(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 971 832**

(51) Int. Cl.:

H05H 7/04 (2006.01)

H03K 3/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2018 PCT/US2018/016208**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2018 WO18148078**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2018 E 18704789 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 3578015**

(54) Título: **Sistema y método para la generación de pulsos de alta potencia en un imán kicker**

(30) Prioridad:

08.02.2017 US 201715427672

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.06.2024

(73) Titular/es:

STANGENES INDUSTRIES, INC. (100.0%)
1052 East Meadow Circle
Palo Alto, CA 94303, US

(72) Inventor/es:

YECKEL, CHRISTOPHER y
CASSEL, RICHARD

(74) Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

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 y método para la generación de pulsos de alta potencia en un imán kicker

Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Esta solicitud reivindica prioridad a la Solicitud de EE. UU. N.º de Serie 15/427,672, presentada el 8 de febrero de 2017, titulada "SYSTEM AND METHOD FOR HIGH POWER PULSE GENERATOR".

Campo de la descripción

Esta divulgación se refiere a la generación de pulsos de alta potencia con un tiempo de subida mínimo para su uso en dispositivos de alimentación tales como un imán *kicker* que requieren pulsos de alta potencia para alimentar rápidamente un imán diseñado para desviar un haz de partículas lejos de o hacia un objetivo.

Antecedentes de la divulgación

Los haces de partículas dirigidas se pueden usar en la investigación, industria y aplicaciones médicas para obtener diversos beneficios. Como ejemplo, un haz de partículas dirigido se puede usar para ionizar células cancerosas, cambiando así las características de las células cancerosas y, a menudo, obstaculizando la capacidad de las células cancerosas para proliferar.

Como mecanismo de seguridad, un operador que controla el haz de partículas dirigido debe ser capaz de terminar o redirigir el haz de partículas lejos de un objetivo, a menudo muy rápidamente. Un método para terminar el haz de partículas consiste simplemente en apagarlo, sin embargo, el tiempo necesario para apagar el haz puede ser largo y, por lo tanto, puede no resultar ser un método eficaz para impedir que el haz incida sobre un objetivo en una situación de emergencia.

Redirigir rápidamente el haz de partículas lejos de un objetivo puede ser una manera eficaz de detener inmediatamente el impacto del haz sobre el cuerpo del objetivo. Pueden emplearse imanes de alta potencia para redirigir el haz. El campo magnético generado por un imán de alta potencia puede hacer que el haz cambie su dirección a través de su interacción con la corriente de partículas aceleradas que conforman el haz de partículas. El campo magnético se puede utilizar para desviar el haz lejos de un objetivo.

En muchas aplicaciones de aceleradores que requieren un imán *kicker* rápido, la radiación generada por haces de partículas puede limitar la proximidad física del modulador al imán. Convencionalmente, el modulador puede estar situado a cientos de pies de distancia del entorno de radiación, aumentando la complejidad y el coste del modulador y el cableado.

La alimentación del imán utilizado para desviar rápidamente el haz puede ser crítica debido al hecho de que, durante el período de tiempo en el que se está acumulando el campo magnético en el imán *kicker*, el haz solo se está desviando parcialmente y puede comenzar a incidir sobre superficies no deseadas tales como los componentes de *hardware* asociados con el haz de partículas u otras áreas circundantes. El haz de partículas debe desviarse lejos del objetivo lo más rápidamente posible y esto puede requerir una rápida alimentación del imán *kicker* (es decir, se debe minimizar la cantidad de tiempo que el circuito tiene un gran voltaje aplicado que da como resultado un rápido aumento de corriente). Además, dado el entorno de radiación en el que operan un haz de partículas y sus componentes electrónicos asociados, el tiempo de aplicación de un alto voltaje debe minimizarse para evitar que las partículas de radiación dañen los componentes electrónicos.

Dada la cantidad de corriente y voltaje requeridos para generar un campo magnético con suficiente fuerza para desviar un haz de partículas, un generador de pulsos tradicional puede no ser adecuado debido al alto voltaje y las corrientes necesarios para acumular el campo magnético. Un generador de pulsos de alta potencia especializado, en el que los componentes del generador pueden manejar la magnitud de corriente y voltaje necesarios para operar el imán *kicker*, mientras que también puede ser necesario generar un pulso con un tiempo de subida rápido para operar eficazmente un imán *kicker*.

Para más antecedentes, el documento WO 2006/137822 describe sistemas y métodos para generar un pulso de alto voltaje. Una serie de celdas de voltaje se conectan de manera que los condensadores de carga se puedan cargar en paralelo y descargar en serie. Cada celda incluye un conmutador principal y un conmutador de retorno. Cuando los conmutadores principales se encienden, los condensadores en las celdas están en serie y se descargan. Cuando los conmutadores principales se apagan y los conmutadores de retorno 0 se encienden, los condensadores se cargan en paralelo. Una o más de las celdas pueden estar inactivas sin impedir que se genere un pulso. La amplitud, duración, tiempo de subida y tiempo de caída pueden controlarse con las celdas de voltaje. Cada celda de voltaje también incluye una red de equilibrio para coincidir con la capacitancia parásita vista por cada celda de voltaje.

Compendio de la divulgación

En consecuencia, se proporciona un sistema y método para generar y suministrar un pulso de alta potencia a un imán *kicker*. El sistema y método puede incluir un circuito configurado para almacenar carga en un inductor durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* no está activado. Cuando se activa el *kicker*, el circuito puede estar configurado de tal manera que la carga almacenada en un inductor sea impulsada inmediatamente hacia el imán *kicker*. Los componentes del circuito pueden incluir características de protección tales como diodos Zener que aseguran que el circuito no resulte afectado negativamente por anomalías que pueden estar presentes en el ambiente de alta potencia de haz de partículas.

La principal susceptibilidad de los circuitos generadores de pulsos a los fallos inducidos por radiación puede consistir en los conmutadores de estado sólido empleados por el circuito que están en un estado abierto que mantiene alto voltaje. Mediante el uso de una topología accionada inductivamente para conmutar la corriente CC que fluye a través de una inductancia considerable en el imán *kicker*, el tiempo que el alto voltaje está a través del conmutador de estado sólido puede minimizarse y ser sustancialmente igual al tiempo de subida y el tiempo de caída de la corriente en el imán *kicker*, aumentando así un tiempo medio de fallo (MTTF, por sus siglas en inglés) del generador de pulsos en el entorno de radiación.

La complejidad de la fuente de energía primaria también se puede reducir a un suministro de alta corriente de bajo voltaje que se puede situar con los controles lejos de la radiación y conectarlo por cableado de alta corriente CC. Este método puede permitir un ancho de pulso y una velocidad de repetición arbitrarios, así como una corriente CC sustancialmente ilimitada en el *kicker* con una caída mínima después de la subida rápida inicial.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un circuito de generación de pulsos de alta potencia ejemplar de acuerdo con ejemplos de la divulgación.

La FIG. 2 ilustra un equivalente de circuito ejemplar de la FIG. 1 cuando el imán *kicker* está en un estado apagado de acuerdo con ejemplos de la divulgación.

La FIG. 3 ilustra un equivalente de circuito ejemplar de la FIG. 2 cuando el imán *kicker* está en un estado encendido de acuerdo con ejemplos de la divulgación.

Descripción detallada

En la presente memoria se describen sistemas y métodos para generar pulsos de alta potencia con tiempos de subida rápidos para su uso en la conducción de una carga magnética tal como la utilizada en un imán *kicker*. Los sistemas y métodos descritos en la presente memoria se pueden utilizar para garantizar que un imán *kicker* reciba un pulso de corriente de alta potencia con un tiempo de subida mínimo cuando un usuario del *kicker* del imán activa el imán.

Los sistemas y el método emplean un circuito que incluye un primer inductor con una inductancia grande para acumular y almacenar un campo magnético durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* no está siendo operado. Cuando se activa el imán *kicker*, la configuración del circuito se conmuta de modo que la energía almacenada en el primer inductor induce rápidamente un gran voltaje a través del imán *kicker*, asegurando de este modo que el imán *kicker* se active rápidamente y con una corriente y un campo magnético suficientes para provocar que el haz de partículas se desvíe.

La FIG. 1 ilustra un circuito de generación de pulsos de alta potencia ejemplar de acuerdo con ejemplos de la divulgación. El circuito 100 puede configurarse para activar rápidamente un imán *kicker* 124. El imán *kicker* 124 puede ser un electroimán de baja impedancia que puede redirigir un haz de partículas una vez que se activa el imán. El imán *kicker* 124 debe activarse rápidamente debido al hecho de que, mientras el campo magnético se está acumulando en el imán *kicker* (durante el tiempo que la corriente a través del imán *kicker* está subiendo), el haz solo puede desviarse parcialmente y solo se desviará completamente una vez que el imán *kicker* reciba la cantidad completa de corriente. En el ejemplo de un haz de partículas de alta energía, una desviación parcial puede colocar una gran cantidad de energía (calor o radiación) en una parte del acelerador (es decir, un tubo de vacío) que puede no ser capaz de manejar la cantidad incrementada de energía.

En un ejemplo, con el fin de energizarse rápidamente, el imán *kicker* 124 puede requerir que la corriente que fluye a través del imán *kicker* aumente de 0 amperios a 700 en ~ un microsegundo. Debido a este requisito, los métodos convencionales para energizar un dispositivo pueden no ser suficientes. Como un ejemplo, simplemente conectar el imán *kicker* a una fuente de energía que puede accionar 700 amperios puede no ser suficiente debido al hecho de que dichos métodos generalmente requieren un milisegundo o más para que la

corriente aumente. Esto puede deberse al hecho de que la inductancia en el imán *kicker* 124 puede requerir que se le aplique un alto voltaje con el fin de obtener un tiempo de subida de corriente rápido.

Por lo tanto, el circuito 100 puede ser alimentado por una fuente/suministro 102 de alimentación que puede generar sustancialmente toda la potencia de cebado para el circuito. Como ejemplo, la fuente 102 de alimentación puede configurarse para generar aproximadamente 12,5 voltios a 800 amperios de manera que, durante la operación del sistema cuando la fuente de alimentación está encendida, puede estar generando los 700 amperios requeridos por el imán *kicker* 124, que pueden generarse independientemente de si el imán *kicker* se ha activado o no.

El circuito 100 incluye dos conjuntos separados de conmutadores. El primer conjunto de conmutadores 104, 106, 108, 110, conecta la fuente 102 de alimentación a un inductor 120, preferiblemente durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* no se ha activado. Los conmutadores 104, 106, 108 y 110 pueden implementarse como transistores (teniendo cada uno de ellos una base, un colector y un emisor) que están clasificados para aplicaciones de alta potencia. Aunque se muestra que el circuito 100 incluye cuatro conmutadores separados, un experto en la técnica reconocería que el número de conmutadores podría ser mayor o menor, y depende de las clasificaciones de potencia y voltaje de los conmutadores utilizados para implementar el circuito 100. En un ejemplo, los conmutadores 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116 y 118 pueden implementarse como transistores bipolares de puerta aislada (IBGT, por sus siglas en inglés).

El circuito 100 incluye un segundo conjunto de conmutadores 112, 114, 116 y 118. El segundo conjunto de conmutadores 112, 114, 116, 118, cuando se activa, conecta la fuente 102 de alimentación y el inductor 120 al imán *kicker* 124, preferiblemente durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* está activado. Los conmutadores 112, 114, 116 y 118 pueden implementarse como transistores (teniendo cada uno de ellos una base, un colector y un emisor) que están clasificados para aplicaciones de alta potencia. Aunque se muestra que el circuito 100 incluye cuatro conmutadores separados, un experto en la técnica reconocería que el número de conmutadores podría ser mayor o menor, y depende de las clasificaciones de potencia y voltaje de los conmutadores utilizados para implementar el circuito 100.

Usando el primer y segundo conjuntos de conmutadores, el circuito 100 puede operarse en dos configuraciones separadas que pueden excluirse mutuamente entre sí. En una configuración, el circuito 100 puede configurarse para cargar el inductor 120 durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* no se ha activado. En otra configuración, el circuito 100 puede configurarse para transferir la carga almacenada en el inductor 120 en el imán *kicker* 124 durante un período de tiempo en el que el imán *kicker* está activado.

La FIG. 2 ilustra un equivalente de circuito ejemplar de la FIG. 1 cuando el imán *kicker* está en un estado apagado de acuerdo con ejemplos de la divulgación. El ejemplo de la FIG. 2 ilustra la configuración del circuito 100 de la FIG. 1 cuando el imán *kicker* está en un estado apagado. Cuando el imán *kicker* 124 está en un estado apagado, los conmutadores 112, 114, 116 y 118 se pueden apagar. Los conmutadores 112, 114, 116 y 118 se pueden desconectar aplicando una cantidad apropiada de voltaje a las puertas del voltaje utilizando los accionadores 132a y 132b de puerta. Los accionadores 132a y 132b de puerta pueden proporcionar un voltaje necesario para hacer que los conmutadores 112, 114, 116 y 118 no permitan que la corriente fluya entre sus respectivos colectores y emisores. De esta manera, los conmutadores 112, 114, 116 y 118 pueden ser circuitos efectivamente abiertos que no permiten que la corriente pase a través del conmutador. En el ejemplo de la FIG. 2, los conmutadores 112, 114, 116 y 118 están marcados con "X" a través de ellos para representar que están abiertos.

Mientras que los conmutadores 112, 114, 116 y 118 están abiertos, los conmutadores 104, 106, 108 y 110 están cerrados. Los accionadores 132d y 132c de voltaje de puerta pueden proporcionar un voltaje apropiado a las puertas de los conmutadores 104, 106, 108 y 110 respectivamente para cerrar los conmutadores, proporcionando así una vía para fluir entre el colector y el emisor de cada conmutador. Estableciendo vías de corriente a través de los conmutadores, la corriente que fluye desde la fuente 102 de alimentación puede pasar a través del inductor 120, que puede tener una inductancia grande. Como ejemplo, el inductor 120 puede tener una inductancia de 360 µH. La fuente 102 de alimentación durante esta configuración del circuito 100 puede generar aproximadamente 5 voltios a 800 amperios. La corriente generada por la fuente 102 de alimentación puede fluir a través del inductor 120 y luego a través de los conmutadores 104, 106, 108 y 110 antes de regresar a la fuente 102 de alimentación.

Como se ha descrito, en la configuración ilustrada en la FIG. 2, la fuente 102 de alimentación está configurada para bombear corriente a través del inductor 120. La corriente que fluye a través del inductor 120 acumula un campo magnético en el inductor. El campo magnético se acumula en el inductor 120 hasta que el circuito alcanza un estado estacionario y el campo magnético en el inductor 120 permanece constante. Este campo magnético puede permanecer en el inductor 120 hasta que el circuito 100 se conmuta a la segunda configuración.

La FIG. 3 ilustra un equivalente de circuito ejemplar de la FIG. 2 cuando el imán *kicker* está en un estado encendido de acuerdo con ejemplos de la divulgación. El ejemplo de la FIG. 2 puede ilustrar la configuración del circuito 100 de la FIG. 1 cuando el imán *kicker* está activado. Cuando se activa el imán *kicker*, los conmutadores 112, 114, 116 y 118 pueden activarse (es decir, se puede aplicar un voltaje a sus puertas respectivas para permitir que la corriente fluya entre los colectores y emisores de cada conmutador), mientras que, simultáneamente, los conmutadores 104, 106, 108 y 110 se pueden apagar (es decir, se puede aplicar un voltaje a sus puertas respectivas para que sustancialmente no fluya corriente entre los colectores y emisores de cada conmutador). Con los conmutadores 104, 106, 108 y 110 apagados, estos conmutadores actúan efectivamente como circuitos abiertos (indicados por las "X" en la figura), mientras que los conmutadores 112, 114, 116 y 118 pueden proporcionar una nueva vía para que fluya la corriente generada por la fuente 102 de alimentación.

Después de haber acumulado un campo magnético en el inductor 120 cuando el imán *kicker* no está activo y el circuito está en la configuración descrita con respecto a la FIG. 2, al activar los conmutadores 112, 114, 116 y 118 y simultáneamente desactivar los conmutadores 104, 106, 108 y 110, el flujo de corriente del circuito 100 puede ser redirigido a través de los conmutadores activos y al imán *kicker* 124.

Como se ha explicado anteriormente con respecto a la FIG. 2, dado que una corriente de 700 amperios fluía a través del inductor en la primera configuración, cuando la configuración del circuito se cambia a la configuración ilustrada en la FIG. 3, el inductor 120 puede resistir el cambio del flujo de la corriente provocado por los conmutadores cambiantes, y puede generar cualquier voltaje a través del inductor para resistir el cambio en el flujo de la corriente. Aprovechando este hecho, la relación de inductancia entre el inductor 120 y la inductancia en el imán *kicker* 124 puede diseñarse de modo que el inductor 120 produzca suficiente voltaje para impulsar 700 amperios dentro del imán *kicker* 124 en ~ un microsegundo. Como se ha mencionado más arriba, el inductor 120 puede tener un valor de inductancia de 360 µH. Con el fin de provocar que el voltaje en el inductor 120 sea lo suficientemente alto cuando el circuito se conmuta para impulsar 700 amperios de corriente en el imán *kicker* 124, la inductancia del imán *kicker* puede configurarse para que sea de aproximadamente 6,5 µH. Ajustando la relación entre las inductancias del inductor 120 y el imán *kicker* 124 en consecuencia, cuando se activa el imán *kicker*, el voltaje en el imán *kicker* 124 puede ser de aproximadamente 5000 V, haciendo así que la corriente que fluye a través del imán *kicker* 124 sea de aproximadamente 700 A. El aumento en el voltaje y el suministro de corriente pueden tener lugar en ~ un microsegundo.

Una vez que la corriente a través del imán *kicker* es igual a 700 A, que puede ser la misma cantidad de corriente que fluye a través del inductor 120, el alto voltaje a través del inductor puede ya no ser necesario para mantener el flujo de corriente en 700 A y el voltaje puede caer a un valor mínimo ya que la resistencia del imán *kicker* puede ser pequeña. De este modo, después de que la corriente aumente hasta el valor deseado en el imán *kicker*, la fuente 102 de alimentación puede proporcionar aproximadamente 700 A a través del inductor 120, a través de los conmutadores 112, 114, 116 y 118, a través del imán *kicker* 124, y luego de vuelta a la fuente de alimentación.

Cuando un operador del circuito desea apagar el imán *kicker*, se pueden abrir los conmutadores 112, 114, 116 y 118, mientras que los conmutadores 104, 106, 108 y 110 se pueden cerrar, de modo que el circuito vuelve a la primera configuración arriba descrita con respecto a la FIG. 2, y el inductor 120 comienza a acumular un campo magnético.

Al usar inductores para impulsar corriente en lugar de usar condensadores, el tiempo en el que el generador de pulsos opera a un alto voltaje puede minimizarse. En un impulsor de corriente para un imán *kicker* que utiliza condensadores para almacenar voltaje, un condensador puede permanecer asentado durante un período de tiempo indefinido a un alto voltaje. El voltaje puede entonces ser transferido a través del conmutador o los conmutadores y finalmente al imán *kicker*. Esta transferencia puede generar en el imán *kicker* un alto voltaje que puede permanecer en el imán *kicker* durante una cantidad indefinida de tiempo. Durante esta cantidad indefinida de tiempo, la radiación (del haz de partículas) puede incidir en el conmutador debido a su proximidad al haz y hacer que se cierre erróneamente. Esto puede ser especialmente cierto ya que el alto voltaje a través del conmutador ya puede estar proporcionando presión para que el conmutador se cierre. De este modo, el imán *kicker* podría activarse potencialmente sin la intervención del operador y podría causar daño al sistema.

Usando inductores en lugar de capacitores para impulsar la corriente, en lugar de almacenar voltaje, el sistema almacena corriente. Esto puede permitir que el circuito solo tenga un alto voltaje presente para los ~1 µS que requiere la corriente para subir y bajar en el imán *kicker*, minimizando así la posibilidad de que la radiación provoque un evento de fallo de encendido en un conmutador.

Cuando el circuito 100 se conmuta desde la configuración ilustrada en la FIG. 2 a la configuración ilustrada en la FIG. 3, el alto voltaje transitorio experimentado por el circuito puede dejar los componentes individuales del circuito siendo susceptibles de daños. Específicamente, el alto voltaje puede provocar que los conmutadores 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116 y 118 resulten dañados. Con el fin de proporcionar una protección robusta a los conmutadores, el circuito 100 puede emplear métodos para proteger los conmutadores.

Haciendo referencia de nuevo a la FIG. 1, cada conmutador 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116 y 118 puede configurarse con un diodo Zener 126a-h respectivamente para proteger al conmutador frente a daños por eventos de alto voltaje. Cada diodo Zener 126a-h puede conectar el colector de cada conmutador a su puerta. El voltaje de ruptura de cada diodo Zener puede seleccionarse para hacerlo adecuado para los voltajes que el conmutador unido al diodo probablemente experimentará durante la operación del circuito 100. Por lo tanto, como un ejemplo, los diodos Zener 126e-h que están conectados a los conmutadores 112, 114, 116 y 118 respectivamente se pueden elegir para que tengan un voltaje de ruptura de aproximadamente 500 V. Los conmutadores 112, 114, 116 y 118 pueden clasificarse para 1200 V de manera que dejen una cantidad sustancial de margen entre la clasificación de potencia total del conmutador y el voltaje de ruptura de diodo Zener de los diodos utilizados para proteger el conmutador. Por lo tanto, durante el funcionamiento del circuito, si el voltaje a través de los conmutadores 112, 114, 116 y 118 excede de 500 V cuando los conmutadores están en estado apagado (es decir, la configuración de la FIG. 2), los diodos Zener 126e-h pueden ser activados de esta manera encendiendo de nuevo la puerta de cada conmutador y haciendo que el conmutador sea conductor. Cuando los conmutadores 112, 114, 116 y 118 son forzados a conducir por los diodos Zener 126e-h, el voltaje a través de cada conmutador puede colapsar/reducir el voltaje a través del mismo, protegiendo así al conmutador frente a daños.

Los diodos Zener 126a-d asociados a los conmutadores 104, 106, 108 y 110 pueden funcionar sustancialmente de la misma manera. Los conmutadores 104, 106, 108 y 110 pueden clasificarse para 6500 V mientras que los diodos Zener 126a-d pueden elegirse para tener un voltaje de ruptura de 4 kV proporcionando así un margen entre la clasificación del conmutador y el voltaje de ruptura del diodo Zener. De manera sustancialmente igual a la arriba explicada, cuando el voltaje a través de los conmutadores 104, 106, 108 y 110 excede de 4 kV, los diodos Zener 126a-d pueden activarse, proporcionando de este modo una vía conductora entre el colector y las puertas de cada conmutador. La vía conductora se puede utilizar para colapsar/reducir el voltaje a través de cada conmutador, proporcionando de esta manera protección para el circuito.

Como un medio secundario para proporcionar protección a los conmutadores en el circuito 100, cada conmutador 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116 y 118 puede tener un diodo Zener 128a-d más grande situado a través de todo el conmutador. Como se ilustra en la FIG. 1, el diodo Zener 128a grande puede situarse a través de los conmutadores 104 y 106, 128b puede situarse a través de los conmutadores 108 y 110, 128c puede situarse a través de los conmutadores 116 y 118, y 128d puede situarse a través de los conmutadores 112 y 114. Los diodos Zener 128a-d grandes pueden tener una clasificación más alta que los diodos Zener 126a-h. Como ejemplo, los diodos Zener 128a y 128b pueden clasificarse para 5kV a 700 A mientras que los diodos Zener 128c y 128d pueden clasificarse a 600 V a 700 A. De esta manera, si los diodos Zener 126a-h fallan por cualquier razón, los diodos Zener más grandes pueden configurarse para colapsar el voltaje a través del conmutador si surge la necesidad.

Además de los mecanismos de protección arriba descritos, el circuito 100 también puede incluir *hardware* de diagnóstico dedicado. Haciendo referencia a la FIG. 1, el circuito 100 puede incluir medidores 134a y 134b de corriente que pueden medir la corriente que fluye al imán *kicker* 124. El circuito 100 también puede incluir un circuito 136 divisor de voltaje que puede medir el voltaje a través del voltaje del *kicker* 124. Estos instrumentos de diagnóstico pueden permitir que un operador del circuito 100 asegure que el imán *kicker* 124 está recibiendo la cantidad deseada de corriente en la cantidad deseada de tiempo cuando el imán *kicker* está activado.

La descripción anterior, con fines explicativos, se describe con referencia a realizaciones específicas. Sin embargo, las descripciones ilustrativas arriba indicadas no pretenden ser exhaustivas ni limitar la invención a las formas precisas descritas. Se pueden realizar muchas modificaciones y variaciones en vista de las anteriores explicaciones. Las realizaciones se han elegido y descrito con el fin de explicar mejor los principios de las técnicas y sus aplicaciones prácticas. Por lo tanto, otros expertos en la técnica pueden utilizar mejor las técnicas y diversas realizaciones con diversas modificaciones que sean adecuadas para el uso particular contemplado.

Aunque la descripción y los ejemplos se han descrito completamente con referencia a las figuras adjuntas, se debe observar que son posibles diversos cambios y modificaciones dentro de la extensión de la invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (100) para generar pulsos de corriente en un imán kicker (124), comprendiendo el dispositivo:

uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110), uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) y un inductor (120);

en donde, cuando los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) están activados, el dispositivo está configurado para generar una vía para que una corriente fluya desde una fuente de alimentación al inductor (120) a través de los uno o más primeros conmutadores;

en donde, cuando los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) están activados, el dispositivo está configurado para generar una vía para que una corriente fluya desde el inductor (120) hasta el imán kicker (124) a través de los uno o más segundos conmutadores;

en donde el dispositivo está configurado para activar los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) y desactivar los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) durante un segundo período de tiempo;

caracterizado por que

el dispositivo (100) está configurado para activar los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) y desactivar los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) durante un primer período de tiempo de manera que la corriente que fluye a través del inductor (120) alcanza un estado estacionario y mantiene un campo magnético constante en el inductor (120).

2. El dispositivo (100) de la reivindicación 1, en donde, durante el primer periodo de tiempo, el dispositivo está configurado para desactivar el imán kicker (124).

3. El dispositivo (100) de la reivindicación 2, en donde, durante el primer periodo de tiempo, el dispositivo está configurado para almacenar un campo magnético en el inductor (120).

4. El dispositivo (100) de la reivindicación 3, en donde, durante el segundo periodo de tiempo, el dispositivo está configurado para activar el imán kicker (124).

5. El dispositivo (100) de la reivindicación 4, en donde, durante el segundo periodo de tiempo, el dispositivo está configurado para inducir una corriente en el imán kicker (124) utilizando el campo magnético generado y almacenado en el inductor (120) durante el primer periodo de tiempo.

6. Un método para generar pulsos de corriente en un imán kicker, comprendiendo el método:

operar un dispositivo (100) en una primera configuración, que comprende:

activar uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110), en donde los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110), cuando están activos, están configurados y dispuestos para proporcionar una vía para que una corriente fluya desde una fuente de alimentación, a través de los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110), y al inductor (120); y

desactivar uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118);

en donde la activación de los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) y la desactivación de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) tienen lugar durante un primer período de tiempo de manera que la corriente que fluye a través del inductor (120) alcanza un estado estacionario y mantiene un campo magnético constante generado en el inductor (120); y

operar el dispositivo (100) en una segunda configuración, que comprende:

activar uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118), en donde los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118), cuando están activos, están configurados y dispuestos para proporcionar una vía para que una corriente fluya desde el inductor (120) hasta el imán kicker (124) a través de los uno o más segundos conmutadores;

desactivar los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110); y

en donde la activación de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) y la desactivación de los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) tienen lugar durante un segundo período de tiempo.

7. El método de la reivindicación 6, en donde el funcionamiento del dispositivo en la primera configuración corresponde al imán kicker (124) desactivado.

8. El método de la reivindicación 7, en donde, mientras el dispositivo está funcionando en la primera configuración, se almacena un campo magnético en el inductor (120).

9. El método de la reivindicación 8, en donde el funcionamiento del dispositivo en la segunda configuración corresponde al imán kicker (124) activado, opcionalmente en donde, mientras el dispositivo está funcionando en la segunda configuración, el campo magnético generado y almacenado en el inductor (120) durante el primer período de tiempo induce una corriente en el imán kicker (124).

10. El dispositivo de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 6, en donde una relación de una inductancia del inductor (120) y una inductancia del imán kicker (124) es tal que el inductor está configurado para producir suficiente voltaje en aproximadamente un microsegundo para provocar que la corriente que fluye a través del imán kicker se eleve de 0 a 700 amperios y accione el imán kicker.

11. El dispositivo de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 6, en donde cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores tiene uno o más primeros diodos Zener (126a-d) que conectan un colector de cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores a una puerta de cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores, opcionalmente en donde los uno o más primeros diodos Zener (126a-d) tienen un voltaje de ruptura que es menor que una clasificación de voltaje del conmutador de los uno o más primeros conmutadores a los que está conectado.

12. El dispositivo de la reivindicación 11, o el método de la reivindicación 11, en donde cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) tiene uno o más segundos diodos Zener (128a-b) que conectan un colector de cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores (104, 106, 108, 110) a un emisor de cada conmutador de los uno o más primeros conmutadores, opcionalmente en donde un voltaje de ruptura de los uno o más segundos diodos Zener (128a-b) es mayor que el voltaje de ruptura de los uno o más primeros diodos Zener (126a-d) y es menor que una clasificación de voltaje de los uno o más primeros conmutadores.

13. El dispositivo de la reivindicación 1 o el método de la reivindicación 6, en donde cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) tiene uno o más terceros diodos Zener (126e-h) que conectan un colector de cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) a una puerta de cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores, opcionalmente en donde los uno o más terceros diodos Zener (126e-h) tienen un voltaje de ruptura que es inferior a la clasificación de voltaje del conmutador de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) al que está conectado.

14. El dispositivo de la reivindicación 13 o el método de la reivindicación 13, en donde cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118) tiene uno o más cuartos diodos Zener (128c-d) que conectan un colector de cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores a un emisor de cada conmutador de los uno o más segundos conmutadores, opcionalmente en donde un voltaje de ruptura de los uno o más cuartos diodos Zener (128c-d) es mayor que el voltaje de ruptura de los uno o más terceros diodos Zener (128a-b) y es menor que una clasificación de voltaje de los uno o más segundos conmutadores (112, 114, 116, 118).

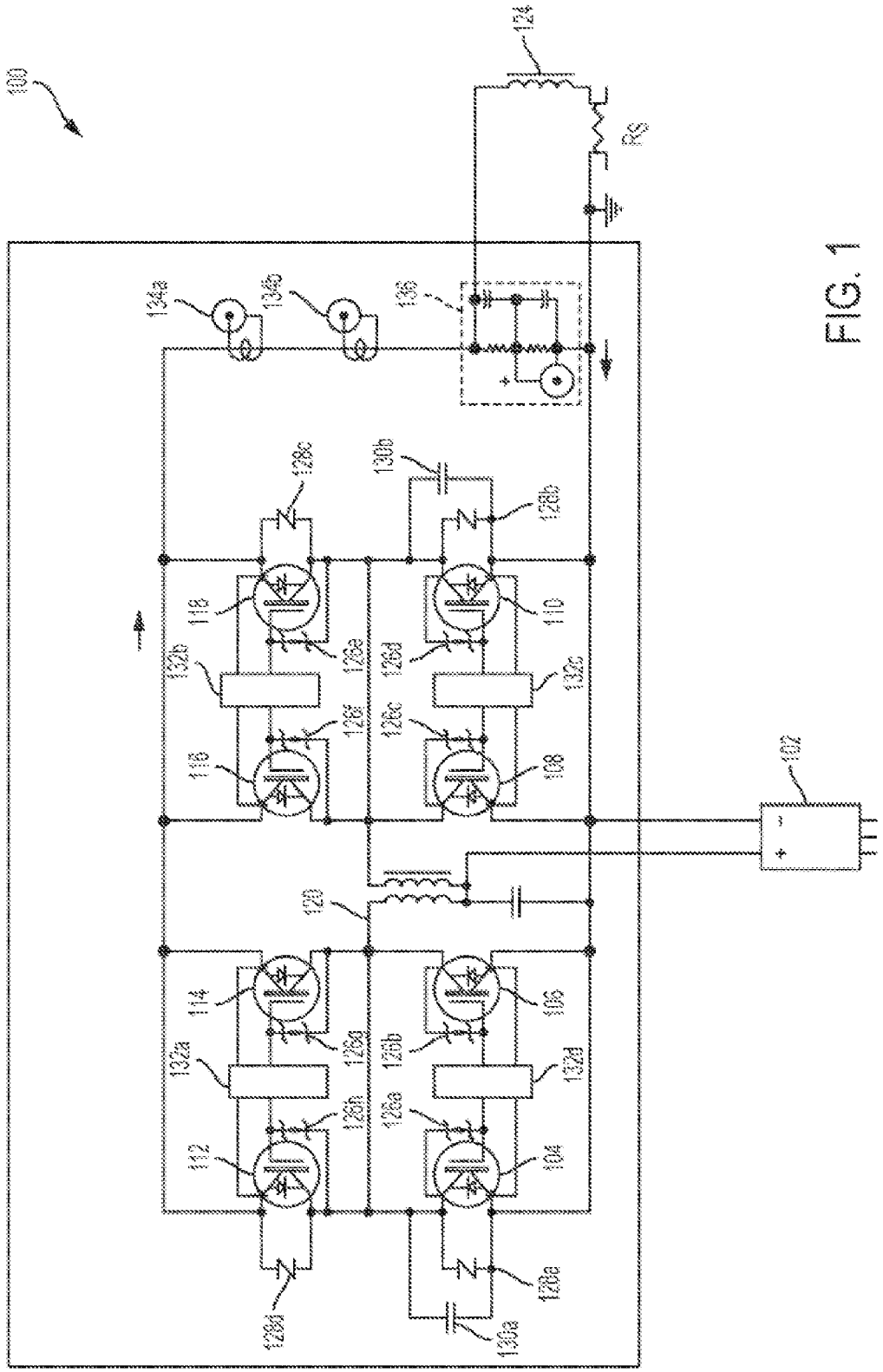
100
124
Rs
134a
134b
136
128c
130b
128b
118
110
126e
126d
132b
132c
126f
126c
116
108
102
120
114
106
126a
126b
132a
132d
126b
126a
112
104
128d
120a
130a

FIG. 1

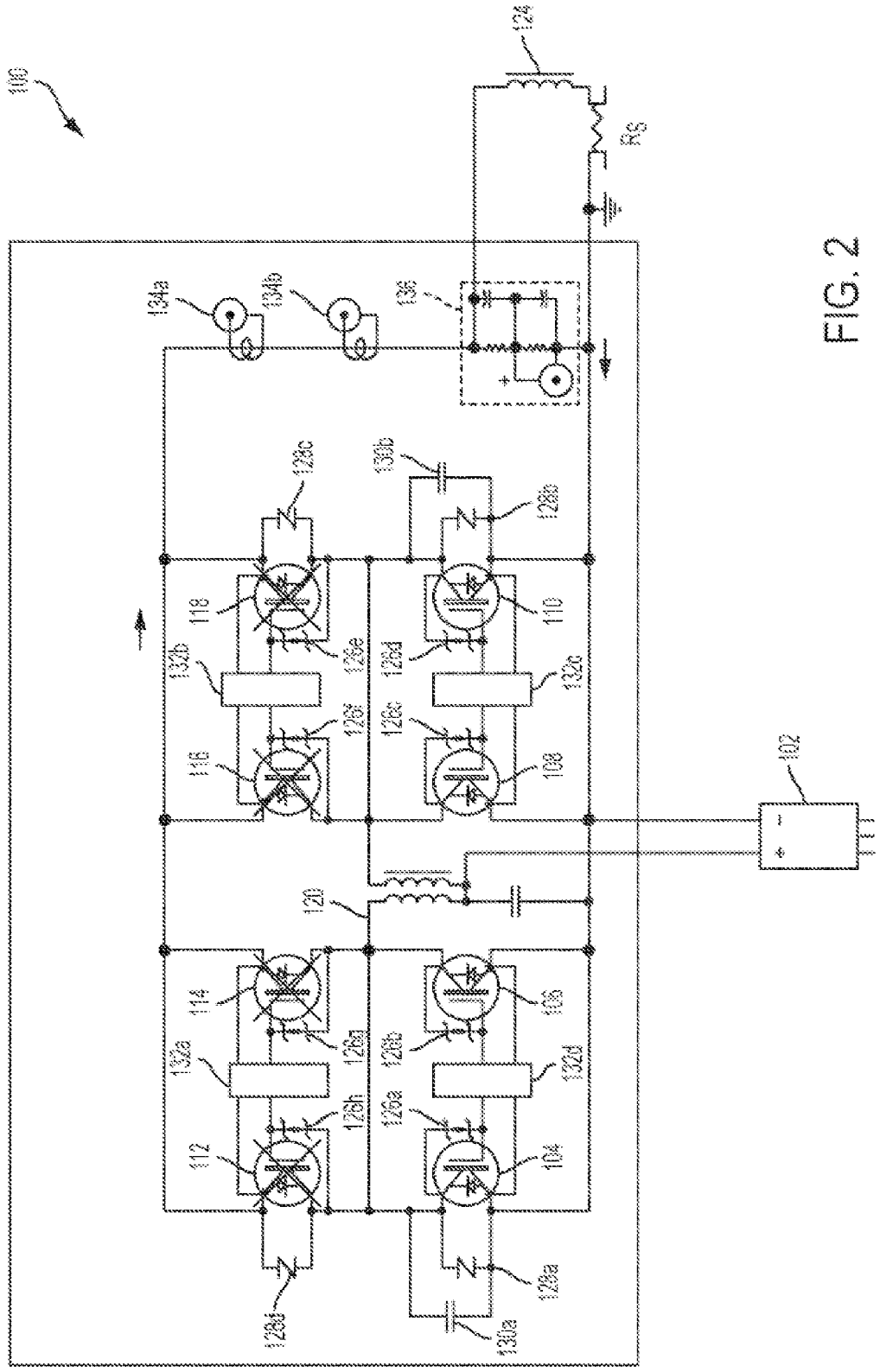
100
124
Rs
134a
134b
136
128c
130b
128b
118
110
126e
126d
132b
132c
126f
126c
116
108
102
120
114
106
126g
128a
132a
132d
126h
126a
112
104
128d
130a
129a

FIG. 2

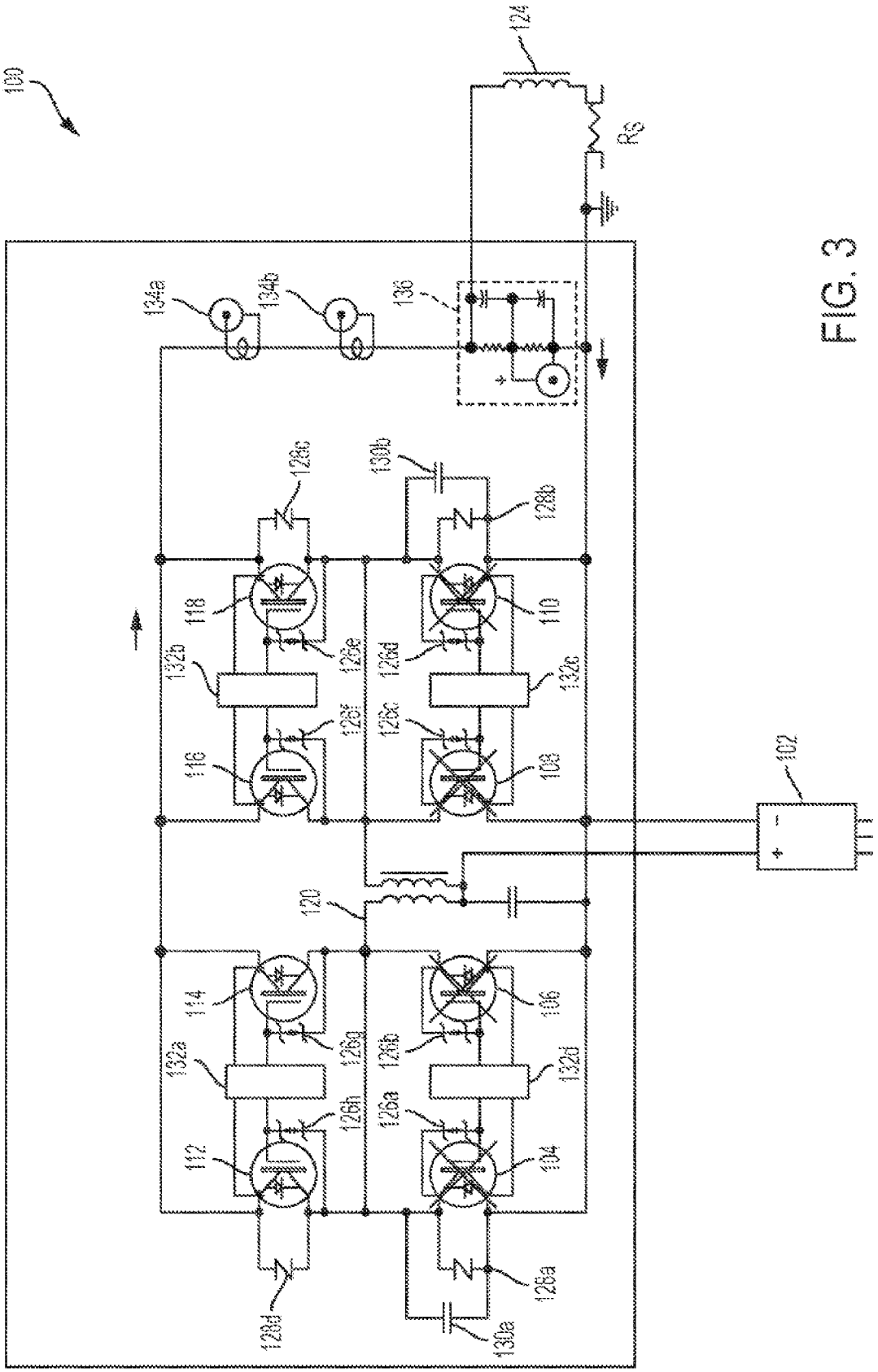
100
124
Rs
134a
134b
136
128c
130b
128b
118
110
132b
126e
126d
132c
128f
126c
116
108
102
120
114
106
132a
126g
126b
132d
126h
126a
112
104
128d
126a
130a

FIG. 3