

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 693**

51 Int. Cl.:

H02M 7/537 (2006.01)

H02M 7/487 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.11.2012 PCT/US2012/066200**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2014 WO14081423**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2012 E 12888967 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 2923438**

54 Título: **Convertidor multinivel**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.09.2018

73 Titular/es:
OTIS ELEVATOR COMPANY (100.0%)
One Carrier Place
Farmington CT 06032, US

72 Inventor/es:
ARNEDO, LUIS;
KOVACIC, MARINKO;
WANG, YANG y
KRISHNAMURTHY, SHASHANK

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 682 693 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

Convertidor multinivel

Campo de la invención

5 La materia descrita en la presente memoria se refiere de manera general al campo de los sistemas de conversión de potencia y, más particularmente, a un convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro.

Descripción de la técnica relacionada

10 Los convertidores multinivel de enclavamiento al punto neutro (NPC) se usan para convertir una señal de DC en una señal de AC y para convertir una señal de AC en una señal de DC. Un problema con los convertidores multinivel de enclavamiento al punto neutro es el equilibrio de voltaje de punto neutro (NP). La operación de corrección de un convertidor de NPC de tres niveles requiere que el voltaje a través de ambos condensadores de enlace de DC sea el mismo. Esto asegura que el estrés de voltaje a través de cada uno de los dispositivos semiconductores sea el mismo, extendiendo uniformemente las pérdidas de conmutación y mejorando la fiabilidad. El problema de equilibrio de voltaje de NP surge a partir de la existencia de una corriente de NP distinta cero.

15 Las técnicas existentes de equilibrio de voltaje de NP, sin aparato adicional, se basan en la inyección de voltaje de modo común, que da como resultado un estrés térmico muy desigual entre diferentes dispositivos semiconductores de potencia dentro del convertidor de NPC. Esto da como resultado la sobrevaloración de los dispositivos semiconductores y/o la limitación del intervalo de operación del convertidor con el fin de permanecer dentro de las restricciones térmicas de todos los dispositivos. El estrés térmico de un dispositivo semiconductor de potencia se puede medir con su aumento de temperatura de la unión al encapsulado (ΔT_{jc}) bajo carga. El rendimiento máximo de potencia de un convertidor, así como la vida útil esperada de los dispositivos, está limitado por el mayor ΔT_{jc} que normalmente se ve en los diodos neutros en el caso de un convertidor de NPC de tres niveles.

25 Los esquemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) existentes intentan abordar los inconvenientes de los convertidores multinivel de NPC. Los esquemas de PWM existentes intentan minimizar las pérdidas de conmutación en el convertidor de NPC. Estos esquemas dan como resultado una corriente de punto neutro indeseada y un ΔT_{jc} que es desigual entre los dispositivos, con el mayor estrés térmico en los diodos neutros. Se pueden usar otras técnicas de PWM para minimizar la corriente de NP. Aunque la corriente de NP se minimiza, los diodos neutros aún están sometidos sustancialmente a más estrés térmico que otros dispositivos. BURGOS R et al: "Space Vector Modulator for Vienna-Type Rectifiers Based on the Equivalence Between Two-and Three-Level Converters: Carrier-Based Implementation", ACTAS DEL IEEE EN ELECTRÓNICA DE POTENCIA, INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS, EE.UU., vol. 23, nº 4, 1 de julio de 2008 (01-07-2008), páginas 1888-1898, XP011229656, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL2008.925180 presenta la equivalencia entre convertidores de dos y tres niveles para rectificadores de tipo Viena, proponiendo un modulador de vector espacial simple y rápido construido bajo este principio. El uso de esta dualidad permite el cumplimiento simple de todas las restricciones topológicas de este tipo de rectificador no regenerativo de tres niveles, permitiendo también la extensión de su intervalo de operación mediante el uso de esquemas de sobremodulación de dos niveles más simples. El algoritmo propuesto se simplifica aún más derivando su implementación equivalente basada en portadora, explotando la correspondencia directa existente entre los vectores de secuencia cero de rectificadores de tipo Viena y los vectores de estado cero de convertidores de dos niveles. Como resultado, el algoritmo propuesto también es capaz de controlar el voltaje de punto neutro del rectificador. Una evaluación experimental completa que usa un rectificador de

tipo Viena controlado por disposición de puertas programables en campo - procesador digital de señal de 2 kW se presenta con propósitos de verificación.

Breve compendio

5 Según una realización ejemplar de la invención, un convertidor de nivel multinivel de enclavamiento al punto neutro incluye las características de la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se abordan en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

Con referencia ahora a los dibujos en donde elementos similares se numeran de manera similar en las FIGURAS:

la FIG. 1 es un diagrama esquemático de un convertidor multinivel de NPC en una realización ejemplar;

10 la FIG. 2 representa un proceso de control de PWM en una realización ejemplar;

la FIG. 3 representa un proceso de control de PWM en otra realización ejemplar; y

la FIG. 4 representa un regulador de equilibrio en una realización ejemplar.

Descripción detallada

15 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un convertidor de tres niveles trifásico de NPC en una realización ejemplar. El convertidor puede operar en un modo generativo o en un modo regenerativo. En modo generativo, una señal de DC del enlace de DC 12 se convierte en una señal de AC. Dos condensadores 18 están conectados en serie a través del enlace de DC 12, con la unión de condensadores que se conoce como el punto neutro (NP). El convertidor 10 genera una señal de AC monofásica en cada uno de los nodos de AC A, B y C. Cada pata 14 del convertidor 10 genera una de las fases de AC. Como es sabido en la técnica, los conmutadores Q están controlados

20 por un controlador 16 para generar formas de onda de AC. Cada pata 14 incluye diodos de enclavamiento neutros, D, para enclavar la salida de la pata a un punto neutro NP. En modo regenerativo, una señal de AC en uno o más de los nodos de AC A, B y C se convierte en una señal de DC y se suministra al enlace de DC 12. En modo regenerativo, los conmutadores Q se controlan por el controlador 16 para generar una señal de DC en el enlace de DC 12. Los conmutadores Q pueden ser transistores como es sabido en la técnica.

25 Para reducir la corriente de NP, el controlador 16 genera al menos un componente de secuencia cero que se combina con una señal de índice de modulación usada para generar señales de PWM para los conmutadores Q. El controlador 16 monitoriza el voltaje sobre los condensadores 18 a través de los sensores de voltaje 20. El controlador 16 monitoriza la corriente en cada nodo de AC a través de los sensores de corriente 22. Las dos mediciones de voltaje y las tres mediciones de corriente se usan para ajustar la señal de índice de modulación para

30 reducir la corriente de NP.

La FIG. 2 representa un proceso de control de PWM en una realización ejemplar. El proceso de control se puede ejecutar por el controlador 16. El controlador 16 se puede implementar usando un microprocesador de propósito general que ejecuta un programa de ordenador almacenado en un medio de almacenamiento para realizar las operaciones descritas en la presente memoria. Alternativamente, el controlador 16 se puede implementar en

35 hardware (por ejemplo, ASIC, FPGA) o en una combinación de hardware/software.

Como se muestra en la FIG. 2, la corriente detectada en cada nodo de AC, I_a , I_b e I_c , se invierte en el inversor 30 respectivo. La corriente invertida mínima se resta de la corriente invertida máxima en el combinador de corriente 32. La corriente invertida combinada se escala mediante un factor de escala, K_{escalado} , en el escalador de corriente 34. La salida del escalador de corriente 34 es un componente de secuencia cero de corriente.

- 5 El voltaje detectado a través de cada condensador 18 se invierte en un inversor 30 respectivo. Los voltajes invertidos se restan en el combinador de voltaje 36. El voltaje invertido combinado se escala mediante un factor de equilibrio, $K_{\text{equilibrio}}$, en el escalador de voltaje 38. La salida del escalador de voltaje 38 es una componente de secuencia cero de voltaje.

- 10 El componente de secuencia cero de corriente y el componente de secuencia cero de voltaje se combinan en el combinador 40 para producir un componente combinado de secuencia cero. Un multiplicador 42 multiplica el componente combinado de secuencia cero por 1 o -1, dependiendo de la dirección de la corriente en cuadratura, I_q . El selector 44 selecciona 1 si I_q es menor que cero y selecciona -1 si I_q es mayor que cero. En realizaciones ejemplares, I_q será positivo en modo generativo y negativo en modo regenerativo.

- 15 El componente combinado de secuencia cero se amplifica en el amplificador 46. La salida del amplificador 46 se proporciona a un combinador 48, donde el componente combinado de secuencia cero se suma a una señal de índice de modulación desde una unidad de modulación de vector espacial (SVM) 50. La unidad de SVM 50 ejecuta un algoritmo para generar señales de índice de modulación que se usan por la unidad de PWM 52 para controlar el ciclo de trabajo de las señales de PWM aplicadas a los conmutadores Q. El componente combinado de secuencia cero se suma a la señal de índice de modulación antes de proporcionar las señales de índice de modulación a la
- 20 unidad de PWM 52.

El proceso de la FIG. 2 reduce la corriente de NP creando dos componentes de secuencia cero separados (es decir, un componente de secuencia cero de corriente y un componente de secuencia cero de voltaje), que se suman o restan de la señal de índice de modulación dependiendo de si el convertidor 10 está trabajando en el modo generativo o regenerativo.

- 25 La FIG. 3 representa un proceso de control en realizaciones ejemplares para proporcionar equilibrio térmico a través de conmutadores y equilibrar la corriente de NP. El proceso de la FIG. 3 se puede implementar por el controlador 16. Un regulador externo 70 recibe comandos de control y señales de realimentación de estado para generar comandos de corriente continua (D) y en cuadratura (Q), i_d^* e i_q^* . Los comandos de control pueden ser potencia real y reactiva, voltaje de enlace de DC, etc., desde un sistema de control externo. Las señales de realimentación de estado pueden
- 30 ser potencia real y reactiva, voltaje de enlace de DC, etc.

- Los comandos de corriente continua (D) y en cuadratura (Q), i_d^* e i_q^* , se proporcionan al regulador de corriente continua-en cuadratura 72 que genera comandos de ciclo de trabajo D-Q basados en la corriente continua ordenada, i_d^* , la corriente en cuadratura ordenada, i_q^* , la corriente continua medida, i_d y la corriente en cuadratura medida, i_q . El regulador de corriente continua-en cuadratura 72 genera un ciclo de trabajo en cuadratura ordenado, D_q^* y un ciclo de trabajo en continua ordenado, D_d^* . Una transformada del ciclo de trabajo 74 convierte el ciclo de
- 35 trabajo en cuadratura ordenado, D_q^* y el ciclo de trabajo en continua ordenado, D_d^* , en un ciclo de trabajo trifásico ordenado D_{abc1}^* . La transformada del ciclo de trabajo 74 aplica una transformación DQ/ABC como es sabido en la técnica. El ángulo θ es el ángulo de transformación rotacional DQ/ABC.

- El ciclo de trabajo trifásico ordenado, D_{abc1}^* se proporciona a un regulador de equilibrio 78. Un regulador de
- 40 equilibrio 78 ejemplar se representa en la FIG. 4. El regulador de equilibrio 78 proporciona o bien equilibrio térmico o

bien equilibrio de corriente de NP. Una señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se proporciona al regulador de equilibrio 78. La señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se usa para seleccionar uno de equilibrio térmico o equilibrio de voltaje y corriente de NP. La realimentación se proporciona al regulador de equilibrio 78 como se describe con más detalle con referencia a la FIG. 4. La salida del regulador de equilibrio 78 es un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio, D*_{abc} proporcionado a un modulador de PWM 94.

La FIG. 4 representa un regulador de equilibrio 78 en una realización ejemplar. La operación del regulador de equilibrio 78 incluye determinar el estado de la señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, en el comparador 80. La señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se puede establecer o reiniciar para cada ciclo de PWM en base al estrés térmico esperado de todos los dispositivos (es decir, diodos y conmutadores). Por ejemplo, la señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se establece cuando la diferencia ΔT_{jc} esperada entre los diodos neutros y otros dispositivos excede el umbral preestablecido. La señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se reinicia cuando la diferencia ΔT_{jc} es aceptable. La señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se puede preprogramar y/o determinar dinámicamente en base al D*_{abc1} y a las señales de realimentación. Por ejemplo, en aplicaciones de tracción tales como ascensores y escaleras mecánicas, donde los perfiles del ciclo de accionamiento están predefinidos en el software del controlador, la señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, se puede preprogramar para mejorar los beneficios del algoritmo de equilibrio térmico.

Si la señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, está activa (es decir, establecida), entonces se usa un regulador de equilibrio térmico 82 para generar un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico D*_{abc}. El regulador de equilibrio térmico 82 usa un modulador bipolar 84 para aplicar una función de modulación bipolar. En el modo de modulación bipolar, el nivel de voltaje de salida de fase reside mayoritariamente en los carriles positivo y negativo del enlace de DC 12, excepto para un período muy pequeño en el NP durante un tiempo muerto. El tiempo muerto se adopta para evitar un cruce rápido a través del enlace de DC 12 así como para garantizar un estrés dv/dt bajo en los nodos de AC, A, B, C. Las funciones de modulación bipolar aplicadas por el modulador bipolar 84 para producir un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico D*_{abc} se muestran en la ecuación (1). En la ecuación (1), el brazo superior se refiere a un par de conmutadores, Q, acoplados entre un voltaje de DC positivo y un nodo de AC y un brazo inferior se refiere a un par de conmutadores, Q, acoplados entre un voltaje de DC negativo y el nodo de AC.

$$\begin{cases} D_z^* = -0,5[\max(D_{abc1}^*) + \min(D_{abc1}^*)] \\ D_{abc}^* = \begin{cases} 0,5(D_{abc1}^* + D_z^*) + 0,5 & \text{para el brazo superior} \\ 0,5(D_{abc1}^* + D_z^*) - 0,5 & \text{para el brazo inferior} \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

Si la señal de habilitación de equilibrio térmico, ENBL_{th}, está inactiva (es decir, reiniciada) en el comparador 80, entonces el regulador de equilibrio de NP 86 se usa para generar un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de NP D*_{abc}. El regulador de equilibrio de punto neutro 86 incluye un modulador bipolar de NP 88 que recibe el ciclo de trabajo trifásico ordenado, D*_{abc1}, y la realimentación del sistema. La realimentación incluye diversa información de operación del convertidor dependiendo del tipo de algoritmo de equilibrio de NP implementado. Un algoritmo de equilibrio de NP ejemplar es el que se muestra en la Fig. 2. En ese caso, la realimentación incluye las corrientes trifásicas, el componente del eje Q de la corriente y los voltajes de bus de DC superior e inferior. Las realizaciones no están limitadas a las operaciones de equilibrio de NP mostradas en la FIG. 2, y las otras operaciones de equilibrio

de NP se pueden implementar por el regulador de equilibrio de NP 86. La salida del regulador de equilibrio de punto neutro 86 es un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de punto neutro D^*_{abc} .

5 Con referencia de nuevo a la FIG. 3, o bien el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico, D^*_{abc} o bien el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de NP, D^*_{abc} , se proporciona a un modulador de PWM 94 para generar señales de PWM para accionar el convertidor 10.

10 El regulador de equilibrio 78 controla tanto la corriente de NP como el voltaje de NP permitiendo que los valores de capacitancia del enlace de DC sean reducidos. Además, el regulador de equilibrio 78 distribuye el estrés térmico más uniformemente entre todos los dispositivos (es decir, diodos D y conmutadores Q), lo que se traduce en un aumento en el rendimiento de potencia del convertidor y/o un aumento en la vida útil esperada del dispositivo. Estos beneficios se logran sin usar dispositivos de calificación más alta o añadir componentes de circuitos adicionales, con una potencia de cálculo adicional mínima.

La terminología usada en la presente memoria es con el propósito de describir realizaciones particulares solamente y no se pretende que sea limitante de la invención. Por consiguiente, la invención no ha de ser vista como que está limitada por la descripción anterior, sino que está limitada solamente por el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

15

REIVINDICACIONES

1. Un convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10), que comprende:
- un enlace de voltaje de DC (12);
 - un primer condensador (18) que acopla un lado del enlace de DC (12) a un punto neutro (NP);
 - 5 un segundo condensador (20) que acopla otro lado del enlace de DC (12) al punto neutro (NP);
 - una pluralidad de patas de fase (14), cada pata de fase (14) que incluye conmutadores, cada pata de fase (14) acoplada a un nodo de AC (A, B, C);
 - caracterizado por un sensor de corriente (22) asociado con cada nodo de AC (A, B, C); y
 - un controlador (16) adaptado para generar una señal de PWM para controlar los conmutadores, el controlador (16) adaptado para generar un componente de secuencia cero de corriente en respuesta a la corriente detectada en cada uno de los sensores de corriente (22), el controlador (16) adaptado para ajustar una señal de índice de modulación en respuesta al componente de secuencia cero de corriente para producir la señal de PWM;
 - 10 en donde el controlador (16) está adaptado para combinar el componente de secuencia cero de corriente con un componente de secuencia cero de voltaje para proporcionar un componente combinado de secuencia cero, el controlador (16) adaptado para ajustar la señal de índice de modulación en respuesta al componente combinado de secuencia cero para producir la señal de PWM; y
 - 15 en donde el controlador (16) está adaptado para cambiar un signo del componente combinado de secuencia cero en respuesta a un modo de operación del convertidor.
2. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 1, en donde: para generar el componente de secuencia cero de corriente, el controlador está adaptado para invertir una corriente detectada en cada uno de los sensores de corriente (22) para producir corriente invertida para cada nodo de AC (A, B, C).
3. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 2, en donde: para generar el componente de secuencia cero de corriente, el controlador está adaptado para seleccionar un máximo y un mínimo de la corriente invertida para cada nodo de AC (A, B, C).
- 25 4. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 3, en donde: para generar el componente de secuencia cero de corriente, el controlador está adaptado para obtener una diferencia entre el máximo y el mínimo de la corriente invertida para cada nodo de AC (A, B, C).
5. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 4, en donde: para generar el componente de secuencia cero de corriente, el controlador está adaptado para escalar la diferencia entre el máximo y el mínimo de la corriente invertida para cada nodo de AC (A, B, C).
- 30 6. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde:
- el controlador (16) está adaptado para cambiar un signo del componente de secuencia cero de corriente en respuesta a un modo de operación del convertidor.

7. Un convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde

cada pata de fase que incluye dispositivos, los dispositivos que incluyen diodos y conmutadores de enclavamiento, cada pata de fase (14) acoplada a un nodo de AC (A, B, C); y

5 el controlador (16) está adaptado para generar una señal de PWM para controlar los conmutadores, el controlador está adaptado para proporcionar uno de equilibrio térmico a través de los dispositivos y equilibrio de corriente de punto neutro en respuesta a una señal de habilitación de equilibrio térmico.

8. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 7, en donde:

10 el controlador (16) incluye un regulador de equilibrio térmico (78), el regulador de equilibrio térmico (78) adaptado para generar un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico en respuesta a la señal de equilibrio térmico que está activa.

9. El convertidor multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 8, en donde:

el regulador de equilibrio térmico (78) incluye un modulador bipolar (84) para producir el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico.

15 10. El convertidor de nivel multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 9, en donde: el modulador bipolar (84) aplica una función de modulación bipolar de

$$\begin{cases} D_z^* = -0,5[\max(D_{abc1}^*) + \min(D_{abc1}^*)] \\ D_{abc}^* = \begin{cases} 0,5(D_{abc1}^* + D_z^*) + 0,5 & \text{para el brazo superior} \\ 0,5(D_{abc1}^* + D_z^*) - 0,5 & \text{para el brazo inferior} \end{cases} \end{cases}$$

donde D_{abc1}^* es un ciclo de trabajo trifásico ordenado y D_{abc}^* es el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio térmico.

20 11. El convertidor de nivel multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en donde:

el controlador (16) incluye un regulador de equilibrio de punto neutro (78), el regulador de equilibrio de punto neutro (78) que genera un ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de punto neutro, en respuesta a la señal de equilibrio térmico que está inactiva.

25 12. El convertidor de nivel multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 11, en donde:

el regulador de equilibrio de punto neutro (78) incluye un modulador de equilibrio de punto neutro (88) para producir el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de punto neutro.

13. El convertidor de nivel multinivel de enclavamiento al punto neutro (10) de la reivindicación 12, en donde:

30 el modulador de equilibrio de punto neutro (88) genera el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de punto neutro en respuesta a un ciclo de trabajo trifásico ordenado, y/o el modulador de equilibrio de punto neutro (22) genera el ciclo de trabajo trifásico ordenado de equilibrio de punto neutro, en respuesta a la realimentación de un

convertidor; la realimentación del convertidor que incluye particularmente voltajes de DC sobre el enlace de DC (12).

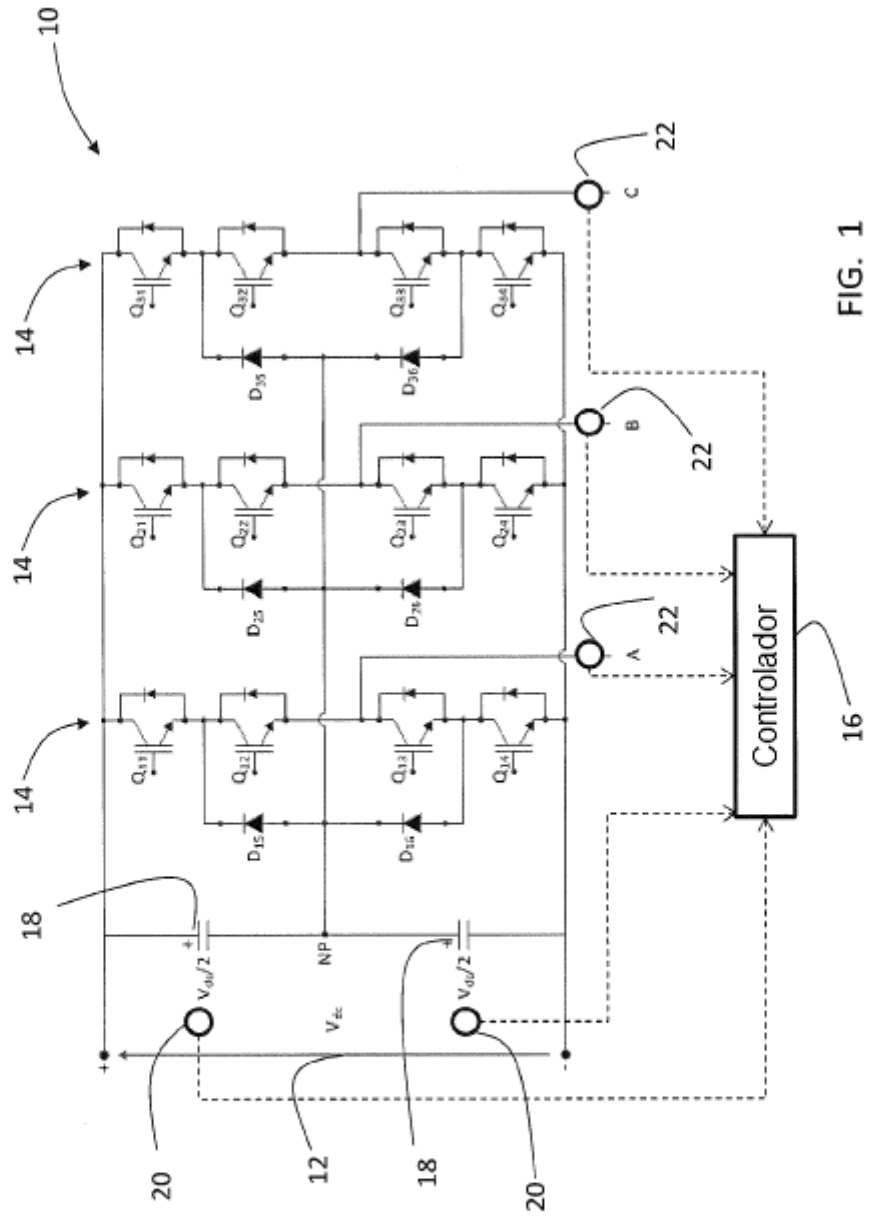


FIG. 1

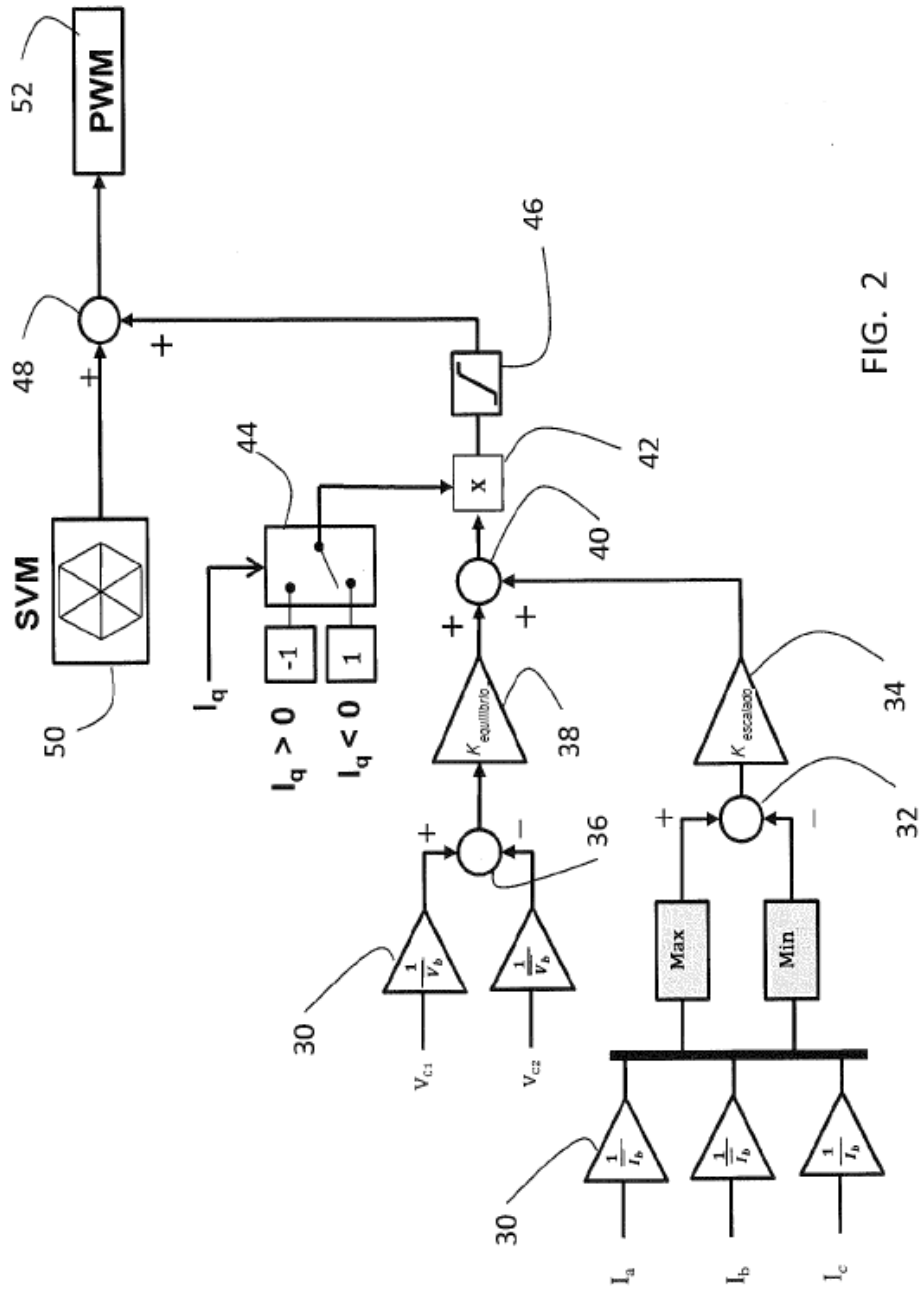


FIG. 2

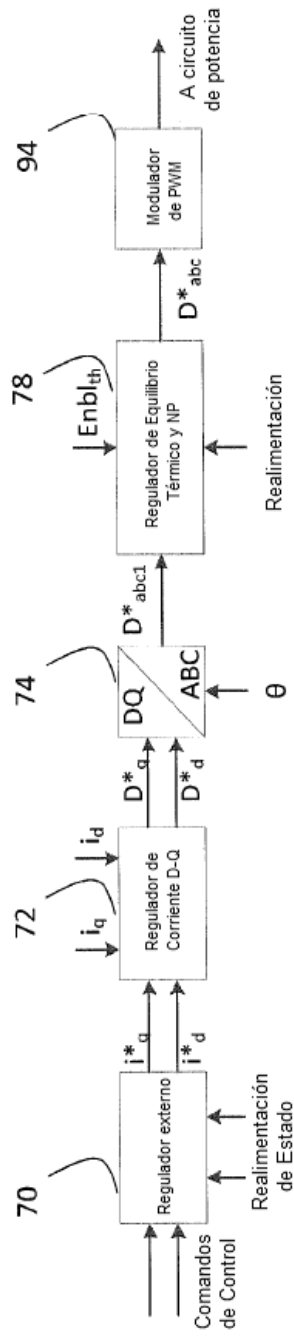


FIG. 3

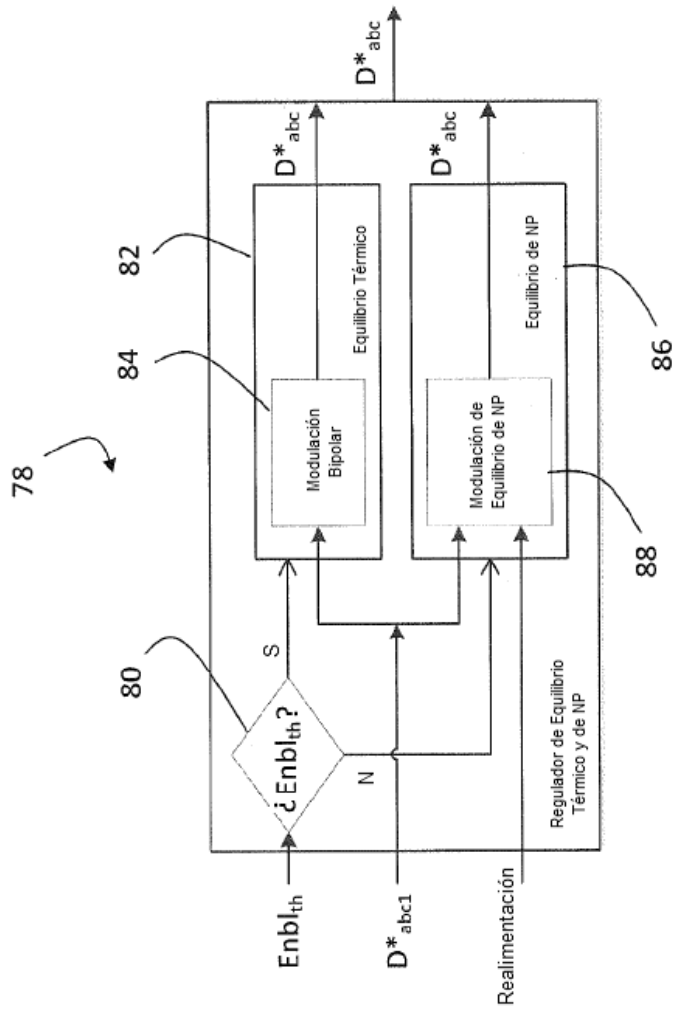


FIG. 4