

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 749**

51 Int. Cl.:

G06F 9/455 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2008 PCT/US2008/081034**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.04.2010 WO10047711**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008 E 08877629 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 2350824**

54 Título: **Sistema y método para emular un diodo ideal en un dispositivo de control de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.11.2020

73 Titular/es:

**LEACH INTERNATIONAL CORPORATION
(100.0%)
6900 Orangethorpe Avenue, P.O.Box 5032
Buena Park, CA 90622-5032, US**

72 Inventor/es:

**TOFIGH, FARSHID y
KRUPPA, OTMAR**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 793 749 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 y método para emular un diodo ideal en un dispositivo de control de energía

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para emular un diodo ideal para su uso en un dispositivo de control de energía. Más específicamente, la presente invención se refiere a un sistema y método para controlar un transistor para emular un diodo ideal.

10 Los diodos convencionales se utilizan en cualquier número de aplicaciones y, más específicamente, en aplicaciones que implican rectificación. Por ejemplo, los diodos a menudo se usan en sistemas de conversión de energía para convertir corriente alterna en corriente continua, para protección contra sobretensión y para bloquear corrientes inversas en sistemas que tienen múltiples fuentes de alimentación (por ejemplo, una fuente de energía ininterrumpida). La caída de tensión a través de un diodo convencional y la disipación de energía correspondiente generalmente se consideran valores relativamente pequeños. Sin embargo, por lo general, los sistemas de conversión de energía incluyen conversión de alta frecuencia y las pérdidas debidas a la disipación de energía del diodo pueden llegar a ser sustanciales. En tal caso, los diodos convencionales pueden ser ineficientes en comparación con los diodos que tienen características aproximadamente ideales (por ejemplo, caída de tensión insignificante).

20 Se han propuesto diodos teóricos ideales que poseen ciertas características preferidas. Tales diodos ideales teóricos se comportarían como un cortocircuito cuando se polarizan hacia adelante y como un circuito abierto cuando se polarizan inversamente. En otras palabras, un diodo ideal no disiparía energía en ninguna dirección. Empíricamente no existe tal diodo ideal, sin embargo, aproximar ese comportamiento ideal proporcionaría beneficios significativos relacionados con la eficiencia y el rendimiento del circuito.

30 La caída de tensión real y la consiguiente disipación de energía en los diodos convencionales utilizados en los sistemas de conversión de energía pueden ser sustanciales en condiciones de alta corriente. En algunos casos, la caída de tensión en un solo diodo puede ser tan alta como 1,2 voltios. En algunas aplicaciones de conversión de energía, la corriente a través de un diodo puede variar de 50 a 400 amperios. Para un diodo con una caída de tensión de 1,2 voltios con 400 amperios, 480 vatios de energía se disipan. Tal disipación de energía a gran escala puede afectar negativamente la confiabilidad de la electrónica utilizada dentro o en conjunto con el sistema de conversión de energía. En algunas circunstancias, por ejemplo, dicha disipación requiere el uso de un disipador de calor sustancial. Por consiguiente, la caída de tensión a través de un diodo influye mucho en la eficiencia y puede requerir componentes especializados para disipar el calor sustancial generado. Los problemas mencionados anteriormente se resuelven mediante un circuito de acuerdo con la reivindicación 1.

40 El documento US6301133B1 describe un sistema de suministro de energía con un elemento OR y un circuito de control. El documento EP 0736959 A1 describe una fuente de alimentación de modo conmutado y un circuito de control de la misma.

Sumario de la invención

45 Los aspectos de la invención se refieren a un sistema para emular un diodo ideal para su uso en un dispositivo de control de energía. En una realización, la invención se refiere a un circuito para emular un diodo ideal, el circuito incluye al menos un transistor de efecto de campo que incluye una fuente, un drenaje, una puerta, un diodo de cuerpo y un comparador que incluye una primera entrada acoplada a la fuente, una segunda entrada acoplada al drenaje y una salida acoplada a la puerta, en el que el comparador está configurado para activar al menos un transistor de efecto de campo en función de si la tensión en la fuente es mayor que la tensión en el drenaje, y en el que el diodo del cuerpo comprende un ánodo acoplado a la fuente y un cátodo acoplado al drenaje.

50 Otro ejemplo se refiere a un circuito para emular un diodo ideal, el circuito incluye al menos un transistor de efecto de campo que incluye una fuente, un drenaje, una puerta y un diodo corporal, una entrada, una salida acoplada al drenaje, un circuito de control que incluye un sensor de corriente acoplado entre la entrada y la fuente, y una salida de circuito de control acoplada a la puerta, en el que el circuito de control está configurado para activar al menos un transistor de efecto de campo en función de si la corriente que fluye hacia la fuente es mayor que un umbral predeterminado, y en el que el diodo del cuerpo comprende un ánodo acoplado a la fuente y un cátodo acoplado al drenaje.

60 En otra realización más, la invención se refiere a un sistema de energía que incluye una unidad de rectificación de transformador, el sistema de alimentación incluye una fuente de corriente alterna acoplada a la unidad de rectificación del transformador, una carga de corriente continua acoplada a la unidad de rectificación del transformador, la unidad de rectificación del transformador incluye un devanado primario, un devanado secundario en comunicación electromagnética con el devanado primario, y al menos un circuito de diodo ideal acoplado al devanado secundario, el al menos un circuito de diodo ideal que incluye al menos un transistor de efecto de campo

acoplado a un circuito de control.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La figura 1 es un diagrama esquemático de un circuito de diodo ideal que incluye un Transistor de efecto de campo (FET) y un comparador para controlar el FET de acuerdo con un ejemplo.
La figura 2 es un diagrama esquemático de un circuito de diodo ideal que incluye una sección de energía y un circuito de control para controlar el circuito de diodo ideal de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 10 La figura 3 es un diagrama esquemático de una sección de energía de un circuito de diodo ideal que incluye ocho transistores de efecto de campo en paralelo de acuerdo con una realización de la presente invención.
La figura 4(1) - 4(2) es un diagrama esquemático de un circuito de control de diodo ideal configurado para medir corriente, controlar un circuito de diodos ideal, informar el estado y proporcionar una capacidad de fuerza de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 15 La figura 5(1) - 5(3) es un diagrama esquemático de un circuito de control de diodo ideal configurado para medir corriente, informar la corriente medida, controlar un circuito de diodos ideal, informar el estado de control y proporcionar una capacidad de desconexión de acuerdo con una realización de la presente invención.
La figura 6 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de energía que incluye una unidad de rectificación de transformador que tiene una pluralidad de unidades de circuito de diodos ideales de acuerdo con una realización de la presente invención.
- 20

Descripción detallada de la invención

25 Las realizaciones de los circuitos de diodos ideales incluyen transistores acoplados a circuitos de control. Los transistores están configurados para funcionar como un diodo o interruptor unidireccional que tiene características que se aproximan a un diodo teórico ideal. Los circuitos de control pueden detectar el flujo de corriente en el circuito de diodo ideal. Según la corriente detectada, los circuitos de control pueden activar (encender) o desactivar (apagar) los transistores. La activación de los transistores minimiza la caída de tensión a través del circuito de diodo ideal, mientras que la desactivación de los transistores previene efectivamente el flujo de corriente en una dirección
30 inversa.

En un ejemplo, el transistor es un transistor de efecto de campo (FET) y el circuito de control mide la tensión tanto en la fuente como en el drenaje del FET. En tal caso, si la tensión en la fuente es mayor que la tensión en el drenaje por un umbral predeterminado, el circuito de control puede activar el FET para permitir una caída de tensión mínima en el circuito de diodo ideal. Como alternativa, si la tensión en el drenaje es más alta que la tensión en la fuente, el
35 circuito de control puede desactivar el FET para alta impedancia en la dirección inversa (por ejemplo, desde el drenaje hasta la fuente) como un diodo convencional.

En algunas realizaciones, los circuitos de diodos ideales incluyen una serie de transistores acoplados en paralelo para aumentar la capacidad de transporte de corriente y reducir aún más la caída de tensión del circuito de diodos ideal. En una realización, los circuitos de diodos ideales incluyen una capacidad de anulación o de activación forzada que permite que un sistema externo fuerce el transistor al estado activado. En otra realización, los circuitos de diodos ideales incluyen una capacidad de deshabilitación o desactivación forzada que permite que un sistema externo fuerce el transistor al estado de desactivación. En una serie de realizaciones, el circuito de diodo ideal
45 incluye un circuito de informe de estado para informar el estado o estado (por ejemplo, estado activado o estado de desactivación) del transistor(es) del circuito de diodo ideal. En algunas realizaciones, el circuito de diodo ideal informa el estado, incluida una magnitud de corriente que pasa a través del (los) diodo(s) ideal(es). En otra realización, se incorporan varios circuitos de diodos ideales dentro de una unidad de rectificador de transformador (TRU) para convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC). Las TRU se usan comúnmente en los sistemas eléctricos de los aviones para convertir la energía de CA de los generadores a la energía de CC para varios dispositivos, incluyendo, por ejemplo, baterías para suministrar energía de respaldo o de emergencia. Los circuitos de diodos ideales permiten una rectificación altamente eficiente dentro de la TRU.

La figura 1 es un diagrama esquemático de un circuito de diodo ideal 100 que incluye un transistor de efecto de campo (FET) 110 y un comparador 104 para controlar el FET de acuerdo con un ejemplo. El circuito de diodo ideal 100 también incluye una entrada 106 para recibir una corriente a una primera tensión y una salida 108 para proporcionar la corriente a una segunda tensión. Una primera entrada 118 del comparador 104 está acoplada a la entrada 106 del circuito de diodo ideal 100 y una segunda entrada 120 del comparador 104 está acoplada a la salida 108 del circuito de diodo ideal 100. Una salida del comparador 104 está acoplada a la puerta 116 del transistor 110. El FET 110 incluye una fuente 112 acoplada a la entrada 106, un drenaje 114 acoplado a la salida 108 del circuito de diodo ideal, y un diodo de cuerpo 113 que tiene un ánodo acoplado a la fuente 112 y un cátodo acoplado al drenaje 114.
60

Durante el funcionamiento, el comparador genera una señal de salida indicativa de si una primera tensión en la entrada 106 es mayor que una segunda tensión en la salida 108 (por ejemplo, cuando el transistor de efecto de campo 110 se desvía efectivamente hacia adelante desde la fuente hasta el drenaje). El comparador enciende o
65

activa el FET cuando la tensión en la entrada es mayor que la tensión en la salida. En tal caso, la caída de tensión a través del circuito de diodo ideal (por ejemplo, desde la entrada hasta la salida) es mínimo. Cuando la tensión de la puerta, referenciada a la fuente, excede un umbral de activación, el FET está completamente encendido y la resistencia de encendido del FET (por ejemplo, la resistencia desde el drenaje a la fuente o la resistencia desde la fuente al drenaje) es mínima. Si la tensión en la salida se vuelve mayor que la tensión en la entrada, entonces la salida del comparador y la compuerta acoplada a la misma se accionan a la baja (por ejemplo, a cero) y el FET se apaga o se desactiva. En el estado de desactivación, el FET evita el flujo de corriente desde la salida (drenaje) a la entrada (fuente) y, por lo tanto, emula un diodo. La resistencia observada en el estado activado es de 4 miliohmios, que proporciona una caída de tensión muy mínima en el circuito de diodo ideal. Por ejemplo, si la corriente aplicada al circuito de diodo ideal es de 50 amperios, entonces la caída de tensión es de 200 milivoltios. En el estado de desactivación, la resistencia vista desde el drenaje a la fuente aumenta sustancialmente. En una realización, la resistencia del estado de desactivación es de aproximadamente un mega ohm o mayor.

En un ejemplo, el circuito de diodo ideal 100 puede considerarse como una sección de energía 102 acoplada a un circuito de control 103. En tal caso, el circuito de control 103 está configurado para activar la sección de energía cuando la tensión de entrada es mayor que la tensión de salida al afirmar una tensión de puerta. Cuando la tensión de salida es una forma condicionada de la tensión de entrada, el circuito de control 103 desactiva la sección de energía llevando la tensión de la puerta a cero. En la realización ilustrada, la sección de energía 102 incluye un FET. En otras realizaciones, la sección de energía 102 puede incluir múltiples FET acoplados entre sí en una configuración paralela.

En el ejemplo en la figura 1, el circuito de control incluye un comparador para controlar el circuito de diodo ideal. En otros ejemplos, se pueden utilizar otros circuitos lógicos para controlar el circuito de diodo ideal. En varios ejemplos, el FET 110 es un transistor de efecto de campo de óxido de metal (MOSFET). En otros ejemplos, se pueden usar otros FET. En algunos ejemplos, se pueden usar otros transistores.

En un ejemplo, el comparador se implementa usando un amplificador operacional que tiene una entrada no inversora acoplada a la entrada del circuito de diodo ideal y una entrada inversora acoplada a la salida del circuito de diodo ideal. En tal caso, el amplificador de operación genera una señal de salida indicativa de si la tensión en la entrada del circuito de diodo ideal es mayor que la tensión en la salida del circuito de diodo ideal. Si la tensión en la entrada es mayor que la tensión en la salida, el amplificador operacional impulsa la puerta del transistor de efecto de campo alto y activa el FET. Si, sin embargo, la tensión en la salida es mayor que la tensión en la entrada, el amplificador operacional baja la puerta para desactivar el FET.

La figura 2 es un diagrama esquemático de un circuito de diodo ideal 200 que incluye una sección de energía 202 y un circuito de control 203 para controlar el circuito de diodo ideal de acuerdo con una realización de la presente invención. El circuito de control 203 incluye un comparador 204 acoplado a un transductor 205 para proporcionar una o más señales (218, 220) indicativas de si la corriente fluye a través del transductor y el circuito de diodo ideal 200. El transductor 205 puede medir una corriente que fluye a través de él y convertir la medición en una o más señales de tensión diferencial, donde la diferencia de tensión es representativa de una magnitud de la corriente medida. La sección de energía 202 incluye una entrada 212, una salida 214, una entrada de puerta 216, y un FET 210 que tiene una fuente acoplada a la entrada 212, un drenaje acoplado a la salida 214 y una puerta acoplada a la entrada de puerta 216. El circuito de diodo ideal 200 incluye además una entrada 206 acoplada al transductor 205 y una salida 208 acoplada a la salida 214 de la sección de energía 202.

Durante el funcionamiento, el comparador 204 genera una señal de salida indicativa de si una corriente fluye hacia la entrada 206 y a través del transductor 205. En varias realizaciones, el comparador enciende el FET cuando la corriente fluye hacia la entrada. En tal caso, la caída de tensión a través del circuito de diodo ideal (por ejemplo, desde la entrada a la salida) se reduce sustancialmente en comparación con la caída de tensión en un diodo convencional. En una realización, por ejemplo, un diodo convencional que lleva una corriente de 50 amperios tiene una caída de tensión de 1 voltio, mientras que el circuito de diodo ideal tiene una caída de tensión de solo 200 milivoltios.

Cuando la tensión de la puerta, referenciada a la fuente, excede un umbral de activación, el FET está completamente encendido y la resistencia de encendido del FET (por ejemplo, la resistencia desde el drenaje a la fuente o la resistencia desde la fuente al drenaje) es mínima. En una realización, por ejemplo, la resistencia de encendido es de 4 miliohmios. Si la corriente intenta fluir en reversa (por ejemplo, desde la salida a la entrada), entonces la salida del comparador y la compuerta acoplada a la misma se accionan a la baja (por ejemplo, a cero) y el FET se apaga. En el estado de desactivación, el FET evita el flujo de corriente desde la salida (drenaje) a la entrada (fuente) y, por lo tanto, emula un diodo convencional. En el estado de desactivación, la resistencia vista desde el drenaje a la fuente aumenta sustancialmente. En una realización, la resistencia en estado de desactivación es de aproximadamente un mega ohm o mayor.

En la realización ilustrada en la figura 2, el circuito de control incluye un comparador para controlar el circuito de diodo ideal. En otras realizaciones, se pueden utilizar otros circuitos lógicos para controlar el circuito de diodo ideal. En varias realizaciones, el FET 110 es un transistor de efecto de campo de óxido de metal (MOSFET). En otras

realizaciones, se pueden usar otros FET. En algunas realizaciones, se pueden usar otros transistores.

5 En una realización, el comparador se implementa usando un amplificador operacional que tiene una entrada no inversora y una entrada inversora donde cada una de las entradas está acoplada al transductor. En tal caso, el amplificador operacional genera una señal de salida indicativa de si la tensión en una primera salida del transductor es mayor que la tensión en una segunda salida del transductor. En tal caso, la señal generada también es indicativa de si una corriente fluye desde la entrada 206 al transductor 205. Si la tensión en la primera salida del transductor es mayor que la tensión en la segunda salida, el amplificador operacional impulsa la puerta del transistor de efecto de campo alto y activa el FET. Si, sin embargo, la tensión en la segunda salida del transductor es mayor que la tensión en la primera salida, el amplificador operacional baja la puerta para desactivar el fet.

En una realización, el transductor 205 está acoplado en serie con la salida 208 en lugar de la entrada 206 como se representa en la realización ilustrada.

15 La figura 3 es un diagrama esquemático de una sección de energía 302 de un circuito de diodo ideal que incluye ocho transistores de efecto de campo 310 en paralelo de acuerdo con una realización de la presente invención. La sección de energía 302 incluye una entrada 312 acoplada a una fuente de cada FET 310, una salida acoplada a un drenaje de cada FET 310, y una entrada de puerta 316 acoplada a través de ocho resistencias 311 a una puerta de cada FET 310, donde cada puerta FET está acoplada por una resistencia 311 a la entrada de puerta 316. El uso de múltiples FET en paralelo reduce aún más la caída de tensión de la entrada 312 a la salida 312 ya que la resistencia de cada FET está en paralelo con las resistencias de los otros FET.

25 En una realización, los FET son MOSFET que tienen una resistencia de encendido de 4 miliohmios. En tal caso, la combinación paralela de ocho FET resulta en una resistencia de 0,5 miliohmios. Para una aplicación de alta corriente que maneja 150 amperios, la caída de tensión resultante se reduce a 80 milivoltios. Si un diodo convencional tiene una caída de tensión de 1 voltio, la energía disipada es de 150 vatios. El circuito de diodos ideal, por otro lado, tiene una caída de tensión de 80 milivoltios que corresponde a una disipación de energía de 12 vatios para la corriente dada. La disipación de energía sustancialmente reducida representa una mejora del 1.250 por ciento en la disipación de energía. En comparación, una combinación paralela de diodos convencionales no da como resultado una disminución de la caída de tensión a través de la combinación. Mientras que la realización ilustrada muestra una sección de energía que tiene ocho FET en paralelo, en otras realizaciones, el número de FET utilizados puede ser mayor o menor que ocho. En algunas realizaciones, otras configuraciones de FET también pueden ser adecuadas.

35 La figura 4(1) a 4(2) es un diagrama esquemático de un circuito de control de diodo ideal 400 configurado para medir corriente, controlar un circuito de diodos ideal, informar el estado y proporcionar una capacidad de fuerza de acuerdo con una realización de la presente invención. El circuito de control de diodo ideal 400 incluye un monitor de corriente 405 acoplado por un amplificador 407 a un comparador 409. El comparador 409 está acoplado por un FET a un circuito de accionamiento de puerta 410. El circuito de accionamiento de puerta 410 está acoplado a una salida de terminal de puerta 411 y un terminal de entrada 412. El circuito de accionamiento de puerta 410 también está acoplado por un circuito de informe de estado 415 a una interfaz de control 419. La interfaz de control 419 está acoplada a un circuito de anulación 417 para forzar el circuito de diodo ideal al estado activado. El circuito de anulación 417 está acoplado por un FET al circuito de accionamiento de puerta 410 y al circuito de informe de estado 415. La interfaz de control 419 permite que un dispositivo externo controle y/o monitoree un circuito de diodo ideal.

45 Durante el funcionamiento, el monitor de corriente o transductor 405 mide una corriente que fluye hacia la entrada de un circuito/interruptor de diodo ideal (no se muestra el circuito de diodo ideal) y genera una señal diferencial indicativa de la corriente medida. El amplificador 407 amplifica la señal indicativa de la corriente medida. El comparador 409 compara la corriente amplificada con un umbral predeterminado determinado por la relación de R2 y R10. Cuando la corriente amplificada excede el umbral predeterminado, el circuito de accionamiento de puerta 410 establece una señal de salida de puerta provista en la salida de terminal de puerta 411. Cuando la corriente cae por debajo del umbral predeterminado, el circuito de accionamiento de puerta 410 conduce la señal de salida de puerta a un valor no afirmado (por ejemplo, cero). Cuando se afirma la señal de salida de la puerta, el circuito de diodo ideal o la sección de energía (no mostrada) se activa y, por lo tanto, permite la conducción directa con una caída de tensión mínima. Cuando la señal de salida de la puerta se conduce a un valor no afirmado, el circuito de diodo ideal o la sección de alimentación se desactiva y actúa como un diodo convencional (por ejemplo, alta impedancia) para evitar el flujo de corriente desde la salida a la entrada (ver figura 2).

60 El circuito de informe de estado 415 puede informar el estado del circuito de diodo ideal a un dispositivo externo. En varias realizaciones, el estado informado es indicativo de si el circuito de diodo ideal está habilitado (estado activado) para permitir el flujo de corriente en una dirección directa (por ejemplo, desde la fuente hasta el drenaje), o deshabilitado (desactivado) para evitar el flujo de corriente en una dirección inversa (por ejemplo, desde el drenaje hasta la fuente). El circuito de informe de estado 415 proporciona una señal indicativa del estado del circuito de diodo ideal a la interfaz de control 419. La interfaz de control 419 permite la comunicación con cualquier número de dispositivos externos para proporcionar el estado al mismo o para habilitar el control de anulación a través del circuito de anulación 417. El circuito de anulación 417 puede activar el circuito de diodo ideal o la sección de

energía, independientemente de la dirección o cantidad de corriente que fluye hacia el circuito de diodo ideal o la sección de energía. El circuito de anulación 417 puede usarse efectivamente para forzar el circuito de diodo ideal al estado activado anulando la señal de entrada al controlador de puerta 410. El circuito de anulación 417 se puede operar de forma remota a través de la interfaz de control 419 mediante un circuito lógico externo (no mostrado), tal como, un ordenador, circuito de relé u otro circuito lógico de control. En una realización, el circuito de anulación 417 se usa para desactivar o apagar el circuito de diodo ideal.

En algunas realizaciones, el circuito de diodo ideal se utiliza para controlar el flujo de corriente de una batería, tal como, por ejemplo, una batería de iones de litio. El circuito de diodo ideal puede controlarse mediante un circuito externo que está acoplado por la interfaz de control al circuito de anulación 417. En una realización de este tipo, el circuito externo es un circuito para cargar la batería. En varias realizaciones, el circuito de diodo ideal se opera como un interruptor para permitir tanto el flujo de corriente en una dirección (por ejemplo, conducción hacia adelante, de la batería) y el flujo de corriente en la dirección opuesta (por ejemplo, conducción inversa) para cargar la batería en otros momentos. En una serie de realizaciones, este sistema de control de diodo ideal externo puede ser útil para prevenir la sobrecarga y/o prevenir problemas relacionados con el sobrecalentamiento asociados con la carga de baterías (por ejemplo, baterías de iones de litio).

En una realización, el transductor es un sensor de efecto Hall CSA-1V fabricado por Sentron AG de Suiza. En una realización, el circuito del controlador de puerta es un convertidor DCPO10512B de CC a CC fabricado por Texas Instruments de Dallas, Texas.

La figura 5(1) - 5(3) es un diagrama esquemático de un circuito de control de diodo ideal 500 configurado para medir corriente, informar la corriente medida, controlar un circuito de diodos ideal, informar el estado de control y proporcionar una capacidad de desconexión de acuerdo con una realización de la presente invención. El circuito de control de diodo ideal 500 incluye un monitor de corriente 505 acoplado a un amplificador 507. Un circuito de informe de corriente 508 está acoplado al amplificador 507 y está configurado para informar la magnitud de la corriente medida por el monitor de corriente 505. Un comparador 509 también está acoplado al amplificador 507 y está configurado para emitir una señal indicativa de si la corriente proporcionada desde el amplificador está por encima de un umbral. La salida del comparador 509 está acoplada tanto a un circuito de accionamiento de puerta 510 como a un circuito de deshabilitación 517 o de "desactivado de diodo forzado". El circuito de deshabilitación o desactivación forzada 517 está acoplado a una interfaz de control 519. Un dispositivo externo puede proporcionar una señal de deshabilitación o "diodo desactivado Ctrl" al circuito de deshabilitación 517. Si se afirma la señal de deshabilitación, el circuito de deshabilitación 517 puede tirar de la salida del comparador 509 a tierra, deshabilitando o apagando efectivamente el circuito de accionamiento de la puerta 510.

El circuito de accionamiento de puerta 510 incluye un convertidor CC a CC (U2) acoplado a un FET de múltiples posiciones (Q2) que actúa como un interruptor. El circuito de accionamiento de puerta 510 puede proporcionar una señal de salida de puerta capaz de conducir múltiples FET 520, configurado como diodos ideales, en una sección de energía (ver, por ejemplo, la figura 3). Un circuito de informe de estado 515 está acoplado a la salida del circuito de accionamiento de puerta 510 y está configurado para informar el estado (estado activado o desactivado) de los FET 520 de la sección de energía. El estado se informa a través de la interfaz de control 519 a un dispositivo externo. El circuito de informe de estado 515 incluye un LED de estado (D4) que proporciona una indicación visual en el circuito de control de diodo ideal del estado del circuito de control de diodo ideal 500. El circuito de informe de estado 515 también incluye un aislador óptico (ISO1) para proporcionar aislamiento entre la interfaz de control 519 y la sección de energía 520. El aislador puede evitar daños a dispositivos externos por transitorios en la carga. En otras realizaciones, los aisladores ópticos pueden reemplazarse por otros aisladores adecuados.

Un circuito de supresión de ruido 522 también está acoplado a la salida del circuito de accionamiento de puerta 510. El convertidor de CC a CC del circuito de accionamiento de la puerta puede funcionar a altas frecuencias y, por lo tanto, puede generar un ruido significativo. El circuito de supresión de ruido 522 puede reducir o eliminar dicho ruido. La sección de energía FET 520 está acoplada a un circuito de supresión de transitorios 524 para suprimir transitorios de la carga (no se muestra).

Durante el funcionamiento, el monitor de corriente o transductor 505 mide una corriente que fluye hacia la entrada de un circuito/interruptor de diodo ideal (no se muestra el circuito de diodo ideal) y genera una señal diferencial indicativa de la corriente medida. El amplificador 507 amplifica la señal indicativa de la corriente medida. El circuito de informe de corriente 508 genera una señal indicativa de una magnitud de la corriente medida. La señal de magnitud se puede proporcionar a través de la interfaz de control 519 a un dispositivo externo. La corriente medida también se suministra al comparador 509 que compara la corriente amplificada con un umbral predeterminado determinado por la relación de R3 y R10. Cuando la corriente amplificada excede el umbral predeterminado, el circuito de accionamiento de puerta 510 establece una señal de salida de puerta que se proporciona a la sección de energía FET 520. Cuando la corriente cae por debajo del umbral predeterminado, el circuito de accionamiento de puerta 510 conduce la señal de salida de puerta a un valor no afirmado (por ejemplo, cero). Cuando se afirma la señal de salida de la puerta, el circuito de diodo ideal o la sección de energía (no mostrada) se activa y, por lo tanto, permite la conducción directa con una caída de tensión mínima. Cuando la señal de salida de la puerta se conduce a un valor no afirmado, el circuito de diodo ideal o la sección de alimentación se desactiva y actúa como un diodo

convencional (por ejemplo, alta impedancia) para evitar el flujo de corriente desde la salida a la entrada (ver figura 2).

5 El circuito de informe de estado 515 puede informar el estado del circuito de diodo ideal a un dispositivo externo. En varias realizaciones, el estado informado es indicativo de si el circuito de diodo ideal está habilitado (estado activado) para permitir el flujo de corriente en una dirección directa (por ejemplo, desde la fuente hasta el drenaje), o deshabilitado (desactivado) para evitar el flujo de corriente en una dirección inversa (por ejemplo, desde el drenaje hasta la fuente). El circuito de informe de estado 515 proporciona una señal indicativa del estado del circuito de diodo ideal a la interfaz de control 519. La interfaz de control 519 permite la comunicación con cualquier número de dispositivos externos para proporcionar el estado a los mismos o apagar los diodos ideales a través del circuito de deshabilitación 517. El circuito de deshabilitación 517 puede desactivar el circuito de diodo ideal o la sección de alimentación, independientemente de la dirección o cantidad de corriente que fluye hacia el circuito de diodo ideal o la sección de alimentación. El circuito de deshabilitación 517 se puede usar efectivamente para forzar el circuito de diodo ideal al estado de desactivación anulando la señal de entrada proporcionada al circuito de accionamiento de puerta 510. El circuito de deshabilitación 517 se puede operar de forma remota a través de la interfaz de control 519 mediante un circuito lógico externo (no mostrado), tal como, por ejemplo, un ordenador, circuito de relé u otro circuito lógico de control. En una realización, el circuito de deshabilitación se reemplaza con un circuito de activación que puede forzar al circuito de activación de la puerta a activar el circuito de diodo ideal independientemente de la corriente que fluya a través de él. En una realización, el circuito de deshabilitación 517 se usa junto con el cambio de una batería como se describe anteriormente para la figura 4(1)-4(2).

25 En la realización ilustrada en la figura 5(1)-5(3), el transductor es un sensor de efecto Hall CSA-1V fabricado por Sentron AG de Suiza. En una realización, el circuito del controlador de puerta es un convertidor DCPO10512B de CC a CC fabricado por Texas Instruments de Dallas, Texas. En otras realizaciones, Se pueden utilizar otros sensores de corriente y convertidores de tensión.

Mientras que los componentes específicos se representan en las figuras 5(1) - 5(3), los expertos en la materia entenderán que otros componentes adecuados pueden ser sustituidos por los componentes representados.

30 La figura 6 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema de energía 600 que incluye una unidad de rectificación de transformador 604 que tiene una pluralidad de unidades de circuito de diodos ideales 610 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de energía 600 incluye además una fuente de energía de corriente alterna (CA) 602 acoplada por la unidad de rectificación del transformador 604 a una carga de corriente continua (CC) 606. La unidad de rectificación del transformador 604 incluye un devanado primario 607 acoplado electromagnéticamente a un devanado secundario 608. El devanado secundario 608 está acoplado con múltiples unidades de circuito de diodos ideales 610. Cada unidad de circuito de diodo ideal 610 puede incluir varios circuitos de diodo ideales acoplados en paralelo (por ejemplo, ver figura 3) y uno o más circuitos de control.

40 Las unidades de rectificación de transformadores (TRU) se utilizan para convertir CA en CC y se usan comúnmente en los sistemas eléctricos de la aeronave para cargar baterías de emergencia o para proporcionar energía de CC para otros usos. Dichas TRU son bien conocidas en la técnica como se indica en la patente de EE.UU. n.º 6.256.213, el contenido de la cual se incorpora por referencia en su totalidad en el presente documento, de Illingsworth describiendo un medio para la regulación de la unidad de rectificación del transformador. En sistemas eléctricos de aeronaves, la energía se puede distribuir usando CC o CA (solo, sistemas de dos o tres fases), o combinaciones de los mismos. En varias realizaciones, las TRU se pueden usar para generar energía de CC a 28 voltios, 26 voltios o 270 voltios. En una realización, una TRU genera energía de CC en el rango de 11 a 28 voltios. En la mayoría de las realizaciones, la fuente de alimentación de CA acoplada a una TRU funciona a 115 voltios y a una frecuencia de 400 hertzios. En otras realizaciones, las fuentes de alimentación de CA funcionan a otras tensiones y otras frecuencias. En varias realizaciones, las cargas de CC acopladas a las TRU pueden incluir baterías u otras cargas de CC de aeronaves. En una realización, las fuentes de alimentación de CA pueden incluir generadores, turbinas de aire ariete y/o fuentes de alimentación de CA externas.

50 Las unidades de rectificación de transformadores incluyen varios diodos rectificadores para rectificar la tensión de CA. La energía disipada en los diodos rectificadores puede ser sustancial y puede limitar severamente la eficiencia de las TRU. Debido al calor excesivo causado por la disipación de energía en los diodos rectificadores, es posible que las TRU deban estar equipadas con disipadores de calor especializados y/o ventiladores de enfriamiento. El uso de circuitos de diodos ideales en lugar de los diodos rectificadores tradicionales reduce significativamente la disipación de energía de una TRU. Además, el uso de circuitos de diodos ideales puede permitir la operación de TRU sin disipadores de calor especializados o ventiladores de enfriamiento.

60 En una realización, por ejemplo, uno o más circuitos de diodos ideales se utilizan para reemplazar un diodo de energía convencional que lleva una corriente que oscila entre 50 y 400 amperios. En uno de esos casos, el diodo de energía tiene una caída de tensión de 1,2 voltios. La disipación de energía asociada con el diodo de energía podría ser tan alta como 480 vatios. Usando un circuito de diodo ideal que tiene la etapa de energía de ocho FET de la figura 3, por ejemplo, con 0,5 miliohmios de resistencia de encendido, la caída de tensión se reduce a 0,2 voltios y la disipación de energía correspondiente a 80 vatios. El uso del diodo ideal por lo tanto da como resultado seis veces

menos energía disipada, o equivalentemente, mayor eficiencia del 6.000 por ciento.

5 Mientras que la descripción anterior contiene muchas realizaciones específicas de la invención, estas no deben interpretarse como limitaciones en el alcance de la invención, sino más bien como un ejemplo de una realización de esta. Por consiguiente, el alcance de la invención no debe determinarse por las realizaciones ilustradas, sino por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un circuito (200) para emular un diodo ideal, comprendiendo el circuito:

5 al menos un transistor de efecto de campo (210, 310) que comprende una fuente (212), un drenaje (214), una puerta (216) y un diodo de cuerpo (213); una entrada (206, 312, 412) acoplada eléctricamente a la fuente; una salida (208, 314) acoplada eléctricamente al drenaje; un circuito de control (203) que comprende:

10 un sensor de corriente (205, 405) acoplado eléctricamente entre la entrada (206, 312, 412) y la fuente, y configurado para medir una corriente que fluye hacia la fuente; y una salida del circuito de control acoplada a la puerta;

15 en donde el circuito de control está configurado para activar el al menos un transistor de efecto de campo en función de si la corriente que fluye hacia la fuente es mayor que un umbral predeterminado, en donde el circuito de control comprende además:

20 un comparador (409, 509) acoplado eléctricamente al sensor de corriente y configurado para generar una señal indicativa de si la corriente que fluye hacia la fuente es mayor que el umbral predeterminado; un circuito de informe de estado (415, 515) acoplado eléctricamente a la salida del comparador, en donde el circuito de informe de estado está configurado para informar de un estado del al menos un transistor de efecto de campo a una interfaz de control (419) adaptada para permitir que un dispositivo externo controle el circuito de diodo ideal, en donde el estado corresponde a un estado activado o un estado desactivado del al menos un transistor de efecto de campo, y en donde la interfaz de control está acoplada a un circuito de anulación (417) para forzar el circuito de diodo ideal al estado activado, y

en donde el diodo del cuerpo (213) comprende un ánodo acoplado a la fuente y un cátodo acoplado al drenaje.

30 2. El circuito ideal de la reivindicación 1, en el que el al menos un transistor de efecto de campo (210, 310) comprende un MOSFET.

35 3. El circuito ideal de la reivindicación 1, en el que el circuito de control (203) comprende además un amplificador operacional (204) acoplado al sensor de corriente (205, 405) y a la salida del circuito de control.

4. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, en el que el sensor de corriente (205, 405) está configurado para generar una señal indicativa de una corriente que fluye hacia la fuente.

40 5. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, en el que el al menos un transistor de efecto de campo comprende una pluralidad de transistores de efecto de campo (310) acoplados en paralelo.

6. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1:

45 en el que cada uno de la pluralidad de transistores de efecto de campo (310) paralelos comprende una fuente, un drenaje, una puerta y un diodo corporal; en el que las fuentes de la pluralidad de transistores de efecto de campo paralelo están acoplados entre sí; en el que los drenajes de la pluralidad de transistores de efecto de campo paralelo están acoplados entre sí; y en el que las puertas de la pluralidad de transistores de efecto de campo paralelo están acopladas entre sí.

50 7. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, en el que el circuito de control (500) comprende además un comparador (509) configurado para generar una señal indicativa de si la corriente que fluye hacia la fuente es mayor que el umbral predeterminado, y en el que el circuito de anulación (417) comprende un circuito de deshabilitación (517) acoplado al comparador, estando el circuito de deshabilitación configurado para desactivar al menos un transistor de efecto de campo, independiente de la señal generada por el comparador, basado en la señal de deshabilitación de un circuito externo.

8. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, en el que el circuito de control comprende además:

60 un amplificador (407, 507) acoplado en serie entre el sensor de corriente y el comparador; y un circuito de accionamiento de puerta (410, 510) acoplado al comparador; en donde el circuito de accionamiento de puerta (410, 510) está configurado para generar una señal, basado en la señal generada por el comparador, que se aplica a la puerta del al menos un transistor de efecto de campo.

9. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 8, en el que el circuito de control comprende además:

65 una interfaz de control (419, 519) acoplada al circuito de deshabilitación y al circuito de informe de estado (515), en donde el conjunto de circuito de control (419, 519) está configurado para:

recibir la señal de deshabilitación del dispositivo externo; y
enviar la señal de estado al dispositivo externo.

- 5 10. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, que comprende además una batería acoplada al por lo menos un transistor de efecto de campo, en donde el circuito de control está configurado para operar el al menos un transistor de efecto de campo como un interruptor bidireccional para cargar y descargar la batería.
- 10 11. El circuito de diodo ideal de la reivindicación 1, en el que el circuito de anulación está configurado para desactivar el al menos un transistor de efecto de campo, independiente de la corriente CC medida, basado en una señal de deshabilitación desde el circuito externo.

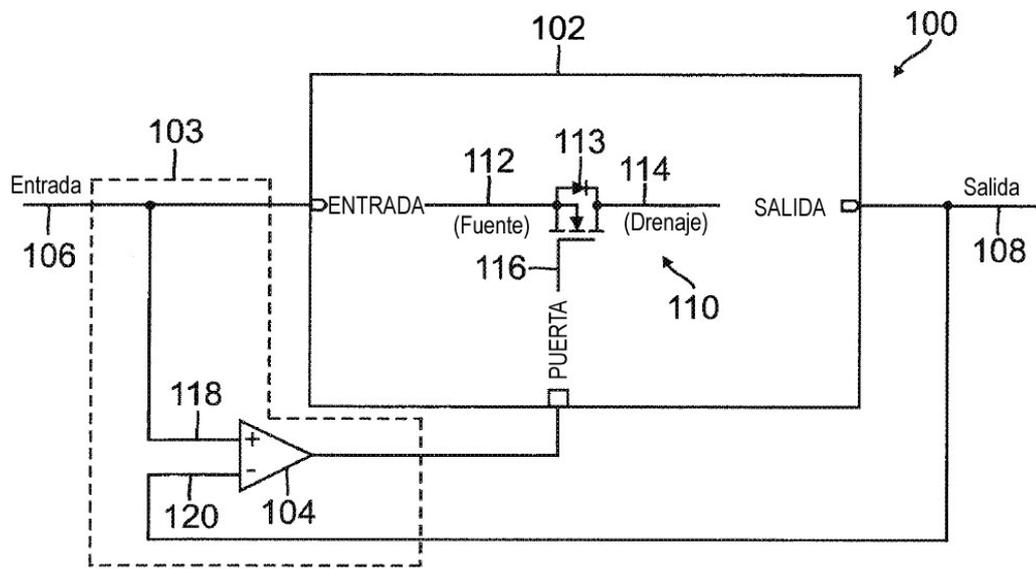


FIG. 1

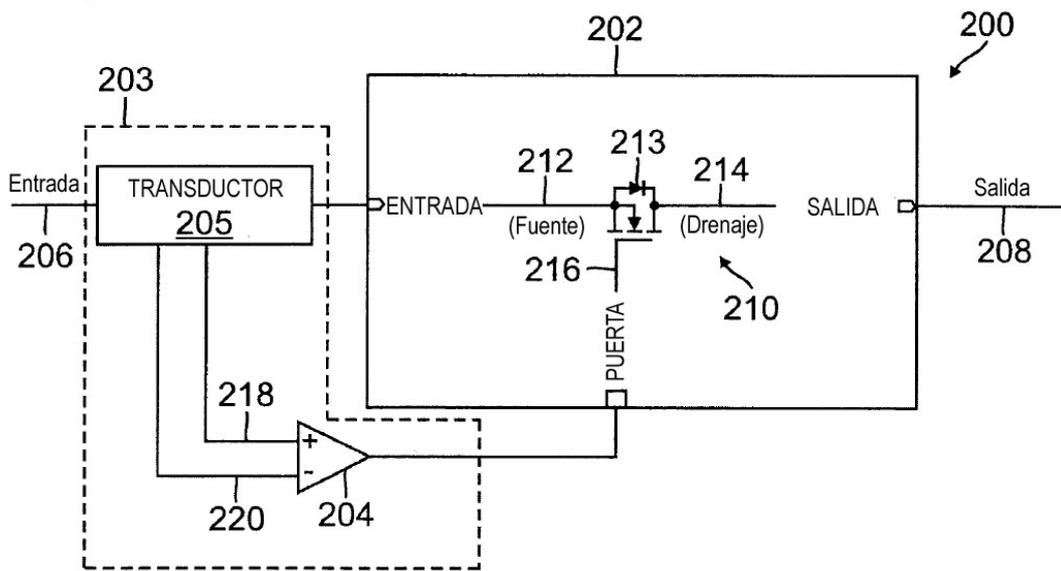


FIG. 2

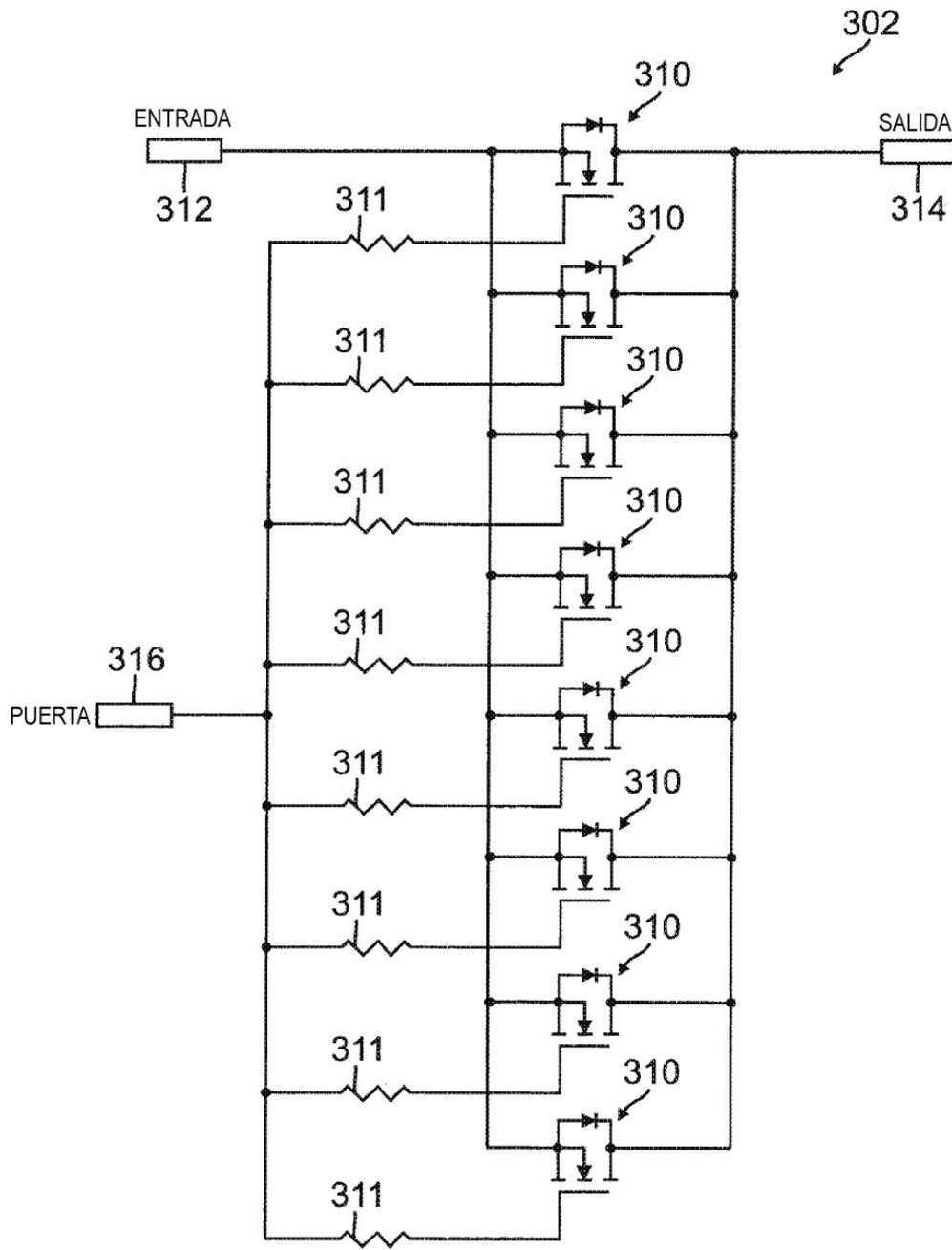


FIG. 3

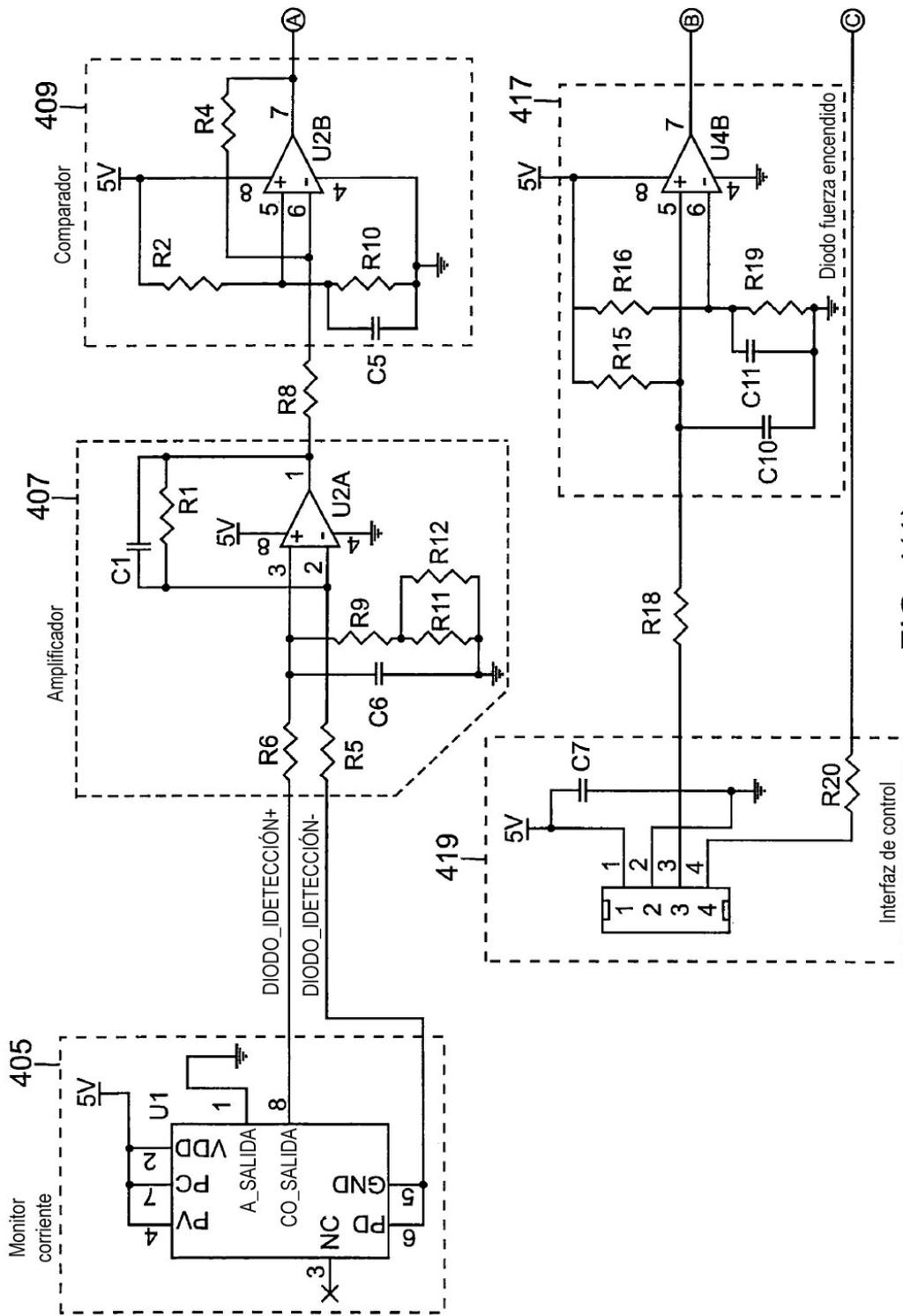


FIG. 4(1)

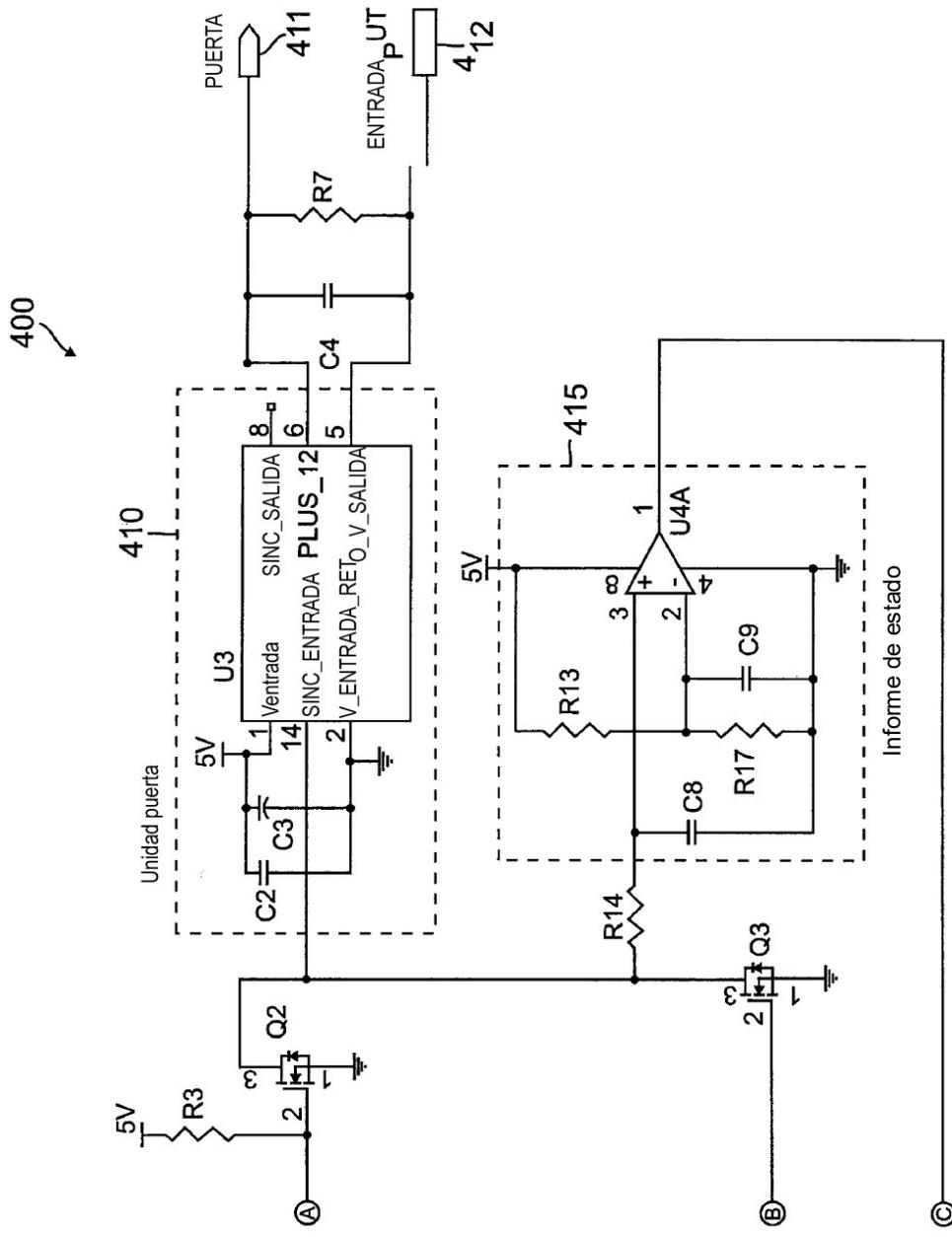


FIG. 4(2)

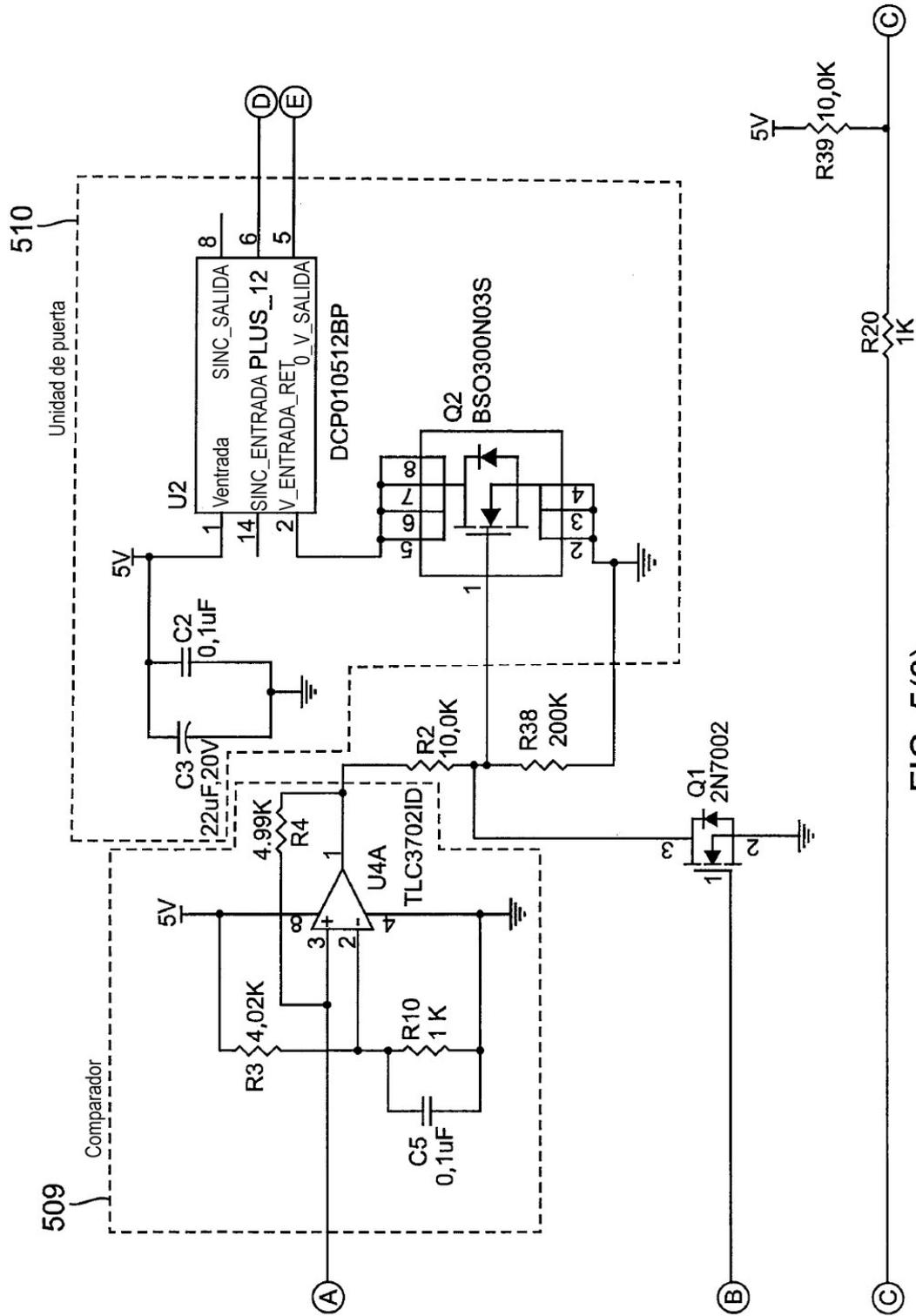


FIG. 5(2)

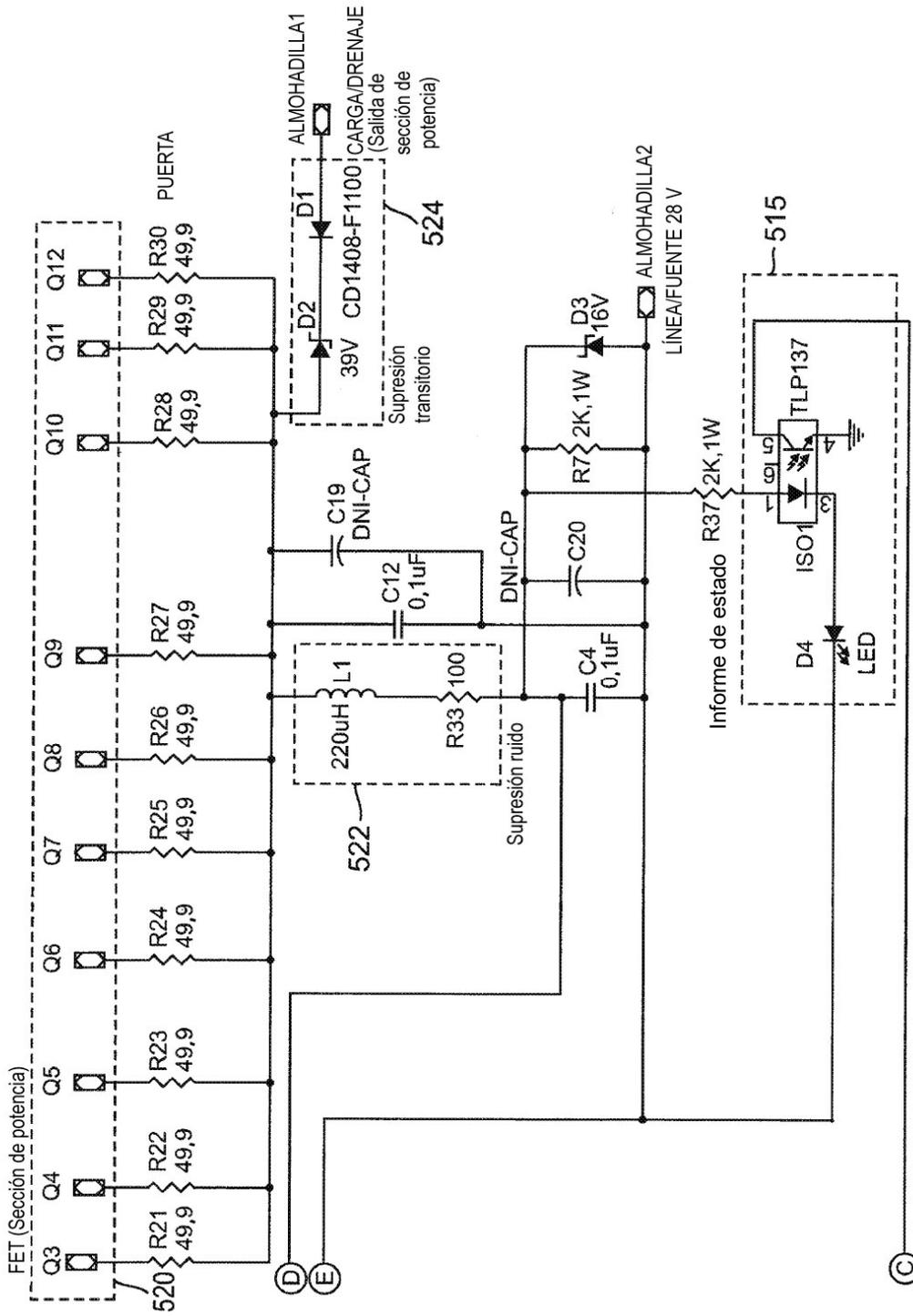


FIG. 5(3)

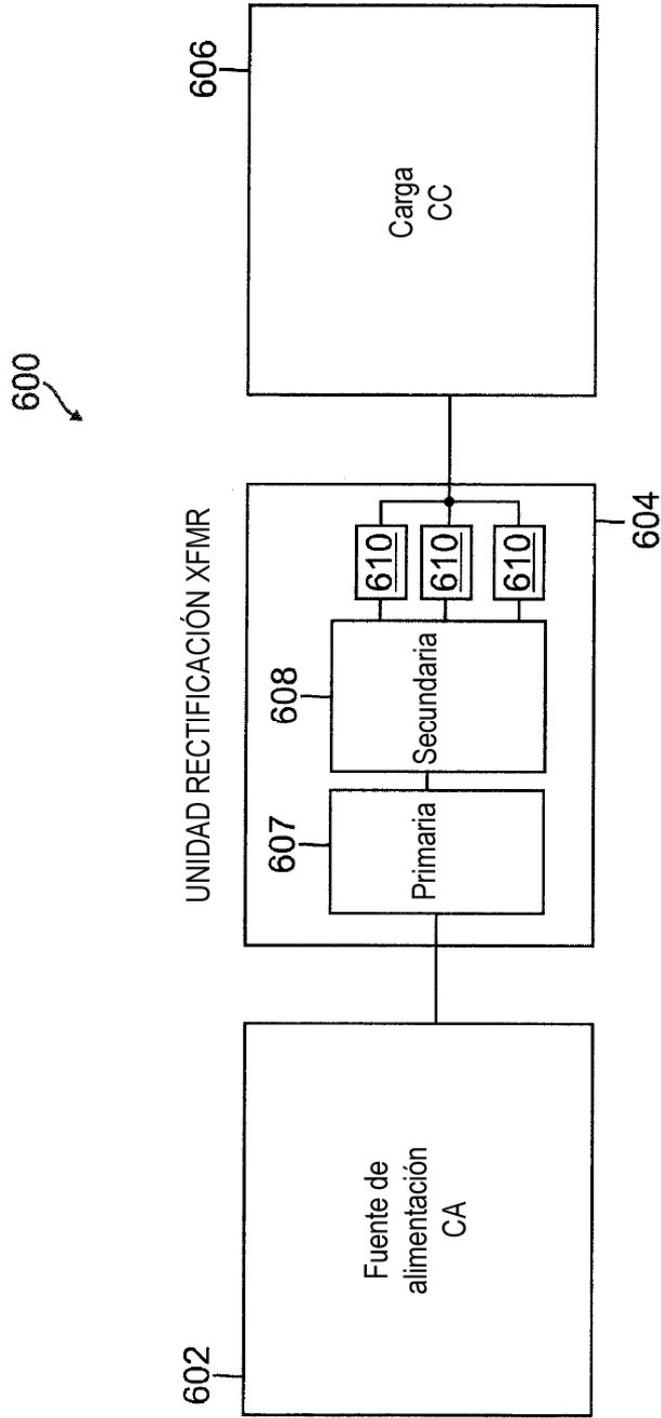


FIG. 6