región p 210A. Así, la constante de Hall resultante sufrirá un cambio de signo, que no afecta necesariamente a la detección de un campo magnético usando un sensor de efecto Hall. En un ejemplo, un sensor de efecto Hall también puede formarse sin una región p 210A poniendo un metal 229B en contacto directo con el hueco n 209A formando así una estructura de contacto Schottky, o sustituyendo un óxido adecuado por la región p 210A formando una estructura de contacto de semiconductor de óxido metálico.

La figura 3 muestra un ejemplo de un procedimiento 300 para detectar un campo magnético cerca de un dispositivo de control del ritmo cardiaco implantable. En 302 un circuito de interrogación, tal como los circuitos 116 y 216, puede aplicar uno o varios impulsos de tensión entre un primer contacto 226B1 y un tercer contacto 226B3, o entre un segundo contacto 226B2 y un cuarto contacto 226B4 del sensor de efecto Hall 207B generando así un flujo de corriente entre dos o varios contactos. Sustancialmente al mismo tiempo, puede medirse una tensión entre los dos

contactos situados diagonalmente que no tienen que recibir necesariamente los impulsos de tensión. En un ejemplo ilustrativo, la tensión aplicada puede tener una magnitud de excitación de aproximadamente 2,2 voltios. Los impulsos de tensión pueden aplicarse periódicamente con un ciclo de trabajo reducido (por ejemplo, una anchura de impulso de excitación) para reducir la cantidad de potencia consumida a durante un intervalo de detección. En determinados ejemplos, los impulsos de tensión se aplican periódicamente al sensor de efecto Hall a una tasa de aproximadamente 1 - 2 por segundo (por ejemplo, una tasa de repetición de impulsos de excitación) con una anchura de impulso de aproximadamente 20 - 40 microsegundos. La corriente que fluye entre los contactos y la tensión generada a través de los contactos puede transmitirse a un circuito analógico-digital, tal como los circuitos analógico-digitales 105 y 205 para su procesamiento adicional. El circuito analógico-digital puede emitir una representación digitalizada de las señales analógicas recibidas desde el sensor de efecto Hall a un procesador, tal como los procesadores 103 y 203.

En 304 el procesador determina si está presente un campo magnético medible, tal como comparando una magnitud detectada del campo magnético con uno o varios umbrales programables, y determinando que el campo magnético está presente cuando la magnitud detectada es igual a o supera el uno o varios umbrales programables. Si no se detecta el campo magnético, el circuito de interrogación continúa aplicando impulsos de tensión a los contactos del sensor de efecto Hall a la tasa especificada. El uno o varios umbrales programables pueden usarse de modo que el procesador no opere sobre señales proporcionadas por el sensor de efecto Hall correspondientes a un campo magnético más débil, tal como debido a un campo magnético de fondo normal, para conservar la energía de la batería.

En 306, el funcionamiento del dispositivo de control del ritmo cardiaco puede ponerse en un modo operativo especificado, tal como un modo de prueba del estado de la batería, un modo seguro para IRM, o uno o varios otros modos de tratamiento cardiaco tras detectar el campo magnético. La conmutación entre modos operativos puede producirse casi en tiempo real con la medición del campo magnético. En determinados ejemplos, el modo operativo puede seleccionarse según la intensidad (por ejemplo, magnitud) del campo magnético. En un ejemplo, el modo operativo se selecciona para ajustar la administración de un tratamiento cardiaco en respuesta a la intensidad detectada del campo magnético.

En algunos ejemplos, el modo operativo no tiene que cambiar necesariamente en respuesta a la detección del campo magnético cuando la intensidad del campo no ha cambiado sustancialmente con respecto a la medición de intensidad anterior o cuando la intensidad del campo magnético está dentro de una zona o intervalo especificado. En determinados ejemplos, el modo operativo del dispositivo de control del ritmo cardiaco no cambia en respuesta al campo magnético cuando la intensidad del campo está por debajo de un umbral de detección.

En 308, la tasa de interrogación del sensor de efecto Hall puede aumentarse o disminuirse en respuesta a la detección del campo magnético. En determinados ejemplos, el procesador comunica una señal al circuito de interrogación para aumentar la tasa de aplicación de impulsos de tensión al sensor de efecto Hall. En determinados ejemplos, puede usarse un circuito temporizador para indicar al circuito de interrogación que cambie la tasa de aplicación de impulsos de tensión. En un ejemplo ilustrativo, una tasa de aplicación de impulsos de tensión aumentada es de aproximadamente 20 por segundo. El circuito temporizador puede estar configurado para aumentar, disminuir y restablecer la tasa a la que se aplican impulsos de tensión al sensor de efecto Hall. Así, el circuito temporizador puede usarse como temporizador de ventana para limitar un número total de impulsos de tensión que pueden aplicarse durante un periodo de tiempo especificado en respuesta a la detección del campo magnético. Por ejemplo, cuando un médico deja involuntariamente un imán de conmutación cerca del dispositivo de control del ritmo cardiaco de un paciente.

En 308 la tasa de aplicación de impulsos de tensión al sensor de efecto Hall puede continuar a la tasa aumentada hasta que ya no se detecta el campo magnético, o la intensidad es inferior o igual a un umbral o valor especificado.

En un ejemplo, si ya no se detecta el campo magnético, el procesador indica al circuito de interrogación que reduzca la tasa de aplicación de impulsos de tensión al sensor de efecto Hall. En determinados ejemplos, la tasa de interrogación vuelve a la tasa usada antes de detectar el campo magnético. En tales ejemplos, el circuito de interrogación puede continuar aplicando impulsos de tensión al sensor de efecto Hall a una tasa disminuida hasta que puede detectarse de nuevo el campo magnético.

Las figuras 4A-B muestran ejemplos ilustrativos de un gráfico 400 de una magnitud detectada de un campo magnético 402 frente al tiempo ("t") con respecto a uno o varios umbrales programables o intervalo de tiempo programables asociados con un dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. En el ejemplo mostrado en la figura 4A, en un instante  $t_1$ , el campo magnético 402 puede cruzar un primer umbral 405, y puede estar entre el primer umbral 405 y un segundo umbral 410 (por ejemplo, correspondiente a una ventana umbral "w" tal como se muestra) según la información proporcionada por un sensor magnético tal como un sensor de efecto Hall 107. En un ejemplo, puede iniciarse un temporizador y si en un instante  $t_2$ , por una primera duración especificada tal como un intervalo  $T_1$ , el campo magnético 402 sigue siendo igual a o supera el primer umbral 405, entonces puede seleccionarse un modo operativo diferente del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. En un ejemplo, puede producirse un cambio de un modo operativo ambulatorio a otro modo operativo tal como un modo de prueba del estado de la

batería, o un modo seguro para IRM, o uno o varios otros modos, cuando el campo magnético 402 está dentro de la ventana de amplitud "w" por todo el primer intervalo  $T_1$ . En un ejemplo, puede producirse un primer nivel de campo magnético elevado 404A mediante la colocación de un imán permanente externo cerca del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 (por ejemplo, por un usuario tal como un paciente, o un médico, o una o varias otras personas para obtener una indicación del estado de la batería).

En el ejemplo de la figura 4B, el campo magnético 402 puede cruzar el segundo umbral 410 en el instante  $t_3$  y de manera continua puede igualar o superar el segundo umbral 410 por toda una segunda duración especificada, tal como un segundo intervalo  $T_2 = t_4 - t_3$ . En un ejemplo, puede producirse un segundo nivel de campo magnético elevado 404B por un campo magnético externo que tiene una magnitud superior al primer nivel de campo magnético elevado 404A próximo al dispositivo de control del ritmo cardiaco 100. En determinados ejemplos, el campo magnético de magnitud superior puede producirse por un campo magnético estático o dinámico asociado con un procedimiento de formación de imágenes médico diagnóstico tal como formación de imágenes por resonancia magnética (IRM), mediante un equipo pesado tal como un equipo de conmutación o control eléctrico, de soldadura, o motores, o mediante una o varias otras fuentes. En un ejemplo, el dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 puede seleccionar uno o varios modos operativos para inhibir el tratamiento, evitar una detección excesiva o responder de una o varias otras maneras para evitar cambios involuntarios o no deseados en el funcionamiento del dispositivo de control del ritmo cardiaco 100 en presencia del segundo nivel de campo magnético elevado 404 por encima de o igual al segundo umbral 410 por una duración de  $T_2$ .

En un ejemplo, un procesador 103, tal como el mostrado en la figura 1, puede formar parte de un dispositivo de control del ritmo cardiaco que incluye uno o varios sensores magnéticos. En este ejemplo, el procesador 103 puede incluir uno o varios comparadores y puede usarse para comparar el campo magnético 402 con uno o varios umbrales tales como el primer umbral 405 o el segundo umbral 410, tal como usando una representación digital del campo magnético proporcionada por un convertidor analógico-digital 105. En un ejemplo, el procesador 103 puede incluir o controlar uno o varios temporizadores para medir intervalos tales como el primer intervalo  $T_1$ , segundo intervalo  $T_2$ , o uno o varios otros intervalos. En un ejemplo, el procesador 103 puede seleccionar uno o varios modos operativos usando el uno o varios comparadores o temporizadores y usando uno o varios umbrales o intervalos, tales como se muestra en la figura 4.

En determinados ejemplos, el sensor de efecto Hall 107 puede ser una sección, parte o componente incluido en uno o varios otros dispositivos médicos implantables. El uno o varios otros dispositivos médicos implantables pueden incluir un monitor de paciente implantable, un dispositivo de estimulación neuronal, o uno o varios otros dispositivos médicos implantables configurados para monitorizar uno o varios sitios de tejido o para proporcionar electroestimulación a uno o varios sitios de tejido. El uno o varios otros dispositivos médicos implantables pueden incluir uno o varios componentes, partes o secciones mostrados en la figura 1 y comentados con relación al dispositivo de control del ritmo cardiaco 100.

#### Observaciones adicionales

La descripción detallada anterior incluye referencias a los dibujos adjuntos, que forman parte de la descripción detallada. Los dibujos muestran, a modo de ilustración, realizaciones específicas en las que puede ponerse en práctica la invención.

Los ejemplos de procedimiento descritos en el presente documento pueden implementarse con máquina u ordenador al menos en parte. Algunos ejemplos pueden incluir un medio legible por ordenador o medio legible por máquina codificado con instrucciones que pueden hacerse funcionar para configurar un dispositivo electrónico para realizar procedimientos tales como los descritos en los ejemplos anteriores. Una implementación de tales procedimientos puede incluir código, tal como microcódigo, código de lenguaje ensamblador, un código de lenguaje de nivel superior o similar. Tal código puede incluir instrucciones legibles por ordenador para realizar diversos procedimientos. El código puede formar partes de productos de programa informático. Además, el código puede estar almacenado de manera tangible en uno o varios medios legibles por ordenador volátiles o no volátiles durante la ejecución o en otros momentos. Estos medios legibles por ordenador pueden incluir, pero no se limitan a, discos duros, discos magnéticos extraíbles, discos ópticos extraíbles (por ejemplo, discos compactos y discos de vídeo digital), cintas magnéticas, tarjetas o lápices de memoria, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), y similares.

La descripción anterior pretende ser ilustrativa y no restrictiva. Por ejemplo, los ejemplos descritos anteriormente (o uno o varios aspectos de los mismos) pueden usarse en combinación entre sí. El alcance de la invención estará determinado con referencia a las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato que comprende:
- 5 un dispositivo médico implantable (100) que incluye:
- un sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) configurado para detectar un campo magnético y para proporcionar al menos una de una corriente o una tensión en respuesta al campo magnético;
- 10 un procesador (103; 203) acoplado eléctricamente al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B), estando configurado el procesador para seleccionar un modo operativo del dispositivo médico implantable (100) usando al menos una de la corriente o la tensión proporcionadas por el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- 15 un circuito de interrogación (116; 216) acoplado eléctricamente al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) y configurado para proporcionar una tensión de excitación al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- en el que el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B), el procesador (103; 203) y el circuito de interrogación (116; 216) están incluidos en un circuito integrado monolítico compartido en común,
- 20 caracterizado por que
- el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) es rotacionalmente simétrico con una rotación de 90° sobre un eje perpendicular a una superficie del circuito integrado monolítico compartido en común.
- 25 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) está configurado para ajustar al menos una de la corriente o la tensión proporcionadas en respuesta al campo magnético; y
- en el que el procesador (103; 203) está configurado para seleccionar el modo operativo del dispositivo médico implantable (100) en respuesta al ajuste de la al menos una de la corriente o la tensión.
- 30 3. El aparato según la reivindicación 1, en el que el procesador (103; 203) está configurado para seleccionar el modo operativo del dispositivo médico implantable (100) de una lista que incluye al menos uno de:
- (1) un primer modo operativo cuando una magnitud del campo magnético está por debajo de un primer umbral especificado;
- 35 (2) un segundo modo operativo cuando la magnitud del campo magnético supera o es igual al primer umbral especificado por una primera duración especificada; o
- (3) un tercer modo operativo cuando la magnitud del campo magnético además supera o es igual a un segundo umbral especificado por una segunda duración especificada.
- 40 4. El aparato según la reivindicación 3, en el que el primer modo operativo incluye un modo operativo ambulatorio;
- 45 en el que el segundo modo operativo incluye un modo de prueba del estado de la batería;
- en el que el dispositivo médico implantable está configurado para proporcionar una indicación a un usuario correspondiente a un estado de la batería; y
- 50 en el que el tercer modo operativo incluye un modo seguro para formación de imágenes por resonancia magnética (IRM).
5. El aparato según la reivindicación 1, en el que el circuito integrado incluye una heteroestructura configurada para aumentar una movilidad de Hall asociada con el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B).
- 55 6. El aparato según la reivindicación 1, en el que el dispositivo médico implantable (100) incluye:
- un convertidor analógico-digital (105; 205) acoplado eléctricamente al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) y configurado para medir al menos una de la corriente o la tensión proporcionada por el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) en respuesta al campo magnético.
- 60 7. El aparato según la reivindicación 6, en el que el procesador (103; 203) está configurado para controlar uno o varios parámetros de excitación asociados con el circuito de interrogación (116; 216), comprendiendo el uno o varios parámetros al menos uno de:
- 65

- (1) una amplitud de excitación;
- (2) una anchura de impulso de excitación;
- 5 (3) un tiempo entre uno o varios impulsos de excitación; o
- (4) un contacto de excitación para proporcionar la tensión de excitación.
- 10 8. El aparato según la reivindicación 6, en el que el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) y el convertidor analógico-digital (105; 205) están incluidos en el circuito integrado monolítico compartido en común.
9. Un procedimiento que comprende:
- 15 excitar un sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) usando un circuito de interrogación configurado para proporcionar una tensión de excitación al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- detectar un campo magnético usando el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- 20 proporcionar al menos una de una corriente o una tensión en respuesta al campo magnético detectado; y
- seleccionar un modo operativo de un dispositivo médico implantable (100) usando al menos una de la corriente o la tensión,
- 25 en el que el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B), el procesador (103; 203) y el circuito de interrogación (116; 216) están incluidos en un circuito integrado monolítico compartido en común,
- caracterizado por que
- 30 el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B) es rotacionalmente simétrico con una rotación de 90° sobre un eje perpendicular a una superficie del circuito integrado monolítico compartido en común.
10. El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende:
- 35 detectar una magnitud del campo magnético usando el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- comparar la magnitud detectada del campo magnético con al menos uno de un primer umbral especificado o un segundo umbral especificado; y
- 40 seleccionar, en respuesta a la comparación, el modo operativo del dispositivo médico implantable (100) de una lista que incluye al menos uno de:
- (1) un primer modo operativo cuando la magnitud del campo magnético está por debajo del primer umbral especificado;
- 45 (2) un segundo modo operativo cuando la magnitud del campo magnético supera o es igual al primer umbral especificado por una primera duración especificada; o
- (3) un tercer modo operativo cuando la magnitud del campo magnético además supera o es igual a un
- 50 segundo umbral especificado por una segunda duración especificada.
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que la selección del primer modo operativo incluye seleccionar un modo operativo ambulatorio;
- 55 en el que la selección del segundo modo operativo incluye seleccionar un modo de prueba del estado de la batería e incluye proporcionar una indicación a un usuario correspondiente a un estado de la batería; y
- en el que la selección del tercer modo operativo incluye seleccionar un modo seguro para formación de
- 60 imágenes por resonancia magnética (IRM).
12. El procedimiento según la reivindicación 10,
- en el que la monitorización de al menos una de la corriente o la tensión incluye usar un convertidor
- 65 analógico-digital (105; 205) acoplado eléctricamente al sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B), comprendiendo además el procedimiento:

controlar uno o varios parámetros de excitación asociados con la excitación del sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B), incluyendo el uno o varios parámetros de excitación al menos uno de:

- 5 (1) una amplitud de excitación;
- (2) una anchura de impulso de excitación;
- (3) un tiempo entre uno o varios impulsos de excitación; o
- 10 (4) un contacto de excitación para proporcionar la tensión de excitación;
- detectar una magnitud del campo magnético usando el sensor de efecto Hall (107; 207A; 207B);
- 15 comparar la magnitud detectada con una ventana de magnitud especificada; y
- aumentar, en respuesta a la comparación, el tiempo entre uno o varios impulsos de excitación cuando la magnitud detectada está dentro de la ventana especificada por toda una duración especificada.

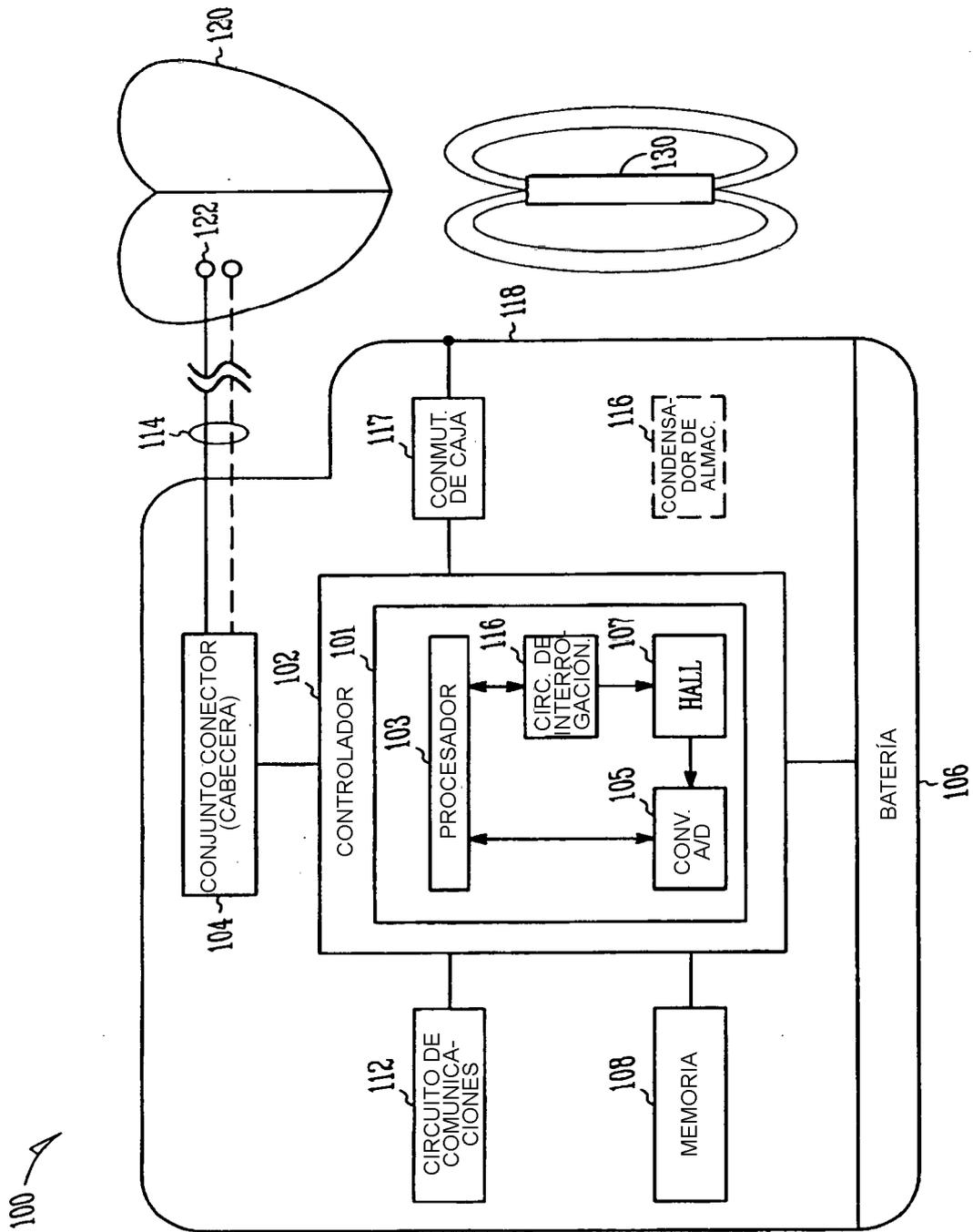


FIG. 1

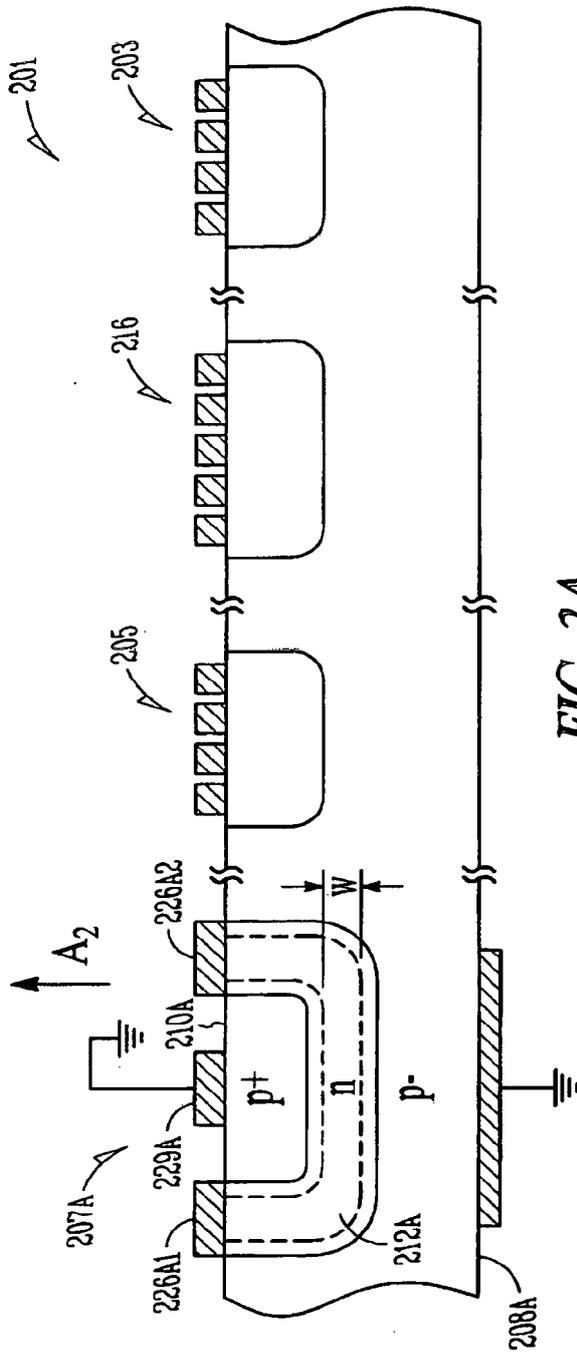


FIG. 2A

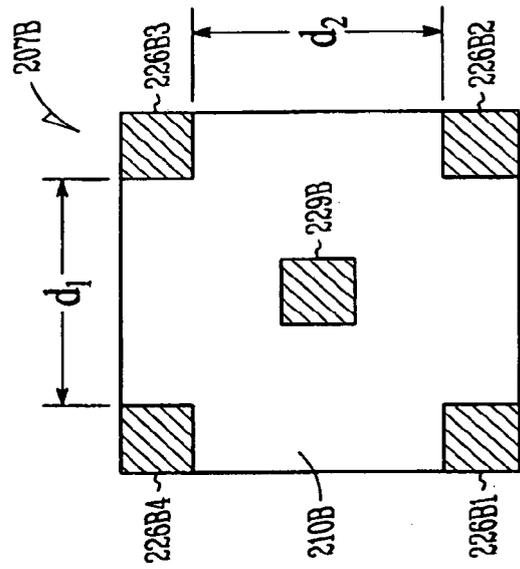
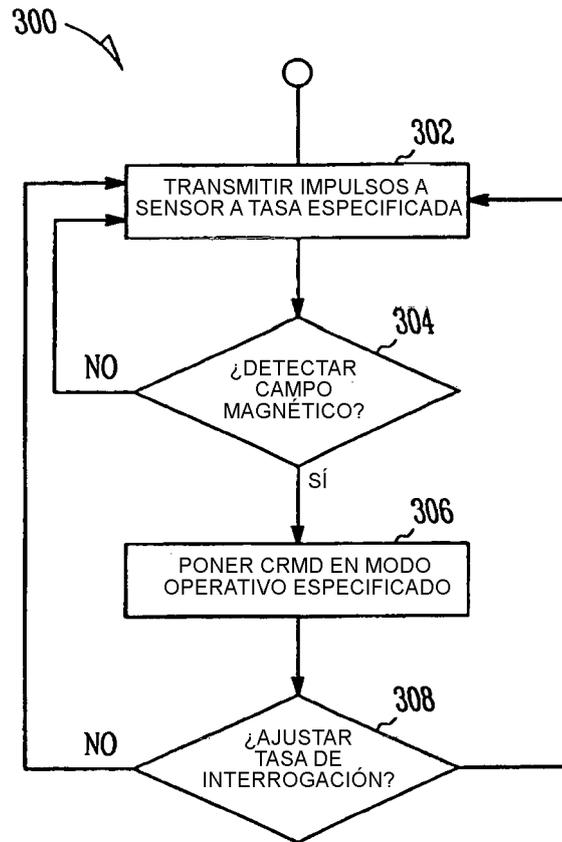


FIG. 2B



*FIG. 3*

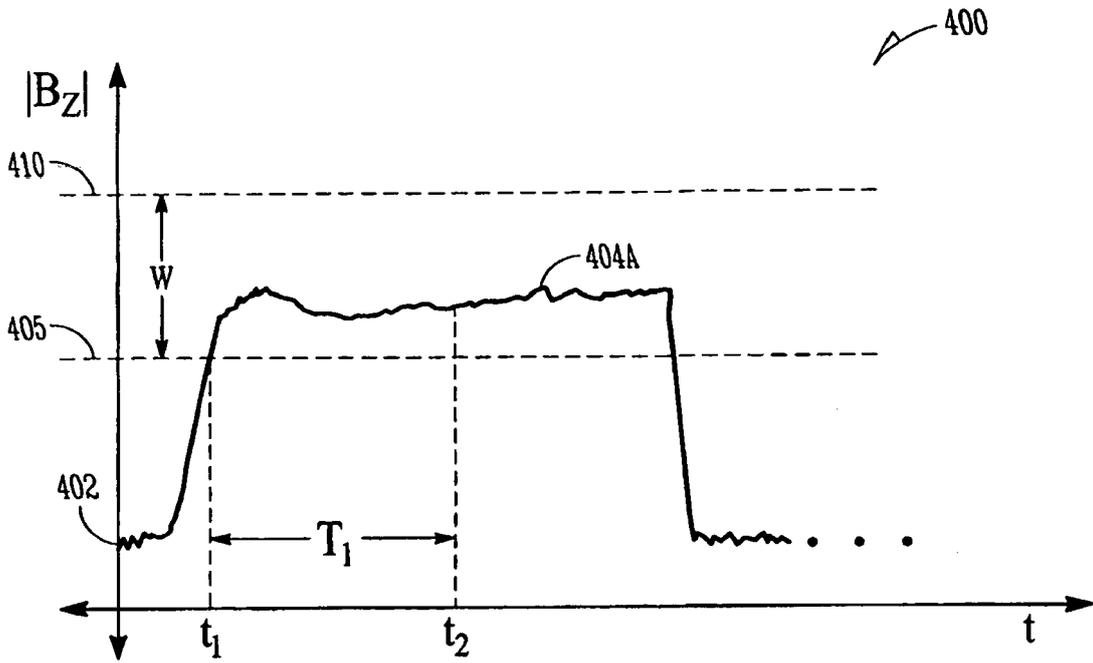


FIG. 4A

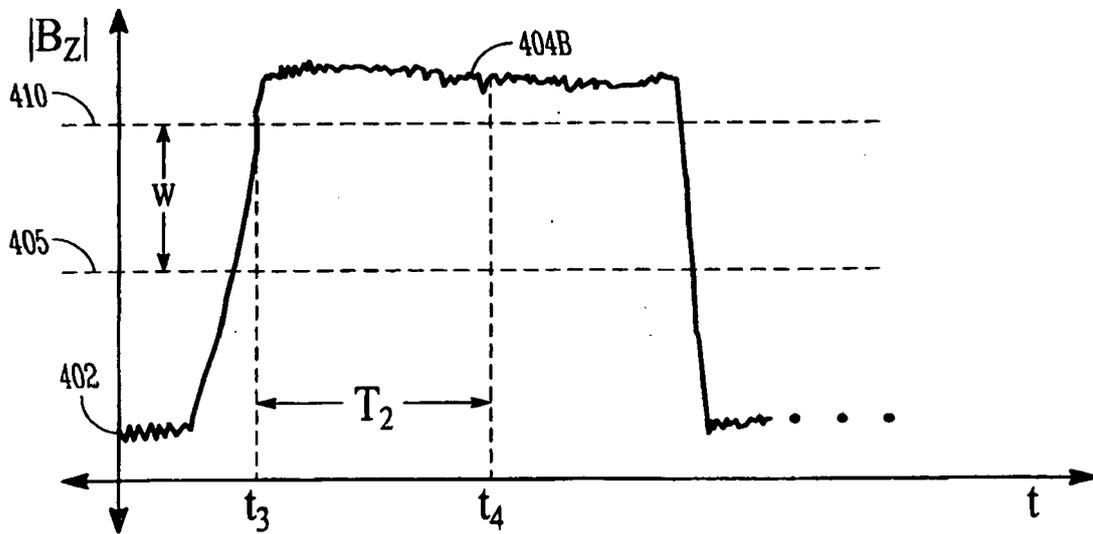


FIG. 4B