

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 782 335**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2012 E 12152479 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 2621046**

54 Título: **Sistema y procedimiento para regulación de potencia reactiva**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.09.2020**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**YUAN, XIAOMING;  
TAN, ZHUOHUI y  
KLODOWSKI, ANTHONY MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 782 335 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 procedimiento para regulación de potencia reactiva

5 Formas de realización de la invención se refieren en general a una regulación de potencia, y más particularmente a una regulación de potencia reactiva.

10 Fuentes de energía tales como los paneles solares y turbinas eólicas han recibido una atención creciente como fuentes de energía alternativas seguras y sostenibles ambientalmente en comparación con las fuentes de energía tradicionales basadas en carbón. Cuando la potencia de salida de las fuentes de energía es suministrada a una red eléctrica para su transmisión y distribución, suele ser necesario controlar la potencia reactiva de la potencia de salida para satisfacer la demanda de electricidad y, al mismo tiempo, proporcionar estabilidad a la red eléctrica.

15 El control convencional de la potencia reactiva se basa en la suposición de que la red eléctrica es siempre simétrica en tres fases. En base a esta suposición, la potencia reactiva se regula ajustando directamente la potencia de salida en componentes de secuencia positiva sin considerar los componentes de secuencia negativa en la red eléctrica. Sin embargo, en una red eléctrica desequilibrada, los componentes de secuencia negativa pueden dar lugar a ondulaciones de segundo orden en la potencia de salida. Por lo tanto, el control de potencia reactiva no es preciso debido a la falta de regulación de la potencia reactiva con respecto a los componentes de secuencia negativa.

25 Además, muchos países ahora requieren que las fuentes de energía permanezcan conectadas a la red eléctrica cuando la red eléctrica experimenta condiciones de fallo. Sin embargo, proporcionar un control preciso de la potencia reactiva puede ser aún más difícil durante las condiciones de fallo.

30 Fei Wang et al: "Pliant Active and Reactive Power Control for Grid-Interactive Converters Under Unbalanced Voltage Dips", IEEE Transactions on Power Electronics, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, US, vol. 26, no. 5, 1 de mayo de 2011, páginas 1511 – 1521 ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2010.2052289 describe una técnica para el control de potencia reactiva en la que se obtiene una corriente de referencia como la suma de los componentes de potencia reactiva positivo y negativo.

35 El documento US 6.052.297 describe un aparato de conversión de potencia que tiene una sección de control de componentes de corriente que produce componentes de secuencia negativa en el eje q y en el eje d y componentes de secuencia positiva en el eje q y en el eje d en base a un valor de corriente o voltaje detectado.

40 El documento WO 2010/028689 A1 describe un procedimiento para controlar la potencia de salida de una máquina de inducción de doble alimentación a una red que incluye las etapas de medir el voltaje de la red y la corriente de la red en un sistema de coordenadas de tres fases, transformar el voltaje de la red y la corriente de la red en un sistema de coordenadas de bastidor del estator, descomponer el voltaje de la red y la corriente de la red en el sistema de coordenadas de bastidor del estator en un sistema de secuencia positiva y en un sistema de secuencia negativa, calcular la potencia activa y reactiva en el sistema de secuencia positiva y negativa, y controlar la potencia activa y reactiva en el sistema de secuencia positiva y negativa.

45 El documento US 7.321.500 B2 describe un convertidor de fuente de voltaje para una aplicación de alta potencia que contiene una pluralidad de válvulas. Cada válvula contiene una pluralidad de elementos semiconductores extinguidos, y una unidad de control de válvulas que contiene un ordenador y un modulador de amplitud de pulso que proporciona una señal de control de ejecución para controlar los elementos semiconductores. La unidad de control de válvulas incluye un primer control que contiene un primer modulador de amplitud de pulso para proporcionar una primera señal de modulación de amplitud de pulso, un segundo control que contiene un segundo modulador de amplitud de pulso para proporcionar una segunda señal de modulación de amplitud de pulso, un detector de modo y un selector conectado al primer y segundo modulador de amplitud de pulso para seleccionar en función del detector de modo la señal de modulación de amplitud de pulso de ejecución.

60 Es deseable proporcionar un sistema y un procedimiento para regulación de potencia reactiva para abordar los problemas que se han mencionado con anterioridad.

Por lo tanto, se proporcionan diversos aspectos y formas de realización de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

65 Otras características, aspectos y ventajas diversas de la presente divulgación se comprenderán mejor con la lectura de la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que símbolos similares representan partes similares a lo largo de los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 2 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un controlador para su uso en la forma de realización de la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra diversos circuitos del controlador que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 4 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un circuito de desacoplamiento de corriente positiva de un circuito de desacoplamiento de corriente para su uso en la forma de realización de la Figura 3.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un circuito de desacoplamiento de corriente negativa de un circuito de desacoplamiento de corriente para su uso en la forma de realización de la Figura 3.

La Figura 6 es un diagrama de bloques de un primer módulo de cálculo de potencia del circuito de cálculo de potencia que se muestra en la Figura 3 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 7 es un diagrama de bloques de un segundo módulo de cálculo de potencia del circuito de cálculo de potencia que se muestra en la Figura 3 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 8 es un diagrama de bloques de un primer módulo de regulación positiva de un regulador de potencia positiva que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 9 es un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación positiva de un regulador de potencia positiva que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 10 es un diagrama de bloques de un primer módulo de regulación negativa de un regulador de potencia negativa que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 11 es un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación negativa de un regulador de potencia negativa que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 12 es un diagrama de bloques de un regulador de corriente del controlador que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo.

La Figura 13 es un diagrama de bloques de otra forma de realización de un circuito de desacoplamiento de corriente para su uso en la forma de realización de la Figura 3.

La Figura 14 es un diagrama de bloques del primer módulo de regulación positiva del regulador de potencia positiva que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo.

La Figura 15 es un diagrama de bloques del segundo módulo de regulación positiva del regulador de potencia positiva que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo.

La Figura 16 es un diagrama de bloques del segundo módulo de regulación negativa del regulador de potencia negativa que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo.

Las formas de realización divulgadas en este documento se refieren a un sistema y a un procedimiento para regulación de la potencia reactiva.

La invención se encuentra definida por las características de las reivindicaciones independientes 1 y 11. En las reivindicaciones dependientes se definen formas de realización preferidas.

En un aspecto, el sistema y el procedimiento se implementan desacoplando los componentes de secuencia positiva y componentes de secuencia negativa de la potencia de salida del sistema. El sistema y el procedimiento se implementan además regulando por separado la potencia reactiva con respecto de la secuencia positiva y la secuencia negativa para controlar la potencia reactiva con mayor precisión y, de este modo, estabilizar la red eléctrica y mitigar el desequilibrio de la misma. Dado que la potencia reactiva positiva y la potencia reactiva negativa se regulan de forma independiente, en este documento se introducen los términos "control de auto regresión vectorial VAR" o "regulación de auto regresión vectorial VAR". Estos términos no pretenden limitar el alcance de la divulgación de control de sólo la potencia reactiva ya que, en algunas implementaciones, el "control de auto regresión vectorial VAR" puede incluir también el control de la potencia activa o la regulación de la potencia activa.

Salvo que se defina de otro modo, los términos técnicos y científicos utilizados en el presente documento tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por parte de un experto en la materia al que pertenece esta divulgación. Los términos "primero", "segundo" y similar tal como se utilizan en este documento, no denotan ningún orden, cantidad o importancia, sino que se utilizan más bien para distinguir un elemento de otro elemento. Además, los términos "un" y "una" no denotan una limitación de la cantidad, sino que más bien denotan la presencia de al menos uno de los elementos mencionados. El uso de "incluyendo", "comprendiendo" o "teniendo" y variaciones de los mismos en el presente documento tiene por objeto abarcar los elementos enumerados a continuación y sus equivalentes, así como otros elementos adicionales. Los términos "conectado" y "acoplado" no se limitan a conexiones o acoplamientos físicos o mecánicos, y pueden incluir conexiones o acoplamientos eléctricos, ya sean directos o indirectos.

La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema 100 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. En la forma de realización ilustrada de la Figura 1, el sistema 100 incluye en general una fuente de energía 10, un convertidor de potencia 20, una red eléctrica 30 y un controlador 40. Cada bloque del sistema 100 se describirá con más detalle a continuación.

La fuente de energía 10 está configurada para generar una primera forma de potencia eléctrica 102 a partir de una diversidad de fuentes de energía disponibles. En una implementación de la divulgación, la fuente de energía 10 puede incluir una máquina eléctrica tal como una turbina eólica o una turbina de energía hidrocíntrica marina. Una turbina eólica es operable para transformar energía mecánica del viento en energía mecánica rotacional y para convertir la energía mecánica rotacional en potencia eléctrica de corriente alterna (AC: alternating current) de tres fases. Las turbinas marinas son operables para transformar la energía mecánica de las mareas en potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases. Se tiene que reconocer que la potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases es un tipo de la primera forma de potencia eléctrica 102. En otras formas de realización, la primera forma de potencia eléctrica puede incluir potencia eléctrica de corriente alterna polifásica o potencia eléctrica de corriente continua (DC: direct current). En una implementación, la fuente de energía 10 puede incluir un panel solar que tiene un conjunto empaquetado de celdas solares. El panel solar está configurado para generar potencia eléctrica de corriente continua a partir del sol a través de efectos fotovoltaicos.

El convertidor de potencia 20 está acoplado a la fuente de energía 10 para recibir la primera forma de potencia eléctrica 102 procedente de la fuente de energía 10. El convertidor de potencia 20 está configurado para convertir la primera forma de potencia eléctrica 102 en una segunda forma de potencia eléctrica 262. En una implementación de la divulgación en la que la fuente de energía 10 incluye una turbina eólica, el convertidor de potencia 20 está diseñado para incluir un convertidor en el lado de la máquina 22, un convertidor en el lado de la red 26 y un enlace de corriente continua (DC) 24 acoplado entre el convertidor en el lado de la máquina 22 y el convertidor en el lado de la red 26. El convertidor en el lado de la máquina 22 actúa como un rectificador y está configurado para rectificar la potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases 102 en forma de potencia eléctrica de corriente continua 222. La potencia eléctrica de corriente continua 222 es transmitida al enlace de corriente continua 24. El enlace de corriente continua 24 puede incluir uno o más condensadores acoplados en serie o en paralelo. El enlace de corriente continua 24 está configurado para mitigar las variaciones de voltaje a través del enlace de corriente continua 24 con rectificación de corriente alterna. La potencia eléctrica de corriente continua 222 es transmitida posteriormente por el enlace de corriente continua 24 al convertidor en el lado de la red 26. El convertidor en el lado de la red 26 actúa como un inversor, está configurado para convertir la potencia eléctrica de corriente continua 222 procedente del enlace de corriente continua 24 de nuevo en una potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases 262, y es controlado por el controlador 40. La potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases 262 es transmitida posteriormente a la red eléctrica 30 para su transmisión y distribución. En una forma de realización, el convertidor en el lado de la máquina 22 y el convertidor en el lado de la red 26 pueden incluir una topología de tres fases de dos niveles con una serie de conmutadores de energía semiconductores totalmente controlados y regulados utilizando una estrategia de modulación del ancho de pulso (PWM: pulse width modulation). En formas de realización alternativas, el convertidor en el lado de la máquina 22 y el convertidor en el lado de la red 26 pueden incluir una topología de tres fases de tres niveles. Los conmutadores de energía semiconductores pueden incluir cualesquiera dispositivos apropiados con diversos ejemplos que incluyen transistores bipolares de puerta aislada (IGBT: insulated gate bipolar transistors), tiristores comunicados por puerta (GCT: gate communicated thyristors) y transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET: metal oxide semiconductor field effect transistors). En formas de realización en las que la fuente de alimentación 10 suministra energía de corriente continua, el convertidor en el lado de la máquina 22 puede ser omitido o puede estar configurado como un convertidor de corriente continua a corriente continua, por ejemplo.

En la forma de realización ilustrada de la Figura 1, el sistema 100 incluye además un sensor de voltaje 32, un sensor de corriente 34 y un sensor de voltaje de corriente continua 50. El sensor de voltaje 32 y el sensor de corriente 34 están ambos acoplados eléctricamente a una conexión conjunta entre el convertidor en el lado de la red 26 y la red eléctrica 30. El sensor de voltaje 32 está configurado para medir un voltaje del sistema 322 de la potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases 262 transmitida a la red eléctrica 30,

y en respuesta a ello, proporcionar un voltaje de sistema de retroalimentación 324 al controlador 40. En una implementación, el voltaje del sistema 322 puede incluir tres voltajes de línea procedentes de la línea de transmisiones. En otra implementación, el voltaje del sistema 322 puede incluir voltajes de línea a línea transmitidos entre dos líneas de transmisión. El sensor de corriente 34 está configurado para medir una corriente de sistema 342 de la potencia eléctrica de corriente alterna de tres fases 262, y en respuesta a ello, proporcionar una corriente de sistema de retroalimentación 344 al controlador 40. En una implementación, la corriente del sistema 342 puede incluir tres corrientes que fluyen a través de las líneas de transmisión. El sensor de voltaje de corriente continua 50 está configurado para medir un voltaje de corriente continua 222 a través del enlace de corriente continua 24, y en respuesta a ello, proporcionar un voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 al controlador 40.

El controlador 40 funciona en respuesta al voltaje de sistema de retroalimentación 324, a la corriente de sistema de retroalimentación 344 y al voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 procedente del sensor de corriente continua 50 y a una diversidad de comandos de sistema para generar una señal de control 408 para controlar el convertidor en el lado de la red 26. Los comandos de sistema pueden incluir un comando de potencia reactiva positiva 402, un comando de potencia reactiva negativa 404 y un comando de voltaje de corriente continua 406. Aunque no es un objeto de esta divulgación, se puede utilizar el propio controlador 40 o un controlador adicional para proporcionar señales de control para el convertidor en el lado de la máquina 22. A continuación se describirán más detalles del controlador 40.

La Figura 2 ilustra un diagrama de bloques del controlador 40 que se muestra en la Figura 1 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. Según se ilustra en la Figura 2, el controlador 40 incluye un circuito de desacoplamiento de voltaje 42, un circuito de desacoplamiento de corriente 44, un circuito de cálculo de potencia 46, un regulador de potencia positiva 48, un regulador de potencia negativa 52, un regulador de corriente 54 y un modulador de modulación del ancho de pulso (PWM: pulse width modulation) 56.

Según se ilustra en la Figura 2, el circuito de desacoplamiento de voltaje 42 está acoplado al sensor de voltaje 32 (Figura 1) para recibir el voltaje de sistema de retroalimentación 324 procedente del sensor de voltaje 32. El circuito de desacoplamiento de voltaje 42 está configurado para desacoplar los componentes de voltaje positivo y negativo con respecto del voltaje de sistema de retroalimentación 324. En una implementación de la divulgación, el circuito de desacoplamiento de voltaje 42 puede incluir un circuito de bloqueo de fase con acoplamiento cruzado (CCPLL: crossed-coupled phase lock loop) 58 según se muestra en la Figura 3. En un marco de referencia directo y de cuadratura (d-q: direct and quadrature) de dos fases de rotación sincrónica, el componente de voltaje de secuencia positiva de retroalimentación 422 desacoplado con respecto del circuito de CCPLL 58 incluye un voltaje positivo del eje d 582 y un voltaje positivo del eje q 584. De manera similar, el voltaje de secuencia negativa de retroalimentación 424 desacoplado con respecto del circuito de CCPLL 58 incluye un voltaje negativo del eje d 586 y un voltaje negativo del eje q 588. El circuito de CCPLL 58 también está configurado para proporcionar un ángulo de fase positivo 426 y un ángulo de fase negativo 428. En una implementación, se puede encontrar un ejemplo de un circuito CCPLL 58 en el documento comúnmente asignado Weng et al., que es documento de Patente de EE.UU. nº 7.456.695, el cual se incorpora en el presente documento por referencia.

Según se ilustra en la Figura 2, el circuito de desacoplamiento de corriente 44 está acoplado al sensor de corriente 34 (Figura 1) para recibir la corriente de sistema de retroalimentación 344 procedente del sensor de corriente 34. El circuito de desacoplamiento de corriente 44 está configurado para desacoplar los componentes de corriente positivo y negativo con respecto de la corriente de sistema de retroalimentación 344 según los ángulos de fase positivo y negativo 426, 428 generados por el circuito de desacoplamiento de voltaje 42. En una implementación que se ilustra en la Figura 3, en el marco de referencia d-q, la corriente de secuencia positiva de retroalimentación 442 desacoplada con respecto del circuito de desacoplamiento de corriente 44 incluye una corriente positiva del eje d 622 y una corriente positiva del eje q 624, y la corriente de secuencia negativa de retroalimentación 444 desacoplada con respecto del circuito de desacoplamiento de corriente 44 incluye una corriente negativa del eje d 626 y una corriente negativa del eje q 628. A continuación se describirán más detalles del circuito de desacoplamiento de corriente 44.

Según se ilustra en la Figura 2, el circuito de cálculo de potencia 46 está acoplado tanto al circuito de desacoplamiento de voltaje 42 como al circuito de desacoplamiento de corriente 44 para recibir los componentes de voltaje de secuencia positivo y negativo desacoplados y los componentes de corriente de secuencia positiva y negativa para realizar un cálculo de potencia. En una implementación de la divulgación, el circuito de cálculo de potencia 46 recibe los voltajes de secuencia positivo y negativo de retroalimentación 422, 424 y las corrientes de secuencia positiva y negativa de retroalimentación 442, 444 para su uso en el cálculo de una potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 y una potencia reactiva negativa de retroalimentación 464. Después de calcular las potencias reactivas positiva y negativa 462, y 464, el controlador 40 puede realizar un control de potencia reactiva en base al comando de potencia reactiva positiva 402 y al comando de potencia reactiva negativa 404. En otra implementación, en referencia también a la Figura 3, el circuito de cálculo de potencia 46 puede estar configurado además para calcular una potencia activa positiva de retroalimentación 466 y una potencia activa negativa de retroalimentación 468

para facilitar la realización del control de potencia activa. A continuación se describirán más detalles sobre el cálculo de la potencia reactiva positiva y negativa de retroalimentación.

5 Según se ilustra en la Figura 2, el regulador de potencia positiva 48 está acoplado al circuito de cálculo de potencia 46. El regulador de potencia positiva 48 está configurado para recibir la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 y para realizar un control de potencia reactiva positiva según el comando de potencia reactiva positiva 402. El regulador de potencia positiva 48 está configurado además para recibir el voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 y para realizar un control de potencia activa positiva según el comando de corriente continua 406. Realizando los controles de potencia reactiva y activa positiva, el regulador de potencia positiva 48 proporciona un comando de corriente positiva 482. A continuación se describirán más detalles sobre la realización del control de potencia reactiva positiva.

15 Según se ilustra en la Figura 2, el regulador de potencia negativa 52 está configurado para recibir la potencia reactiva negativa de retroalimentación 464 y para realizar una potencia reactiva negativa según el comando de potencia reactiva negativa 404. Con la realización del control de potencia reactiva negativa, el regulador de potencia negativa 52 proporciona un comando de corriente negativa 522. A continuación se describirán más detalles sobre la realización del control de potencia reactiva negativa.

20 Según se ilustra en la Figura 2, el regulador de corriente 54 está acoplado al regulador de potencia positiva 48 y al regulador de potencia negativa 52 para recibir el comando de corriente positiva 482 y el comando de corriente negativa 522. El regulador de corriente 54 también puede estar acoplado al circuito de desacoplamiento de corriente 44 para recibir la corriente de secuencia positiva y negativa de retroalimentación 442, 444. En una implementación, el regulador de corriente 54 procesa la corriente de secuencia positiva y negativa de retroalimentación 442, 444 y los comandos de corriente positiva y negativa 482, 522 para proporcionar un comando de voltaje 540. El comando de voltaje 540 es modulado en el modulador de PWM 56 para proporcionar la señal de control 408. La señal de control 408 es aplicada al convertidor en el lado de la red 26 (Figura 1) para controlar el convertidor en el lado de la red 26 y generar la salida de corriente deseada. La señal de control 408 puede incluir señales de pulso que tienen unos estados de encendido (on) y apagado (off).

30 La Figura 4 ilustra un diagrama de bloques de una forma de realización de un circuito de desacoplamiento de corriente positiva 441 del circuito de desacoplamiento de corriente 44 para su uso en la forma de realización de la Figura 3. El circuito de desacoplamiento de corriente positiva 441 está configurado para desacoplar los componentes de corriente de secuencia positiva con respecto de la corriente de sistema de retroalimentación 344. En una implementación, el circuito de desacoplamiento de corriente positiva 441 incluye un elemento de rotación positiva 45, un primer filtro de paso bajo (LPF: low pass filter) positivo 47, y un segundo LPF positivo 49. El elemento de rotación positiva 45 está acoplado al sensor de corriente 34 (Figura 1) para recibir la corriente de sistema de retroalimentación 344 procedente del sensor de corriente 34. El elemento de rotación positiva 45 hace rotar la corriente de sistema de retroalimentación 344 de acuerdo con el ángulo de fase positivo 426 y produce como salida una corriente positiva del eje d 621 y una corriente positiva del eje q 623. En una implementación, el elemento de rotación positiva 45 puede hacer rotar la corriente de sistema de retroalimentación de tres fases 344 hacia una corriente de retroalimentación positiva de dos fases en el marco de referencia d-q de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$45 \begin{bmatrix} I_{dp\_fbk0} \\ I_{qp\_fbk0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} \cos \theta_p & -\frac{1}{3} \cos \theta_p + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \theta_p & -\frac{1}{3} \cos \theta_p - \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \theta_p \\ -\frac{2}{3} \sin \theta_p & \frac{1}{3} \sin \theta_p + \frac{\sqrt{3}}{3} \cos \theta_p & \frac{1}{3} \sin \theta_p - \frac{\sqrt{3}}{3} \cos \theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a\_fbk} \\ I_{b\_fbk} \\ I_{c\_fbk} \end{bmatrix} \quad (1),$$

50 en la que  $I_{dp\_fbk0}$ ,  $I_{qp\_fbk0}$  son la corriente positiva del eje d 621 y la corriente positiva del eje q 623 respectivamente en el marco de referencia d-q,  $\theta_p$  es el ángulo de fase positivo 426, e  $I_{a\_fbk}$ ,  $I_{b\_fbk}$ ,  $I_{c\_fbk}$  son los componentes de corriente de tres fases de la corriente de sistema de retroalimentación 344. El primer LPF positivo 47 elimina los componentes de alta frecuencia de la corriente positiva del eje d 621 y produce como salida la corriente positiva del eje d 622. El segundo LPF positivo 49 elimina los componentes de alta frecuencia de la corriente positiva del eje q 623 y produce como salida la corriente positiva del eje q 624.

55 La Figura 5 ilustra un diagrama de bloques de una forma de realización de un circuito de desacoplamiento de corriente negativa 443 del circuito de desacoplamiento de corriente 44 para su uso en la forma de realización de la Figura 3. El circuito de desacoplamiento de corriente negativa 443 está configurado para desacoplar los componentes de corriente de secuencia negativa con respecto de la corriente de sistema de retroalimentación 344. En una implementación, el circuito de desacoplamiento de corriente negativa 443 incluye un elemento de rotación negativa 51, un primer filtro de paso bajo (LPF: low pass filter) negativo 53, y un segundo LPF negativo 55. El elemento de rotación negativa 51 está acoplado al sensor de corriente 34 (Figura 1) para recibir la corriente de sistema de retroalimentación 344 procedente del sensor de corriente 34. El elemento de rotación negativa 51 hace hacer rotar la corriente de sistema de

retroalimentación 344 de acuerdo con el ángulo de fase negativo 428 y produce como salida una corriente negativa del eje d 625 y una corriente negativa del eje q 627. En una implementación, el elemento de rotación negativa 51 puede hacer rotar la corriente de sistema de retroalimentación de tres fases 344 hacia la corriente de retroalimentación negativa de dos fases en el marco de referencia d-q de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{dn\_fbk0} \\ I_{qn\_fbk0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} \cos \theta_n & -\frac{1}{3} \cos \theta_n + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \theta_n & -\frac{1}{3} \cos \theta_n - \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \theta_n \\ -\frac{2}{3} \sin \theta_n & \frac{1}{3} \sin \theta_n + \frac{\sqrt{3}}{3} \cos \theta_n & \frac{1}{3} \sin \theta_n - \frac{\sqrt{3}}{3} \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a\_fbk} \\ I_{b\_fbk} \\ I_{c\_fbk} \end{bmatrix} \quad (2),$$

en la que  $I_{dn\_fbk0}$ ,  $I_{qn\_fbk0}$  son la corriente negativa del eje d 625 y la corriente negativa del eje q 627 en el marco de referencia d-q,  $\theta_n$  es el ángulo de fase negativo 428, e  $I_{a\_fbk}$ ,  $I_{b\_fbk}$ ,  $I_{c\_fbk}$  son los componentes de corriente de tres fases de la corriente de sistema de retroalimentación 344. El primer LPF negativo 53 elimina los componentes de alta frecuencia de la corriente negativa del eje d 625 y produce como salida la corriente negativa del eje d 626. El segundo LPF negativo 55 elimina los componentes de alta frecuencia de la corriente negativa del eje q 627 y produce como salida la corriente negativa del eje q 628.

La Figura 6 ilustra un diagrama de bloques de un primer módulo de cálculo de potencia 461 del circuito de cálculo de potencia 46 que se muestra en la Figura 3 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El primer módulo de cálculo de potencia 461 está configurado para calcular la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 y la potencia activa positiva de retroalimentación 466 de acuerdo con los voltajes positivos de retroalimentación 582, 584 y las corrientes positivas de retroalimentación 622, 624. En una implementación, el primer módulo de cálculo de potencia 461 incluye un primer elemento de multiplicación 11, un segundo elemento de multiplicación 13, un tercer elemento de multiplicación 15, un cuarto elemento de multiplicación 17, un primer elemento de suma (summation element) 19, un segundo elemento de suma 21, un primer elemento de procesamiento 23 y un segundo elemento de procesamiento 25. El primer elemento de multiplicación 11 multiplica el voltaje positivo del eje d 582 con la corriente positiva del eje d 622 y proporciona una primera señal multiplicada 112. El segundo elemento de multiplicación 13 multiplica el voltaje positivo del eje q 584 con la corriente positiva del eje q 624 y proporciona una segunda señal multiplicada 132. El primer elemento de suma 19 suma la primera señal multiplicada 112 y la segunda señal multiplicada 132 y proporciona una señal de suma (summation signal) 192. La señal de suma 192 es procesada por el primer elemento de procesamiento 23 para proporcionar la potencia activa positiva de retroalimentación 466. En un ejemplo, el primer elemento de procesamiento 23 multiplica la señal de suma 192 por un coeficiente o factor igual a 1,5. El tercer elemento de multiplicación 15 multiplica el voltaje positivo del eje d 582 con la corriente positiva del eje q 624 y proporciona una tercera señal multiplicada 152. El cuarto elemento de multiplicación 17 multiplica el voltaje positivo del eje q 584 con la corriente positiva del eje d 622 y proporciona una cuarta señal multiplicada 172. El segundo elemento de suma 21 sustrae la tercera señal multiplicada 152 a la cuarta señal multiplicada 172 y proporciona una señal sustraída 212. La señal sustraída 212 es procesada por el segundo elemento de procesamiento 25 para proporcionar la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462. En un ejemplo, el elemento de procesamiento 25 multiplica la señal sustraída 212 por un coeficiente o factor igual a 1,5.

La Figura 7 ilustra un diagrama de bloques de un segundo módulo de cálculo de potencia 463 del circuito de cálculo de potencia 46 que se muestra en la Figura 3 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El segundo módulo de cálculo de potencia 463 está configurado para calcular la potencia reactiva negativa de retroalimentación 464 y la potencia activa negativa de retroalimentación 468 según los voltajes negativos de retroalimentación 586, 588 y las corrientes negativas de retroalimentación 626, 628. En una implementación, el segundo módulo de cálculo de potencia 463 incluye un primer elemento de multiplicación 27, un segundo elemento de multiplicación 29, un tercer elemento de multiplicación 31, un cuarto elemento de multiplicación 33, un primer elemento de suma 35, un segundo elemento de suma 37, un primer elemento de procesamiento 39 y un segundo elemento de procesamiento 41. El primer elemento de multiplicación 27 multiplica el voltaje negativo del eje d 586 con la corriente negativa del eje d 626 y proporciona una primera señal multiplicada 272. El segundo elemento de multiplicación 29 multiplica el voltaje negativo del eje q 588 con la corriente negativa del eje q 628 y proporciona una segunda señal multiplicada 292. El primer elemento de suma 35 suma la primera señal multiplicada 272 y la segunda señal multiplicada 292 y proporciona una señal de suma 352. La señal de suma 352 es procesada por el primer elemento de procesamiento 39 para obtener la potencia activa negativa de retroalimentación 468. El tercer elemento de multiplicación 31 multiplica el voltaje negativo del eje d 586 con la corriente negativa del eje q 628 y proporciona una tercera señal multiplicada 312. El cuarto elemento de multiplicación 33 multiplica el voltaje negativo del eje q 588 con la corriente negativa del eje d 626 y proporciona una cuarta señal multiplicada 332. El segundo elemento de suma 37 sustrae la tercera señal multiplicada 312 a la cuarta señal multiplicada 332 y proporciona una señal sustraída 372. La señal sustraída 372 es procesada por el segundo elemento de procesamiento 41 para obtener la potencia reactiva negativa de retroalimentación 464.

La Figura 8 ilustra un diagrama de bloques de un primer módulo de regulación positiva 120 del regulador de potencia positiva 48 que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El primer módulo de regulación positiva 120 está configurado para regular el voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 procedente del sensor de corriente continua 50, así como el comando de corriente continua 406 y para proporcionar un comando de corriente positiva del eje d 802. En una implementación, el primer módulo de regulación positiva 120 incluye un primer elemento de suma 76, un regulador de voltaje de corriente continua 78 y un limitador de corriente 80 acoplados en serie. El primer elemento de suma 76 sustrae el voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 al comando de corriente continua 406 para proporcionar un comando de voltaje de corriente continua de diferencia 762. El comando de voltaje de corriente continua de diferencia 762 es regulado por el regulador de voltaje de corriente continua 78 para proporcionar un comando de corriente positiva del eje d 782. El limitador de corriente 80 limita el comando de corriente positiva del eje d 782, de tal manera que el comando de corriente positiva del eje d resultante 802 no excede la capacidad del convertidor en el lado de la red 26 (Figura 1).

La Figura 9 ilustra un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación positiva 140 del regulador de potencia positiva 48 que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El segundo módulo de regulación positiva 140 está configurado para regular la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 procedente del circuito de cálculo de potencia 46 según el comando de potencia reactiva positiva 402 y para proporcionar un comando de corriente positiva del eje q 742. En una implementación, el segundo módulo de regulación positiva 140 incluye un primer elemento de suma 66, un regulador de VAR 68, un segundo elemento de suma 70, un regulador de voltaje 72 y un limitador de corriente 74 acoplados en serie. El primer elemento de suma 66 sustrae la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 al comando de potencia reactiva positiva 402 para proporcionar un comando de potencia reactiva positiva de diferencia 662. El comando de potencia reactiva positiva de diferencia 662 es regulado por el regulador de VAR 68 para proporcionar un comando de voltaje regulado 682. El segundo elemento de suma 70 sustrae una magnitud de voltaje positivo 110 al comando de voltaje regulado 682 para proporcionar un comando de voltaje regulado de diferencia 702. La magnitud de voltaje positivo 110 se puede calcular según la siguiente expresión:

$$V_{p\_mag} = \sqrt{V_{dp}^2 + V_{qp}^2} \quad (3),$$

en la que  $V_{p\_mag}$  es la magnitud de voltaje positivo 110,  $V_{dp}$  es el voltaje positivo del eje d 582, y  $V_{qp}$  es el voltaje positivo del eje q 584. El comando de voltaje regulado de diferencia 702 es regulado además por el regulador de voltaje 72 para proporcionar un comando de corriente positiva del eje q 722. El limitador de corriente 74 limita el comando de corriente positiva del eje q 722, de tal manera que el comando de corriente positiva del eje q 742 resultante no excede la capacidad del convertidor en el lado de la red 26 (Figura 1).

La Figura 10 ilustra un diagrama de bloques de un primer módulo de regulación negativa 260 del regulador de potencia negativa 52 de la Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El primer módulo de regulación negativa 260 está configurado para regular el voltaje negativo del eje q 588 y para proporcionar un comando de corriente negativa del eje d 105. En una implementación, el primer módulo de regulación negativa 260 emula una carga L-R en secuencia negativa, por ejemplo, una inductancia en secuencia negativa. El primer módulo de regulación negativa 260 incluye un elemento de multiplicación 98, un filtro 102 y un limitador 104 acoplados en serie. El elemento de multiplicación 98 multiplica el voltaje negativo del eje q 588 por una señal de ganancia del eje q 230 y proporciona una corriente negativa del eje d 982. El filtro 102 filtra la corriente negativa del eje d 982 de acuerdo con una señal del eje q 250 y proporciona un comando de corriente negativa del eje d filtrado 1022. La señal del eje q 250 es una señal predeterminada y se suministra para indicar un ancho de banda del filtro 102. El limitador 104 limita el comando de corriente negativa del eje d filtrado 1022 y proporciona el comando de corriente negativa del eje d 105.

La Figura 11 ilustra un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación negativa 280 del regulador de potencia negativa 52 de Figura 2 de acuerdo con una forma de realización de ejemplo. El segundo módulo de regulación negativa 280 está configurado para regular el voltaje negativo del eje d 586 y para proporcionar un comando de corriente negativa del eje q 113. En una implementación, el segundo módulo de regulación negativa 280 emula una carga L-R en secuencia negativa, por ejemplo, una inductancia en secuencia negativa. El segundo módulo de regulación negativa 280 incluye un elemento de multiplicación 106, un filtro 108 y un limitador 112 acoplados en serie. El elemento de multiplicación 106 multiplica el voltaje negativo del eje d 586 por una señal de ganancia 270 y proporciona una corriente negativa del eje q 1062. El filtro 108 filtra la corriente negativa del eje q 1062 de acuerdo con una señal del eje d 290 y proporciona una señal de corriente negativa del eje q filtrada 1082. La señal del eje d 290 también es una señal predeterminada y se suministra para indicar un ancho de banda del filtro 108. El limitador 112 limita la señal de corriente negativa del eje q filtrada 1082 y proporciona el comando de corriente negativa del eje q 113.

La Figura 12 ilustra un diagrama de bloques del regulador de corriente 54 que se muestra en la Figura 2. El regulador de corriente 54 está configurado para controlar los respectivos errores de corriente de la corriente positiva y negativa de retroalimentación y los comandos de corriente positiva y negativa con respecto a cero en estado estable. En una implementación, el regulador de corriente 54 incluye un regulador de corriente positiva 128, un regulador de corriente negativa 134, un primer elemento de suma 132, un segundo elemento de suma 138, un elemento de rotación de secuencia 136 y un convertidor de dos fases a tres fases 142.

Según se muestra en la Figura 12, el regulador de corriente positiva 128 recibe la corriente positiva del eje d 622, la corriente positiva del eje q 624, el comando de corriente positiva del eje d 802, y el comando de corriente positiva del eje q 742. La corriente positiva del eje d 622 y la corriente positiva del eje q 624 son reguladas por el regulador de corriente positiva 128 de acuerdo con el comando de corriente positiva del eje d 802 y el comando de corriente positiva del eje q 742 para proporcionar un primer comando de voltaje positivo del eje d 1282 y un primer comando de voltaje positivo del eje q 1284.

Según se muestra en la Figura 12, el regulador de corriente negativa 134 recibe la corriente negativa del eje d 626, la corriente negativa del eje q 628, el comando de corriente negativa del eje d 105, y el comando de corriente negativa del eje q 113. La corriente negativa del eje d 626 y la corriente negativa del eje q 628 son reguladas por el regulador de corriente negativa 134 de acuerdo con el comando de corriente negativa del eje d 105 y el comando de corriente negativa del eje q 113 para proporcionar un comando de voltaje negativo del eje d 1342 y un comando de voltaje negativo del eje q 1344. El comando de voltaje negativo del eje d 1342 y el comando de voltaje negativo del eje q 1344 en la secuencia negativa son rotados por el elemento de rotación de secuencia 136 para proporcionar un segundo comando de voltaje positivo del eje d 1362 y un segundo comando de voltaje positivo del eje q 1364 en la secuencia positiva. En una implementación, el elemento de rotación de secuencia 136 puede hacer rotar los componentes de voltaje negativo hacia componentes de voltaje positivo en el marco de referencia d–q de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} V_{dp\_cmd2} \\ V_{qp\_cmd2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\theta & \sin \Delta\theta \\ -\sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{dn\_cmd} \\ V_{qn\_cmd} \end{bmatrix} \quad (4),$$

en la que  $V_{dp\_cmd2}$  es el segundo comando de voltaje positivo del eje d 1362,  $V_{qp\_cmd2}$  es el segundo comando de voltaje positivo del eje q 1364,  $\Delta\theta = \theta_p - \theta_n$ ,  $\theta_p$  es el ángulo de fase positivo 426,  $\theta_n$  es el ángulo de fase negativo 428,  $V_{dn\_cmd}$  es el comando de voltaje negativo del eje d 1342, y  $V_{qn\_cmd}$  es el comando de voltaje negativo del eje q 1344.

Según se muestra además en la Figura 12, el primer comando de voltaje positivo del eje d 1282 y el segundo comando de voltaje positivo del eje d 1362 son sumados por el primer elemento de suma 132 para proporcionar un tercer comando de voltaje positivo del eje d 1322. El primer comando de voltaje positivo del eje q 1284 y el segundo comando de voltaje positivo del eje q 1364 son sumados por el segundo elemento de suma 138 para proporcionar un tercer comando de voltaje positivo del eje q 1382. El tercer comando de voltaje positivo del eje d 1322 y el tercer comando de voltaje positivo del eje q 1382 son convertidos por el convertidor de dos fases a tres fases 142 para proporcionar comandos de voltaje de tres fases 542, 544, 546 de acuerdo con el ángulo de fase positivo 426. En una implementación, el convertidor de dos fases a tres fases 142 puede convertir los comandos de voltaje de dos fases en el marco de referencia d–q a los comandos de voltaje de tres fases de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} U_{a\_cmd} \\ U_{b\_cmd} \\ U_{c\_cmd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & -\sin \theta_p \\ \cos \left( \theta_p - \frac{2}{3} \pi \right) & -\sin \left( \theta_p - \frac{2}{3} \pi \right) \\ \cos \left( \theta_p + \frac{2}{3} \pi \right) & -\sin \left( \theta_p + \frac{2}{3} \pi \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{dp\_cmd3} \\ V_{qp\_cmd3} \end{bmatrix} \quad (5),$$

en la que  $U_{a\_cmd}$ ,  $U_{b\_cmd}$ ,  $U_{c\_cmd}$  son los componentes de comando de voltaje de tres fases 542, 544, 546 del comando de voltaje 540 respectivamente,  $\theta_p$  es el ángulo de fase positivo 426, y  $V_{dp\_cmd3}$ ,  $V_{qp\_cmd3}$  son el tercer comando de voltaje positivo del eje d 1322 y el tercer comando de voltaje positivo del eje q 1382 respectivamente en el marco de referencia d–q. Los comandos de voltaje de tres fases 542, 544, 546 son aplicados al modulador de PWM 56 para producir la señal de control 408 para controlar el convertidor en el lado de la red 26 para generar una salida de corriente deseada.

Según se ha descrito con anterioridad, el controlador 40 es operado para desacoplar los componentes de voltaje y corriente de secuencia positiva y los componentes de voltaje y corriente de secuencia negativa

con respecto de la potencia transmitida a la red eléctrica 30. En un aspecto de la divulgación, el controlador 40 es operado además para calcular la potencia reactiva positiva según los componentes de voltaje y corriente de secuencia positiva desacoplados y para calcular la potencia reactiva negativa según los componentes de voltaje y corriente de secuencia negativa desacoplados. Dado que la potencia reactiva positiva y la potencia reactiva negativa se calculan de forma independiente, el controlador 40 es operado además para regular la potencia reactiva positiva en la secuencia positiva y para regular la potencia reactiva negativa en la secuencia negativa. En esta condición, tanto la potencia reactiva de secuencia positiva como la potencia reactiva de secuencia negativa son reguladas de manera que se puede ajustar la potencia reactiva de la potencia transmitida a la red eléctrica 30 con mayor precisión.

La Figura 13 ilustra un diagrama de bloques de otra forma de realización del circuito de desacoplamiento de corriente 44 para su uso en la forma de realización de la Figura 3. En una implementación, el circuito de desacoplamiento de corriente 44 incluye un convertidor de tres a dos fases 63, un primer elemento de suma 65, un segundo elemento de suma 67, un primer elemento de rotación positiva 69, un primer filtro de paso bajo (LPF) positivo 71, un segundo LPF positivo 73, un segundo elemento de rotación positiva 75, un tercer elemento de suma 77, un cuarto elemento de suma 79, un primer elemento de rotación negativa 81, un primer LPF negativo 83, un segundo LPF negativo 85 y un segundo elemento de rotación negativa 87. El convertidor de tres fases a dos fases 63 está acoplado al sensor de corriente 34 (Figura 1) para recibir la corriente de sistema de retroalimentación 344 procedente del sensor de corriente 34. El circuito de desacoplamiento de corriente 44 está construido en un modo de acoplamiento cruzado. Más en concreto, en un aspecto, dos salidas del segundo elemento de rotación positiva 75 están acopladas al tercer elemento de suma 77 y al cuarto elemento de suma 79 respectivamente, y dos salidas del segundo elemento de rotación negativa 87 están acopladas al primer elemento de suma 65 y al segundo elemento de suma 67 respectivamente.

En una implementación, el convertidor de tres fases a dos fases 63 convierte la corriente de sistema de retroalimentación de tres fases 344 en una corriente de retroalimentación de dos fases, es decir, una corriente de retroalimentación del eje  $\alpha$  632 y una corriente de retroalimentación del eje  $\beta$  634. En una implementación, el convertidor de tres a dos fases 63 puede convertir la corriente de sistema de retroalimentación de tres fases 344 en una corriente de retroalimentación de dos fases de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha\_fbk} \\ I_{\beta\_fbk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{3}}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a\_fbk} \\ I_{b\_fbk} \\ I_{c\_fbk} \end{bmatrix} \quad (6),$$

en la que  $I_{\alpha\_fbk}$ ,  $I_{\beta\_fbk}$  son la corriente de retroalimentación del eje  $\alpha$  632 y la corriente de retroalimentación del eje  $\beta$  634 respectivamente en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$ , e  $I_{a\_fbk}$ ,  $I_{b\_fbk}$ ,  $I_{c\_fbk}$  son los componentes de corriente de tres fases de la corriente de sistema de retroalimentación 344. Dado que se deriva una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  872 y una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  874 a partir del segundo elemento de rotación negativa 87, el primer elemento de suma 65 sustrae la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  872 a la corriente de retroalimentación del eje  $\alpha$  632 y produce como salida una corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  652. El segundo elemento de suma 67 sustrae la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  874 a la corriente de retroalimentación del eje  $\beta$  634 y produce como salida una corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  672.

El primer elemento de rotación positiva 69 hace rotar la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  652 y la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  672 de acuerdo con el ángulo de fase positivo 426 y produce como salida una corriente positiva del eje d 622 y una corriente positiva del eje q 624. En una implementación, el primer elemento de rotación positiva 69 puede hacer rotar la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$  hacia la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia d-q de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{dp\_fbk} \\ I_{qp\_fbk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & \sin \theta_p \\ -\sin \theta_p & \cos \theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha p\_fbk0} \\ I_{\beta p\_fbk0} \end{bmatrix} \quad (7),$$

en la que  $I_{dp\_fbk}$ ,  $I_{qp\_fbk}$  son la corriente positiva del eje d 622 y la corriente positiva del eje q 624 respectivamente en el marco de referencia d-q,  $\theta_p$  es el ángulo de fase positivo 426, e  $I_{\alpha p\_fbk0}$ ,  $I_{\beta p\_fbk0}$  son la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  652 y la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  672 respectivamente en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$ . El primer LPF positivo 71 y el segundo LPF positivo 73 eliminan respectivamente los componentes de alta frecuencia de la corriente positiva del eje d 622 y de la corriente positiva del eje q 624 y producen como salida una corriente positiva del eje d filtrada 712 y una corriente positiva del eje q filtrada 732 de forma correspondiente. El segundo elemento de rotación positiva

75 hace rotar la corriente positiva del eje d filtrada 712 y la corriente positiva del eje q filtrada 732 de vuelta hacia una corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  752 y una corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  754 según el ángulo de fase positivo 426. En una implementación, el segundo elemento de rotación positiva 75 puede hacer rotar la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia d-q hacia la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$  de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha p\_fbk1} \\ I_{\beta p\_fbk1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & -\sin \theta_p \\ \sin \theta_p & \cos \theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dp\_fbk} \\ I_{qp\_fbk} \end{bmatrix} \quad (8),$$

10 en la que  $I_{\alpha p\_fbk1}$ ,  $I_{\beta p\_fbk1}$  son la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  752 y la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  754 respectivamente en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\theta_p$  es el ángulo de fase positivo 426, e  $I_{dp\_fbk}$ ,  $I_{qp\_fbk}$  son la corriente positiva del eje d 712 y la corriente positiva del eje q 732 respectivamente en el marco de referencia d-q. En una implementación, la corriente positiva del eje d 622 y la corriente positiva del eje q 624 se transmiten al circuito de cálculo de potencia 46 (Figura 3) para calcular una potencia activa y una potencia reactiva instantáneas en secuencia positiva y negativa respectivamente. Cabe señalar que, en una forma de realización alternativa, la corriente positiva del eje d filtrada 712 y la corriente positiva del eje q filtrada 732 son transmitidas al circuito de cálculo de potencia 46 (Figura 3) para calcular la potencia.

20 En referencia además a la Figura 13, el tercer elemento de suma 77 sustrae la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\alpha$  752 a la corriente de retroalimentación del eje  $\alpha$  632 y produce como salida una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  772. El cuarto elemento de suma 79 sustrae la corriente de retroalimentación positiva del eje  $\beta$  754 a la corriente de retroalimentación del eje  $\beta$  634 y produce como salida una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  792. El primer elemento de rotación negativa 81 hace rotar la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  772 y la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  792 de acuerdo con el ángulo de fase negativo 428 y produce como salida una corriente negativa del eje d 626 y una corriente negativa del eje q 628. En una implementación, el primer elemento de rotación negativa 81 puede hacer rotar la corriente negativa de dos fases en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$  hacia la corriente negativa de dos fases en el marco de referencia d-q de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{dn\_fbk} \\ I_{qn\_fbk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & \sin \theta_n \\ -\sin \theta_n & \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha n\_fbk0} \\ I_{\beta n\_fbk0} \end{bmatrix} \quad (9),$$

35 en la que  $I_{dn\_fbk}$ ,  $I_{qn\_fbk}$  son la corriente negativa del eje d 626 y la corriente negativa del eje q 628 respectivamente en el marco de referencia d-q,  $\theta_n$  es el ángulo de fase negativo 428, e  $I_{\alpha n\_fbk0}$ ,  $I_{\beta n\_fbk0}$  son la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  772 y la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  792 respectivamente en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$ . El primer LPF negativo 83 y el segundo LPF negativo 85 eliminan respectivamente los componentes de alta frecuencia de la corriente negativa del eje d 626 y la corriente negativa del eje q 628 y producen como salida una corriente negativa del eje d filtrada 832 y una corriente negativa del eje q filtrada 852 de forma correspondiente. El segundo elemento de rotación negativa 87 hace rotar la corriente negativa del eje d filtrada 832 y la corriente negativa del eje q filtrada 852 de vuelta hacia una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  872 y una corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  874 según el ángulo de fase negativo 428. En una implementación, el segundo elemento de rotación negativa 87 puede hacer rotar la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia d-q hacia la corriente positiva de dos fases en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$  de acuerdo con la siguiente ecuación de matrices:

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha n\_fbk1} \\ I_{\beta n\_fbk1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{dn\_fbk} \\ I_{qn\_fbk} \end{bmatrix} \quad (10),$$

50 en la que  $I_{\alpha n\_fbk1}$ ,  $I_{\beta n\_fbk1}$  son la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\alpha$  872 y la corriente de retroalimentación negativa del eje  $\beta$  874 respectivamente en el marco de referencia  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\theta_n$  es el ángulo de fase negativo 428, e  $I_{dn\_fbk}$ ,  $I_{qn\_fbk}$  son la corriente negativa del eje d 832 y la corriente negativa del eje q 852 respectivamente en el marco de referencia d-q. En una implementación, la corriente negativa del eje d 626 y la corriente negativa del eje q 628 son suministradas al circuito de cálculo de potencia 46 (Figura 3) para calcular una potencia activa y una potencia reactiva instantáneas en secuencia positiva y negativa respectivamente. Cabe señalar que, en una forma de realización alternativa, la corriente negativa del eje d filtrada 832 y la corriente negativa del eje q filtrada 852 son transmitidas al circuito de cálculo de potencia 46 (Figura 3) para calcular la potencia.

60 En formas de realización alternativas, el controlador 40 del sistema 100 puede estar configurado además

para tener la capacidad de proporcionar un control de auto regresión vectorial VAR o regulación de auto regresión vectorial VAR incluso cuando la red eléctrica 30 esté sujeta a condiciones de continuidad de operación ante perturbación de voltaje (Voltage ride through), tales como condiciones de continuidad de operación ante una caída de voltaje (LVRT: low voltage ride through), de continuidad de operación ante un voltaje igual a cero (ZVRT: zero voltage ride through) y de continuidad de operación ante una subida de voltaje (HVRT: high voltage ride through).

La Figura 14 ilustra un diagrama de bloques de un primer módulo de regulación positiva 220 del regulador de potencia positiva 48 que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo. El primer módulo de regulación positiva 220 está configurado para proporcionar un comando de corriente teniendo en cuenta unas condiciones de continuidad de operación ante perturbación del voltaje (Voltage ride through conditions). En una implementación de la divulgación, el primer módulo de regulación positiva 220 incluye un primer elemento de suma 76, un regulador de voltaje de corriente continua 78, un segundo elemento de suma 96, un primer limitador de corriente 80, un elemento de multiplicación 88, un filtro 92 y un segundo limitador de corriente 94.

Según se muestra en la parte inferior de la Figura 14, el primer elemento de suma 76 sustrae el voltaje de corriente continua de retroalimentación 502 al comando de corriente continua 406 para proporcionar un comando de voltaje de corriente continua de diferencia 762. El comando de voltaje de corriente continua de diferencia 762 es regulado por el regulador de voltaje de corriente continua 78 para proporcionar un primer comando de corriente positiva del eje d 782. Según se muestra en una parte superior de la Figura 11, el elemento de multiplicación 88 multiplica el voltaje positivo del eje q 584 por una señal de ganancia del eje q 190 y proporciona una corriente positiva del eje d 882. El filtro 92 filtra la corriente positiva del eje d 882 de acuerdo con una señal del eje q 210 y proporciona un comando de corriente positiva del eje d filtrado 922. La señal del eje q 210 se suministra para indicar un ancho de banda del filtro 92. El segundo limitador de corriente 94 limita el comando de corriente positiva del eje d filtrado 922 y proporciona un segundo comando de corriente positiva del eje d 942. El segundo elemento de suma 96 suma el primer comando de corriente positiva del eje d 782 y el segundo comando de corriente positiva del eje d 942 y proporciona un tercer comando de corriente positiva del eje d 962. El primer limitador de corriente 80 limita el tercer comando de corriente positiva del eje d 962 y proporciona un comando de corriente positiva del eje d limitado 802. El comando de corriente positiva del eje d limitado 802 es transmitido al regulador de corriente positiva 128.

La Figura 15 ilustra un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación positiva 240 del regulador de potencia positiva 48 que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo. El segundo módulo de regulación positiva 240 está configurado para proporcionar un comando de corriente teniendo en cuenta unas condiciones de continuidad de operación ante perturbación del voltaje. En una implementación de la divulgación, el segundo módulo de regulación positiva 240 incluye un primer elemento de suma 66, un regulador de VAR 68, un segundo elemento de suma 70, un regulador de voltaje 72, un limitador de voltaje 75, un tercer elemento de suma 77, un elemento de ganancia 82, un filtro 84, un primer limitador de corriente 86, un cuarto elemento de suma 73 y un segundo limitador de corriente 74.

Según se muestra en una rama superior de la Figura 15, el primer elemento de suma 66 sustrae la potencia reactiva positiva de retroalimentación 462 al comando de potencia reactiva positiva 402 para proporcionar un comando de potencia reactiva positiva de diferencia 662. El comando de potencia reactiva positiva de diferencia 662 es regulado por el regulador de VAR 68 y para proporcionar un comando de voltaje positivo regulado 682. En una implementación, el regulador de VAR 68 puede incluir un controlador integral proporcional (PI: proportional integral). También se pueden utilizar otros tipos de controladores, por ejemplo, controladores derivados proporcionales (PD: proportional derivative) y controladores derivados integrales proporcionales (PID: proportional integral derivative). El segundo elemento de suma 70 sustrae una magnitud de voltaje positivo 110 al comando de voltaje positivo regulado 682 para proporcionar un comando de voltaje positivo de diferencia 702. La magnitud de voltaje positivo 110 se puede calcular según la expresión (3) conforme se ha comentado con anterioridad en referencia a la Figura 9. El comando de voltaje positivo de diferencia 702 es regulado además por el regulador de voltaje 72 para proporcionar un primer comando de corriente positiva del eje q 722. En una implementación, el regulador de voltaje 72 puede incluir un controlador PI. También se pueden utilizar otros tipos de controladores, por ejemplo, controladores derivados proporcionales (PD) y controladores derivados integrales proporcionales (PID).

Según se muestra en una rama inferior de la Figura 15, el limitador de voltaje 75 limita el voltaje positivo del eje d 582 y proporciona un voltaje positivo del eje d limitado 752. El tercer elemento de suma 77 sustrae el voltaje positivo del eje d limitado 752 al voltaje positivo del eje d 582 para proporcionar un voltaje positivo del eje d de diferencia 772. El elemento de ganancia 82 multiplica el voltaje positivo del eje d de diferencia 772 por una señal de ganancia del eje d 150 y proporciona una corriente positiva del eje q 822. El filtro 84 filtra la corriente positiva del eje q 822 de acuerdo con una señal del eje d 170 y proporciona un comando de corriente positiva del eje q filtrado 842. La señal del eje d 170 es una señal predeterminada y se suministra para indicar un ancho de banda del filtro 84. El comando de corriente positiva del eje q filtrado 842 es limitado por el primer limitador de corriente 86 para proporcionar un segundo comando de corriente

positiva del eje q 862. El cuarto elemento de suma 73 suma el primer comando de corriente positiva del eje q 722 y el segundo comando de corriente positiva del eje q 862 y proporciona un tercer comando de corriente positiva del eje q 732. El segundo limitador de corriente 74 limita el tercer comando de corriente positiva del eje q 732 y proporciona un comando de corriente positiva del eje q limitado 742. El comando de corriente positiva del eje q limitado 742 es transmitido al regulador de corriente positiva 128 de la Figura 12.

La Figura 16 ilustra un diagrama de bloques de un segundo módulo de regulación negativa 340 del regulador de potencia negativa 52 que se muestra en la Figura 2 de acuerdo con otra forma de realización de ejemplo. El segundo módulo de regulación negativa 340 está configurado para regular el voltaje negativo del eje d 586 y para regular además la potencia reactiva negativa de retroalimentación 464 de acuerdo con el comando de potencia reactiva negativa 404 para proporcionar un comando de corriente negativa del eje q 1262. En una implementación, el segundo módulo de regulación negativa 340 incluye un elemento de multiplicación 106, un filtro 108, un primer limitador 112, un primer elemento de suma 114, un regulador de VAR 116, un segundo elemento de suma 118, un regulador de voltaje 122, un tercer elemento de suma 124 y un segundo limitador de corriente 126.

Según se muestra en una rama superior de la Figura 16, el elemento de multiplicación 106 multiplica el voltaje negativo del eje d 584 por una señal de ganancia del eje d 270 y proporciona un voltaje negativo del eje d multiplicado 1062. El filtro 108 procesa el voltaje negativo del eje d multiplicado 1062 de acuerdo con una señal del eje d 290 y proporciona un primer comando de corriente negativa del eje q 1082. El primer limitador 112 limita el comando de corriente negativa del eje q 1082 y proporciona un primer comando de corriente negativa del eje q limitado 1122.

Según se muestra en una rama inferior de la Figura 16, el primer elemento de suma 114 sustrae la potencia reactiva negativa de retroalimentación 464 al comando de potencia reactiva negativa 404 para proporcionar un comando de potencia reactiva negativa de diferencia 1142. El comando de potencia reactiva negativa de diferencia 1142 es regulado por el regulador de VAR 116 y para proporcionar un comando de voltaje negativo regulado 1162. El segundo elemento de suma 118 sustrae una magnitud de voltaje negativo 350 al comando de voltaje negativo regulado 1162 para proporcionar un comando de voltaje negativo de diferencia 1182. La magnitud de voltaje negativo 350 puede ser calculada según la siguiente expresión:

$$V_{n\_mag} = \sqrt{V_{dn}^2 + V_{qn}^2} \quad (11),$$

en la que  $V_{n\_mag}$  es la magnitud de voltaje negativo 350,  $V_{dn}$  es el voltaje negativo del eje d 586, y  $V_{qn}$  es el voltaje negativo del eje q 588. El comando de voltaje positivo de diferencia 1182 es regulado además por el regulador de voltaje 122 para proporcionar un segundo comando de corriente negativa del eje q 1222. El tercer elemento de suma 124 suma el primer comando de corriente negativa del eje q 1122 y el segundo comando de corriente negativa del eje q 1222 y proporciona un tercer comando de corriente negativa del eje q 1242. El segundo limitador de corriente 126 limita el tercer comando de corriente negativa del eje q 1242 y proporciona un comando de corriente negativa del eje q limitado 1262. El comando de corriente negativa del eje q 1262 es transmitido al regulador de corriente negativa 134 para la regulación de la corriente.

Se entiende que el controlador 40 puede ser implementado de diversas maneras. Por ejemplo, el controlador 40 puede ser cableado o implementado como un conjunto de programas informáticos que funcionan en un ordenador de propósito general con unas interfaces apropiadas para el sensor de voltaje 32, el sensor de corriente 34 y el sensor de corriente continua 50.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para realizar un control de potencia reactiva, comprendiendo el sistema:  
 5 un convertidor de potencia (20) acoplado entre una fuente de energía (10) y una red eléctrica (30), estando el convertidor de potencia configurado para convertir una primera forma de potencia eléctrica generada a partir de la fuente de energía en una segunda forma de potencia eléctrica que es adecuada para ser distribuida por la red eléctrica; y  
 un controlador (40) acoplado al convertidor de potencia, estando el controlador configurado para:  
 10 i) monitorizar la potencia eléctrica transmitida entre el convertidor de potencia y la red eléctrica,  
 ii) desacoplar un componente de secuencia positiva y un componente de secuencia negativa con respecto de la potencia eléctrica monitorizada,  
 iii) realizar un control de potencia reactiva positiva con respecto al componente de secuencia positiva,  
 iv) realizar un control de potencia reactiva negativa con respecto al componente de secuencia negativa,  
 15 y  
 v) transmitir una señal de control al convertidor de potencia en base al control de potencia reactiva positiva y al control de potencia reactiva negativa para permitir al convertidor de potencia ajustar una potencia reactiva de la potencia eléctrica transmitida entre el convertidor de potencia y la red eléctrica,  
**caracterizado por el hecho de que** el controlador (40) comprende además un modulador de modulación de ancho de pulso (56) para suministrar la señal de control; un regulador de potencia positiva (48) para  
 20 generar un primer comando de corriente positiva del eje d de acuerdo con un voltaje de corriente continua a través de un enlace de corriente continua del convertidor de potencia y un comando de voltaje de corriente continua especificado y para generar un primer comando de corriente positiva del eje q de acuerdo con una potencia reactiva positiva de retroalimentación calculada y un comando de potencia reactiva positiva especificado; y un regulador de corriente positiva (128) para regular el primer comando de corriente positiva del eje d y el primer comando de corriente positiva del eje q para generar un comando de voltaje positivo del eje d y un comando de voltaje positivo del eje q, para transformar el comando de voltaje positivo del eje d y el comando de voltaje positivo del eje q para generar comandos de voltaje, y para suministrar los comandos de voltaje al modulador de modulación de ancho de pulso (56).
2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el controlador (40) está configurado además para realizar un control de potencia activa positiva con respecto al componente de secuencia positiva y para realizar un control de potencia activa negativa con respecto al componente de secuencia negativa y en el que el controlador está configurado además para utilizar los controles de potencia activa positiva y negativa en la generación de la señal de control.
3. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fuente de energía (30) comprende una máquina eléctrica, el convertidor de potencia (20) comprende un convertidor en el lado de la máquina y un convertidor en el lado de la red, estando el convertidor en el lado de la máquina acoplado eléctricamente a la máquina eléctrica para convertir potencia eléctrica de corriente alterna (AC: alternating current) generada por la máquina eléctrica en potencia eléctrica de corriente continua (DC: direct current), y estando el convertidor en el lado de la red acoplado eléctricamente a la red eléctrica para convertir la potencia eléctrica de corriente continua en potencia eléctrica de corriente alterna en respuesta a la señal de control transmitida por el controlador.
4. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el convertidor de potencia (20) comprende además un enlace de corriente continua (24) acoplado entre el convertidor en el lado de la máquina y el convertidor en el lado de la red, el sistema comprende además un sensor de corriente continua (50) para medir un voltaje de corriente continua a través del enlace de corriente continua, y el controlador (40) está configurado además para utilizar el voltaje de corriente continua monitorizado en la generación de la señal de control.
5. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un sensor de voltaje (32) para monitorizar un voltaje de sistema de la potencia eléctrica transmitida entre el convertidor de potencia y la red eléctrica y un sensor de corriente (34) configurado para monitorizar una corriente de sistema de la potencia eléctrica transmitida entre el convertidor de potencia y la red eléctrica.
6. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (40) comprende un circuito lógico bloqueado de fase con acoplamiento cruzado y un circuito de desacoplamiento de corriente, en el que el circuito lógico bloqueado de fase con acoplamiento cruzado está configurado para desacoplar un componente de voltaje de secuencia positiva, un componente de voltaje de secuencia negativa, un ángulo de fase positivo y un ángulo de fase negativo con respecto del voltaje del sistema monitorizado; y en el que el circuito de desacoplamiento de corriente está configurado para desacoplar un componente de corriente de secuencia positiva y un componente de corriente de secuencia negativa con respecto de la corriente del sistema monitorizada según el ángulo de fase positivo y el ángulo de fase negativo.

7. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (40) comprende además un circuito de cálculo de potencia para calcular una potencia reactiva positiva de retroalimentación según el componente de voltaje de secuencia positiva y el componente de corriente de secuencia positiva, y para calcular una potencia reactiva negativa de retroalimentación según el componente de voltaje de secuencia negativa y el componente de corriente de secuencia negativa.
8. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el regulador de potencia positiva (48) está configurado además para generar un segundo comando de corriente positiva del eje q cuando se determina que un voltaje del eje d monitorizado está siendo sometido a una condición de continuidad de operación ante perturbación de voltaje, y para generar un tercer comando de corriente positiva del eje q sumando el primer comando de corriente positiva del eje q y el segundo comando de corriente positiva del eje q y para generar un segundo comando de corriente positiva del eje d cuando se determina que un voltaje del eje q monitorizado está siendo sometido a una condición de continuidad de operación ante perturbación de voltaje, y para generar un tercer comando de corriente positiva del eje d sumando el primer comando de corriente positiva del eje d y el segundo comando de corriente positiva del eje d; en el que el regulador de corriente positiva (128) está configurado además para regular el tercer comando de corriente positiva del eje d y el tercer comando de corriente positiva del eje q para generar el comando de voltaje positivo del eje d y el comando de voltaje positivo del eje q.
9. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (40) comprende además un regulador de potencia negativa (52) para generar un primer comando de corriente negativa del eje d de acuerdo con un voltaje negativo del eje q monitorizado y para generar un primer comando de corriente negativa del eje q de acuerdo con un voltaje negativo del eje d monitorizado; y un regulador de corriente negativa (134) para regular el primer comando de corriente negativa del eje d y el primer comando de corriente negativa del eje q para generar un comando de voltaje negativo del eje d y un comando de voltaje negativo del eje q, para hacer rotar el comando de voltaje negativo del eje d y el comando de voltaje negativo del eje q en una secuencia positiva, para transformar el comando de voltaje negativo del eje d rotado y el comando de voltaje negativo del eje q rotado en la secuencia positiva para generar comandos de voltaje, y para suministrar los comandos de voltaje al modulador de modulación de ancho de pulso (56).
10. El sistema (100) de la reivindicación 9, en el que el regulador de potencia negativa (52) está configurado además para generar un segundo comando de corriente negativa del eje q cuando se determina que la diferencia entre una potencia reactiva negativa de retroalimentación calculada y un comando de potencia reactiva negativa especificado no es igual a cero, y para generar un tercer comando de corriente negativa del eje q sumando el primer comando de corriente negativa del eje q y el segundo comando de corriente negativa del eje q; en el que el regulador de corriente negativa está configurado además para regular el tercer comando de corriente negativa del eje q para generar el comando de voltaje negativo del eje q.
11. Un procedimiento para realizar un control de potencia reactiva con respecto de una potencia eléctrica transmitida entre una fuente de energía (10) y una red eléctrica (30), comprendiendo el procedimiento:  
 monitorizar la potencia eléctrica transmitida entre la fuente de energía y la red eléctrica;  
 desacoplar un componente de secuencia positiva y un componente de secuencia negativa con respecto de la potencia eléctrica monitorizada;  
 realizar un control de potencia reactiva positiva con respecto al componente de secuencia positiva;  
 realizar un control de potencia reactiva negativa con respecto al componente de secuencia negativa; y  
 ajustar una potencia reactiva de la potencia eléctrica transmitida entre la fuente de energía y la red eléctrica en base al control de potencia reactiva positiva y al control de potencia reactiva negativa,  
**caracterizado por el hecho de que** realizar el control de potencia reactiva positiva con respecto al componente de secuencia positiva comprende:  
 generar un primer comando de corriente positiva del eje d de acuerdo con un voltaje de corriente continua monitorizado a través de un enlace de corriente continua de un convertidor de potencia y un comando de voltaje de corriente continua especificado;  
 generar un primer comando de corriente positiva del eje q de acuerdo con una potencia reactiva positiva de retroalimentación calculada y una potencia reactiva positiva especificada;  
 regular el primer comando de corriente positiva del eje d y el primer comando de corriente positiva del eje q para generar un comando de voltaje positivo del eje d y un comando de voltaje positivo del eje q;  
 transformar el comando de voltaje positivo del eje d y el comando de voltaje positivo del eje q para generar señales de comando de voltaje; y  
 suministrar las señales de comando de voltaje a un modulador de modulación de ancho de pulso para activar el modulador de modulación de ancho de pulso para generar la señal de control.
12. El procedimiento para la reivindicación 11, que comprende además:  
 realizar un control de potencia activa positiva con respecto al componente de secuencia positiva; y  
 realizar un control de potencia activa negativa con respecto al componente de secuencia negativa.
13. El procedimiento para la reivindicación 11 o 12, en el que desacoplar el componente de secuencia

## ES 2 782 335 T3

positiva y el componente de secuencia negativa con respecto de la potencia eléctrica monitorizada comprende:

- 5       desacoplar un componente de voltaje de secuencia positiva, un componente de voltaje de secuencia negativa, un ángulo de fase positivo, y un ángulo de fase negativo con respecto de un voltaje monitorizado de la potencia eléctrica;  
      usar el ángulo de fase positivo y el ángulo de fase negativo mientras se desacopla un componente de corriente de secuencia positiva y un componente de corriente de secuencia negativa con respecto de una corriente monitorizada de la potencia eléctrica; y
- 10       calcular una potencia reactiva positiva de retroalimentación y una potencia reactiva negativa de retroalimentación utilizando el componente de voltaje de secuencia positiva desacoplado, el componente de voltaje de secuencia negativa desacoplado, el componente de corriente de secuencia positiva desacoplado y el componente de corriente de secuencia negativa desacoplado.

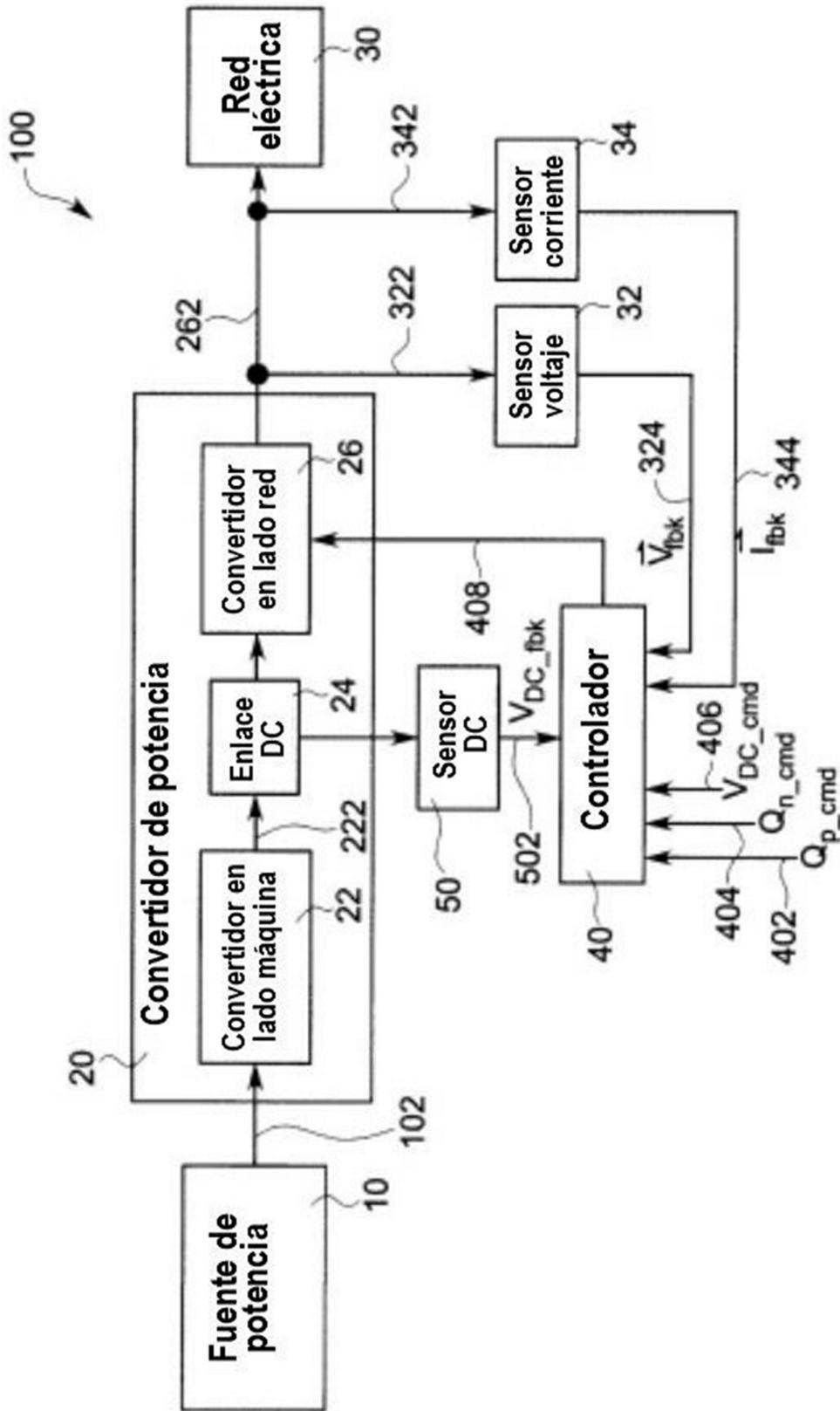


FIG. 1

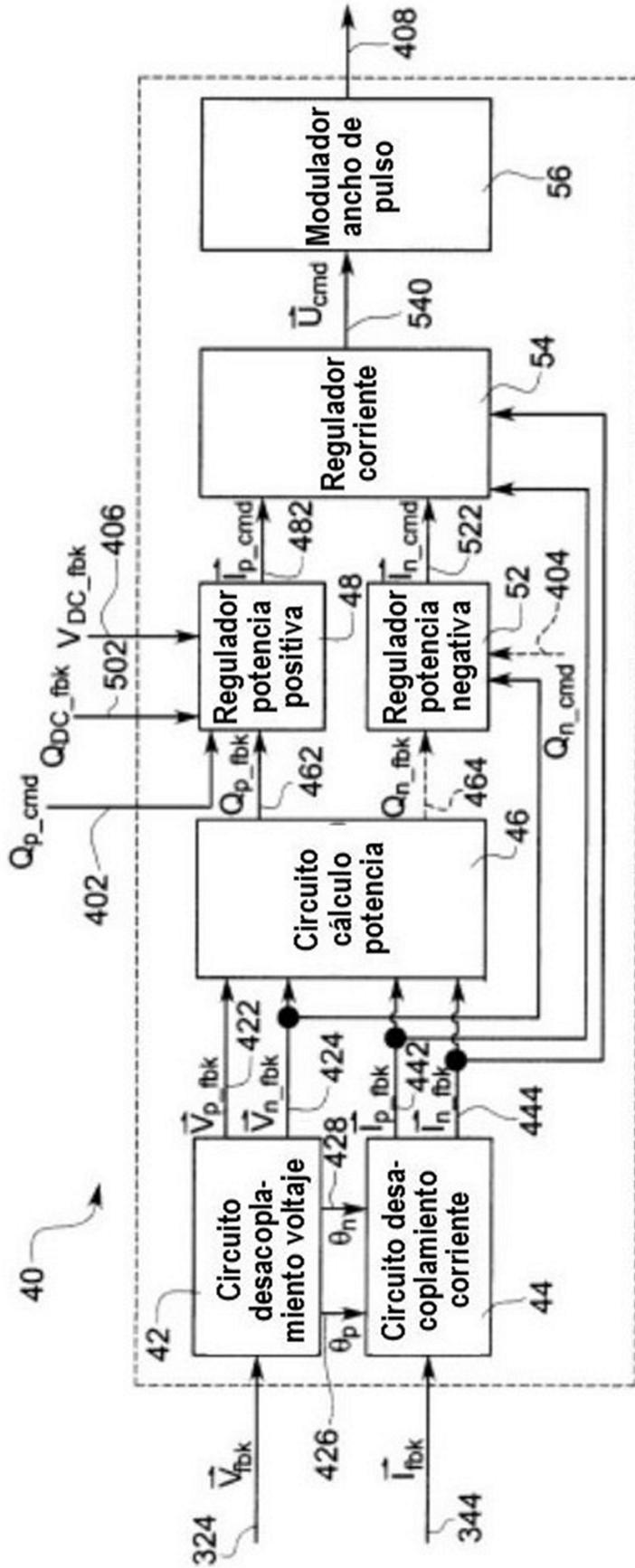


FIG. 2

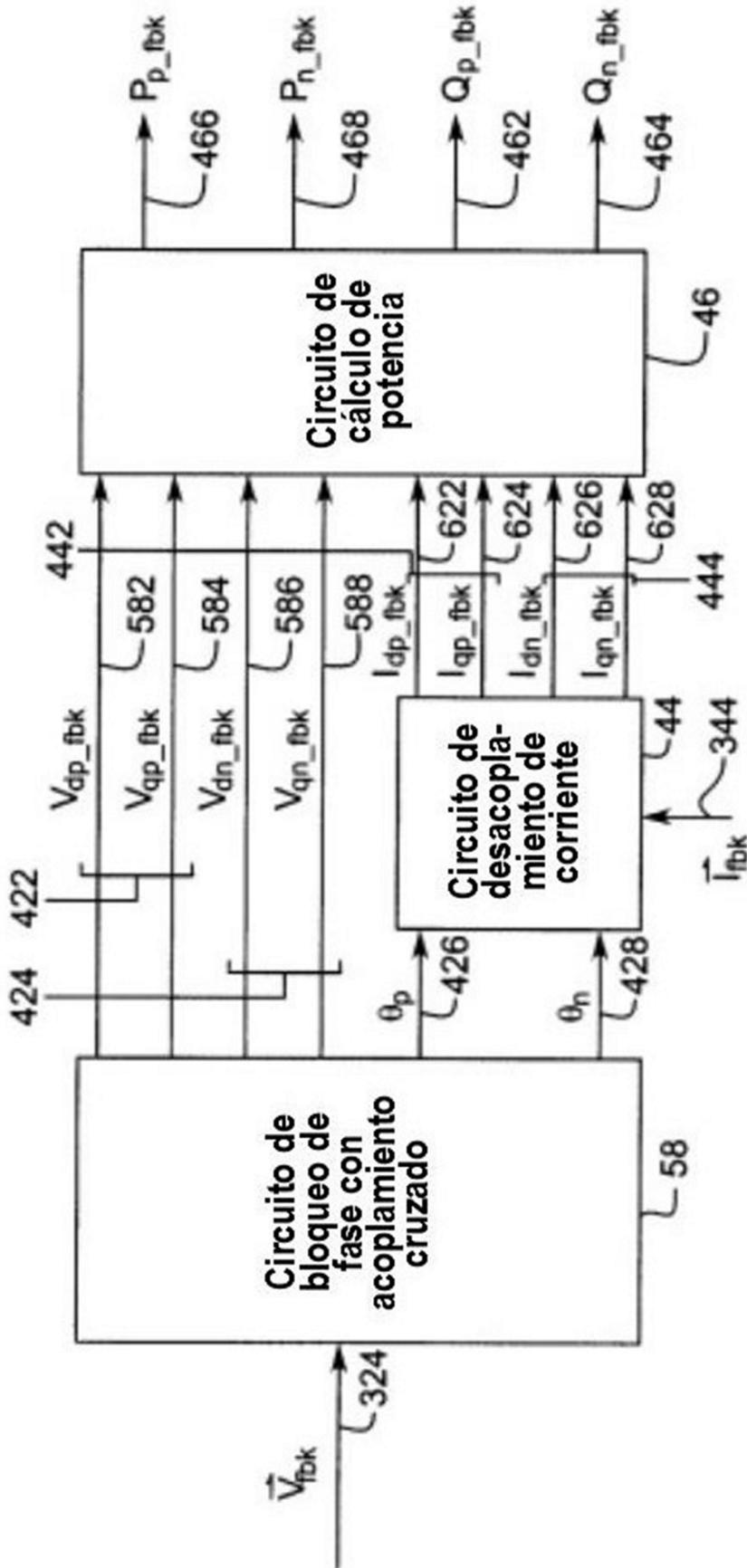


FIG. 3

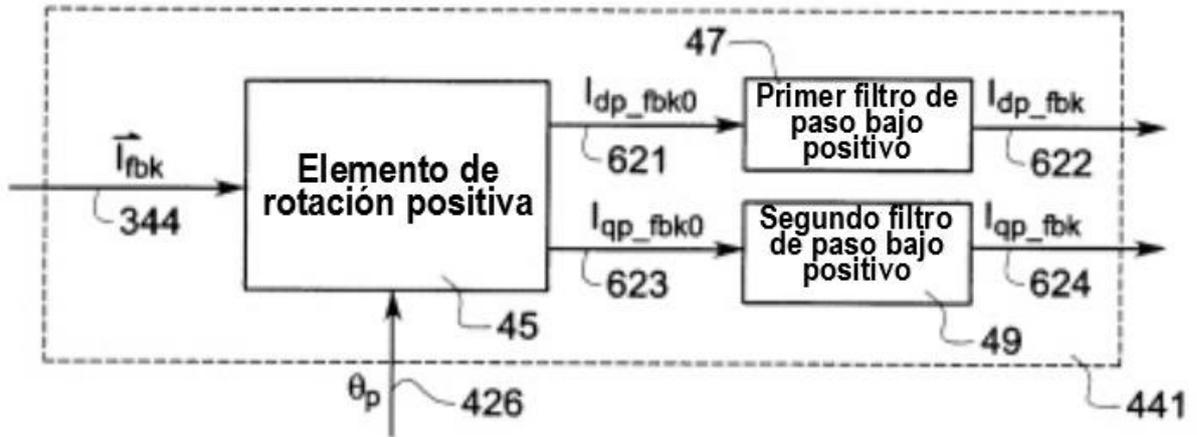


FIG. 4

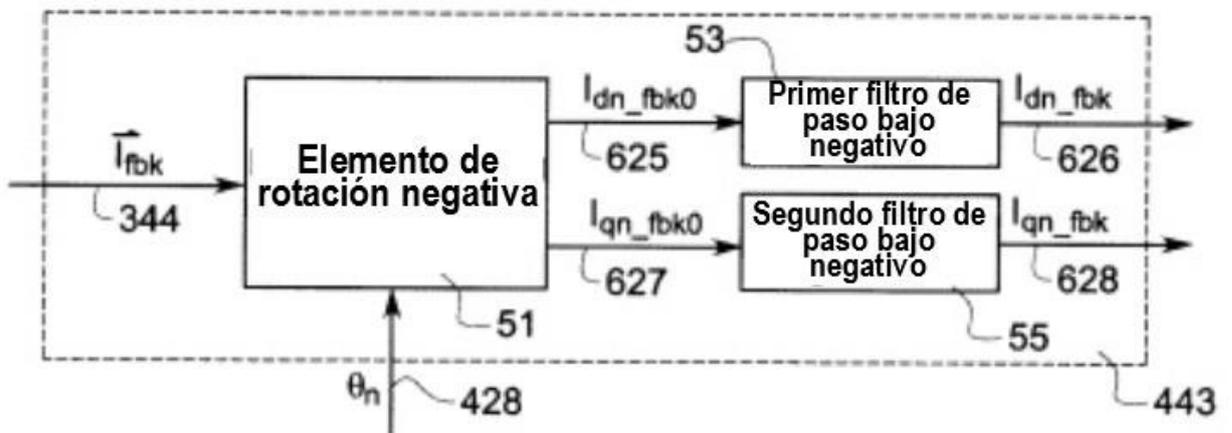


FIG. 5

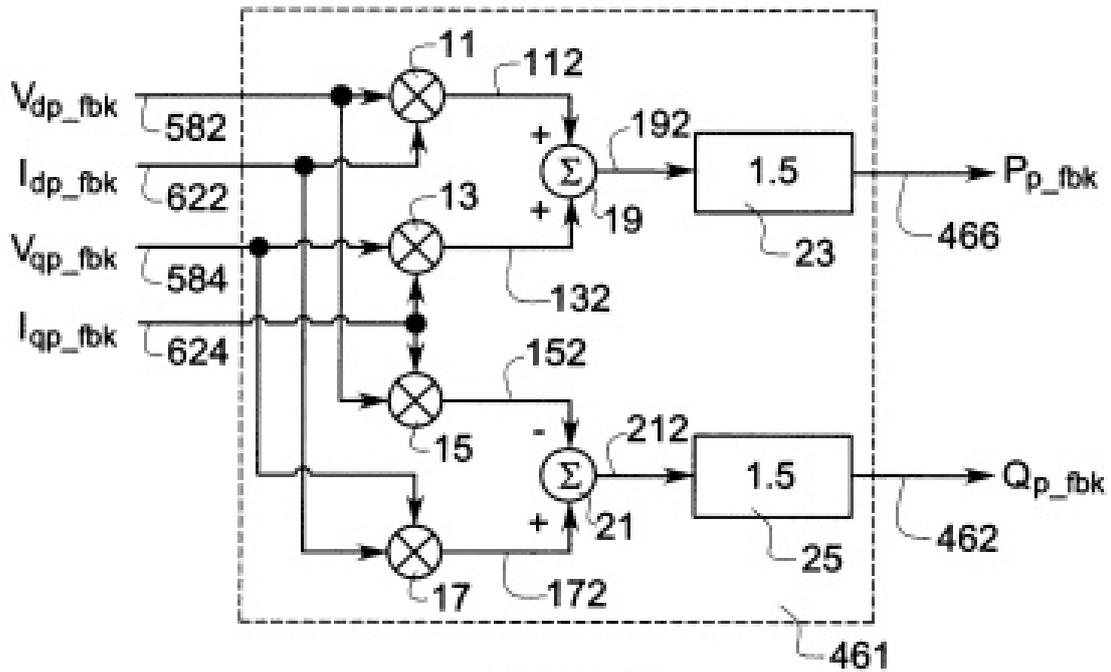


FIG. 6

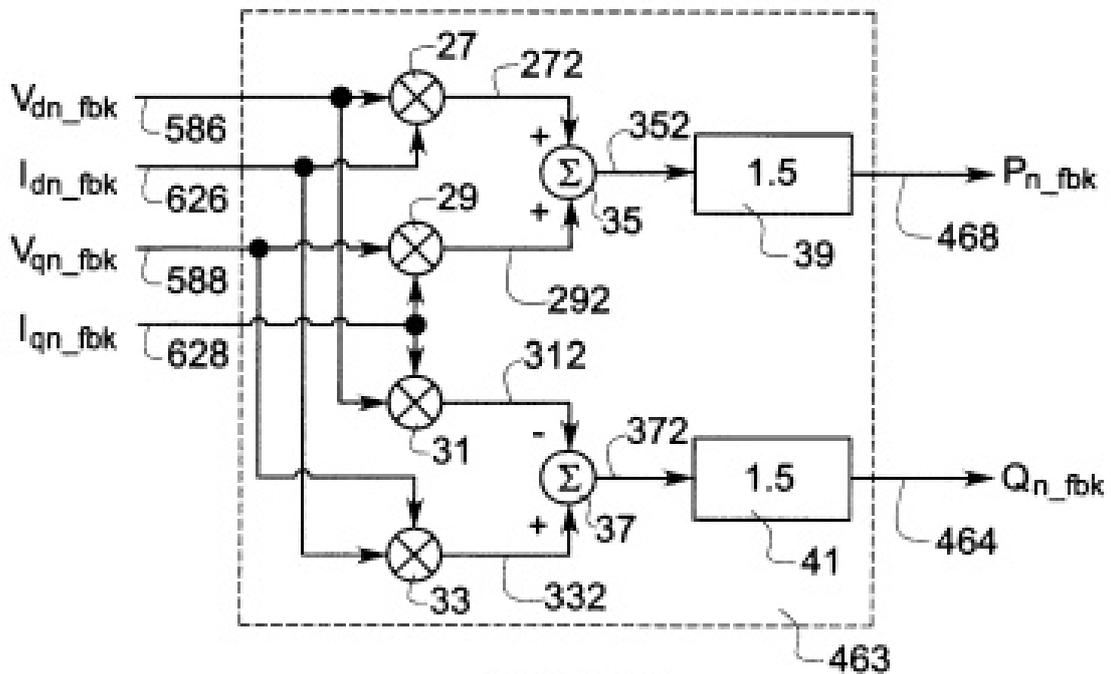


FIG. 7

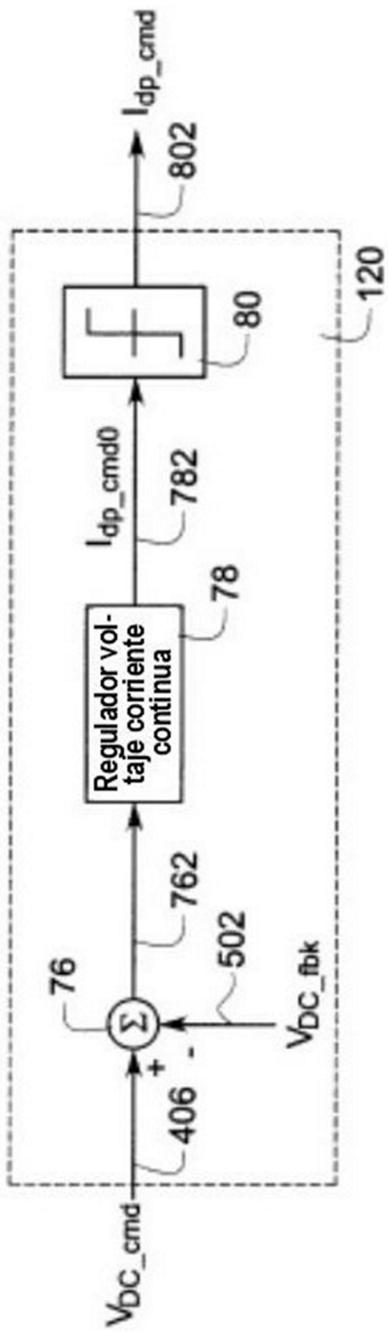


FIG. 8

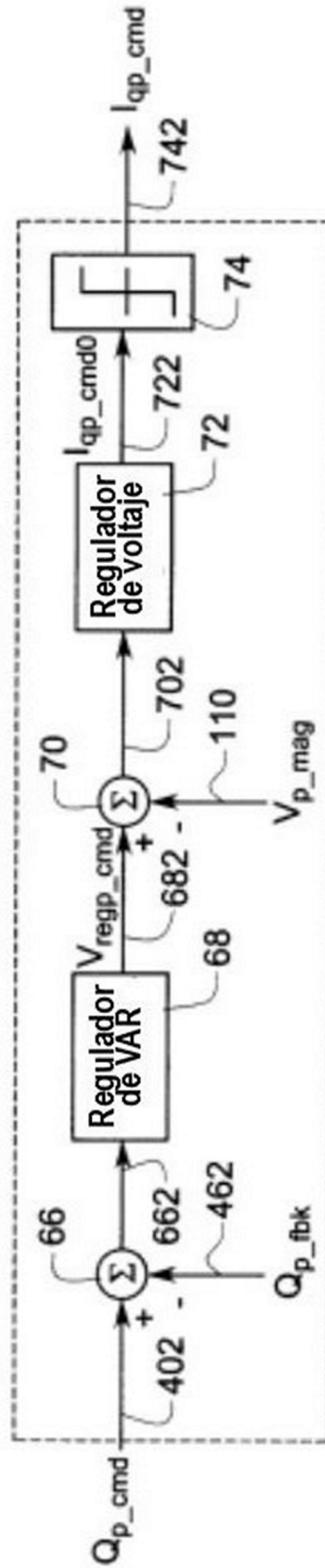


FIG. 9

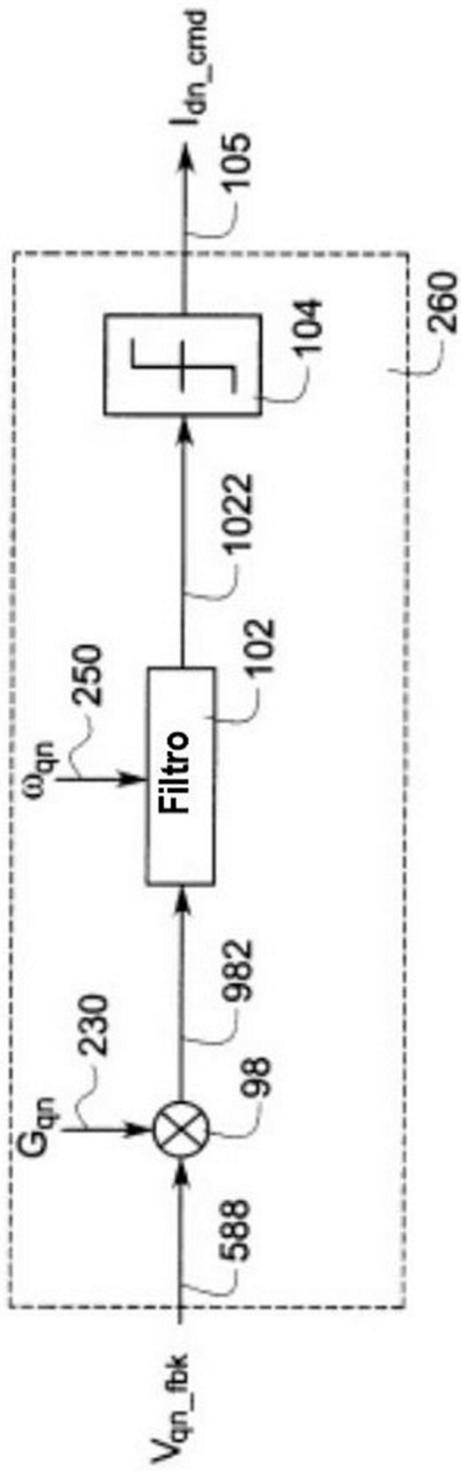


FIG. 10

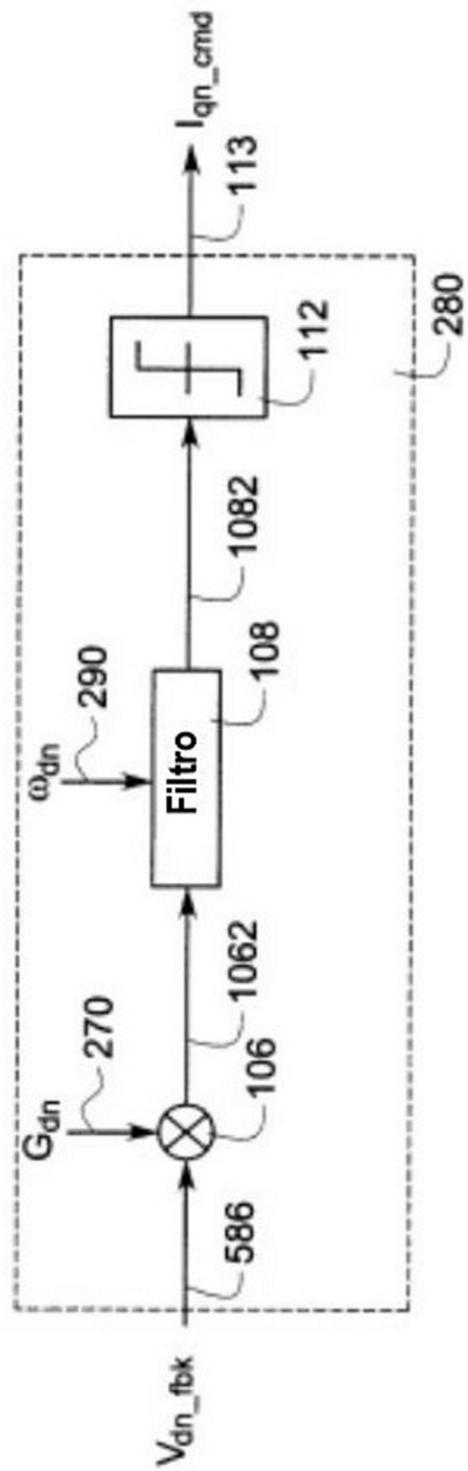


FIG. 11

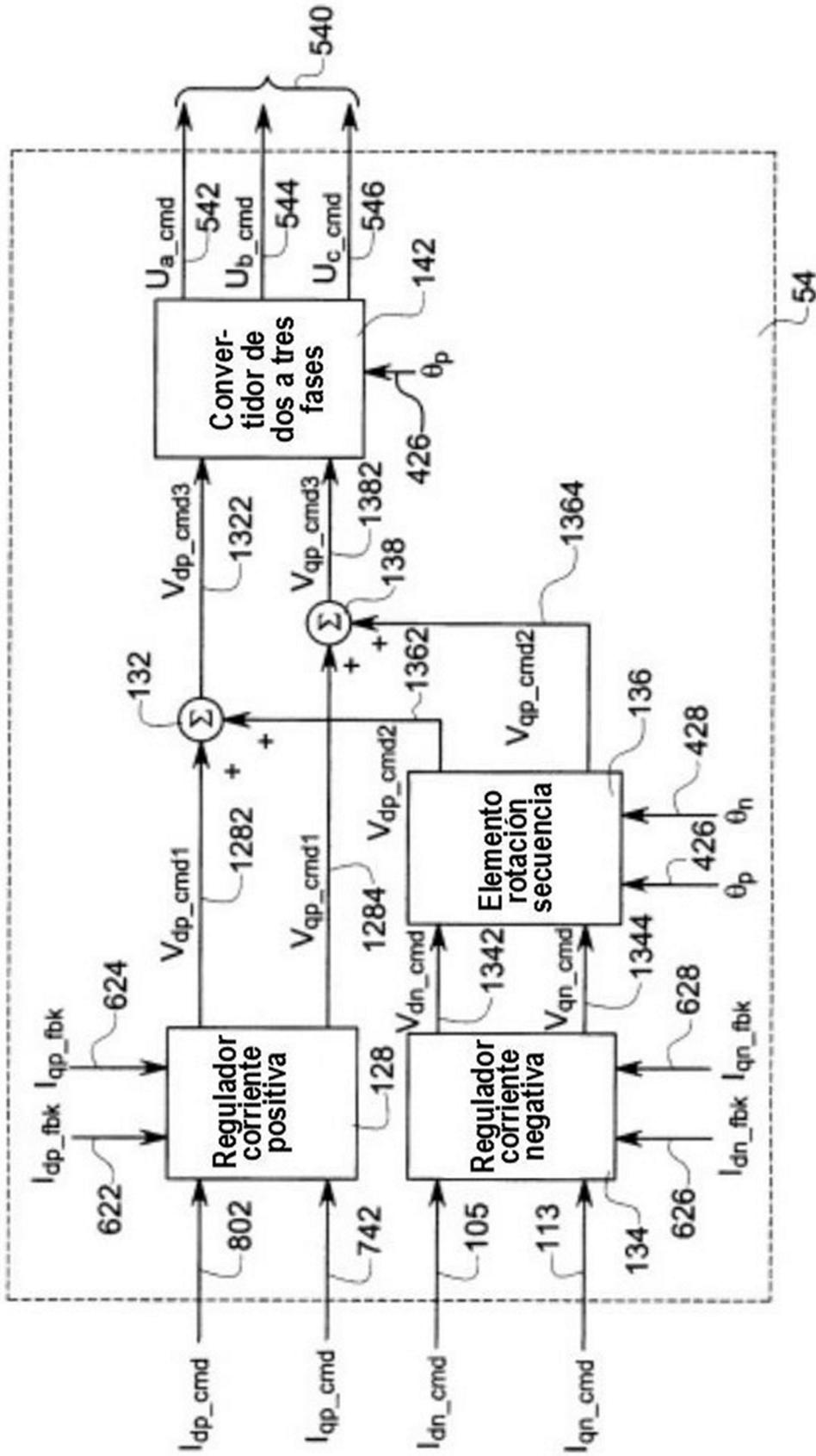


FIG. 12

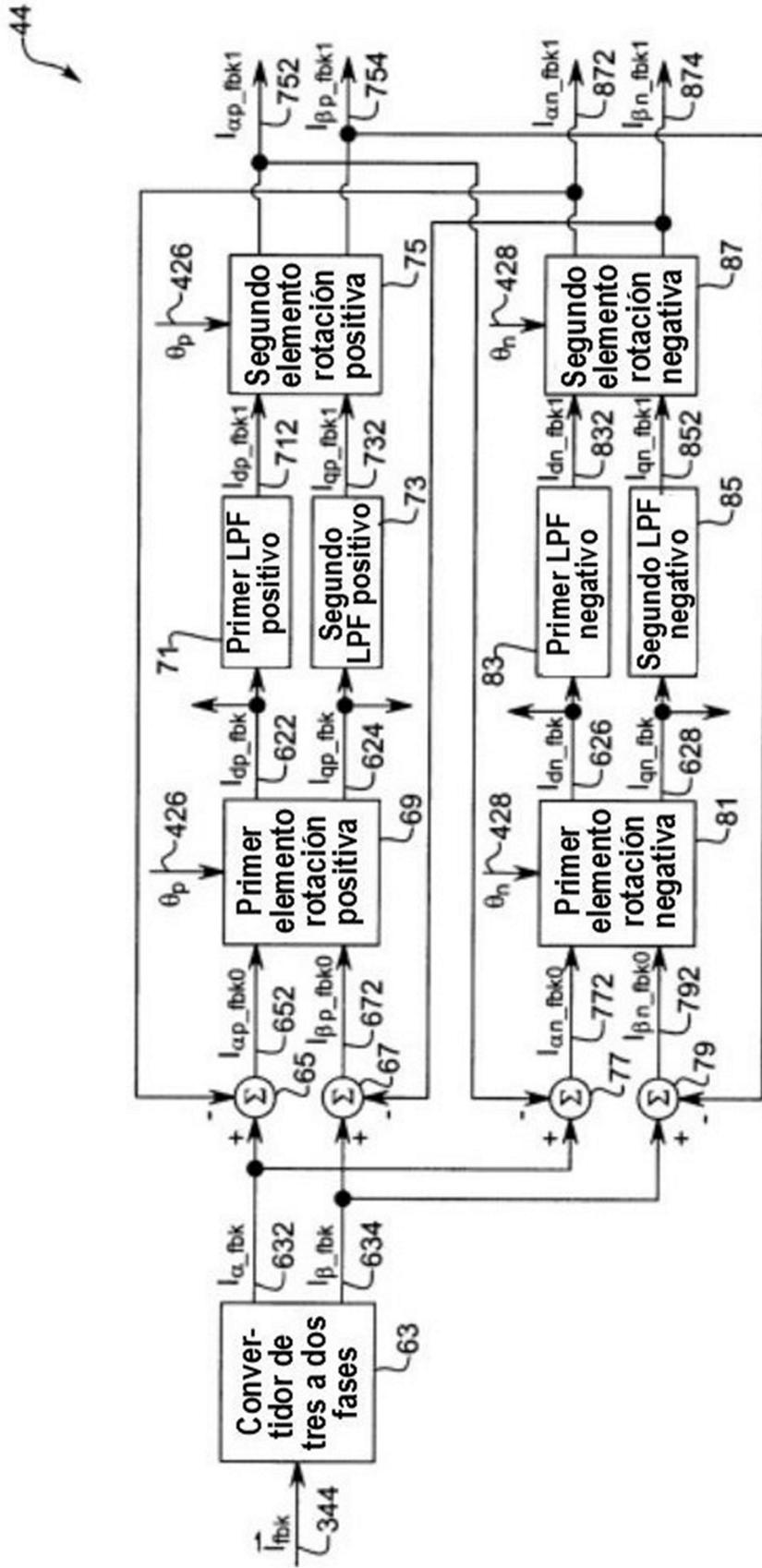


FIG. 13

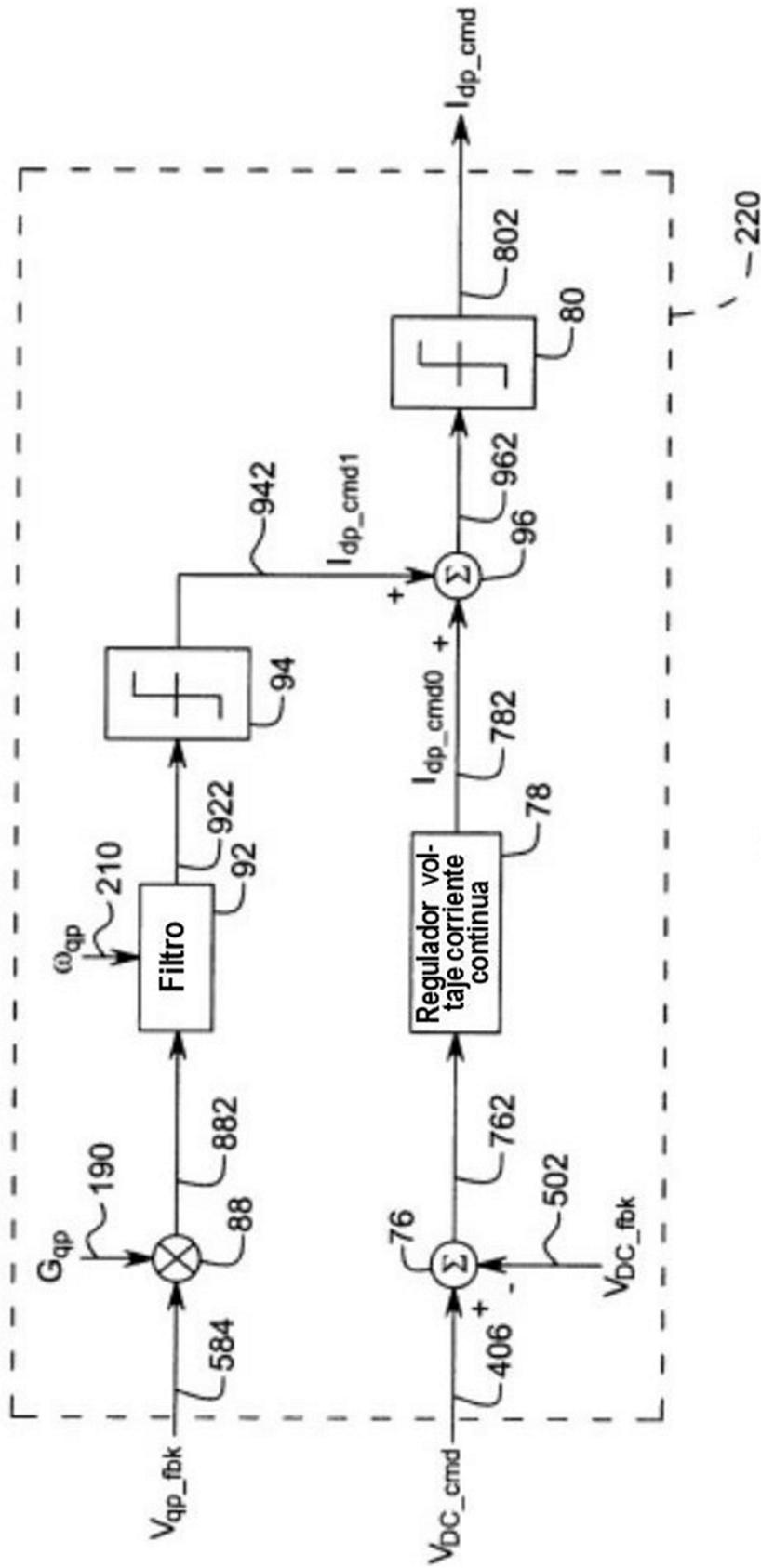


FIG. 14

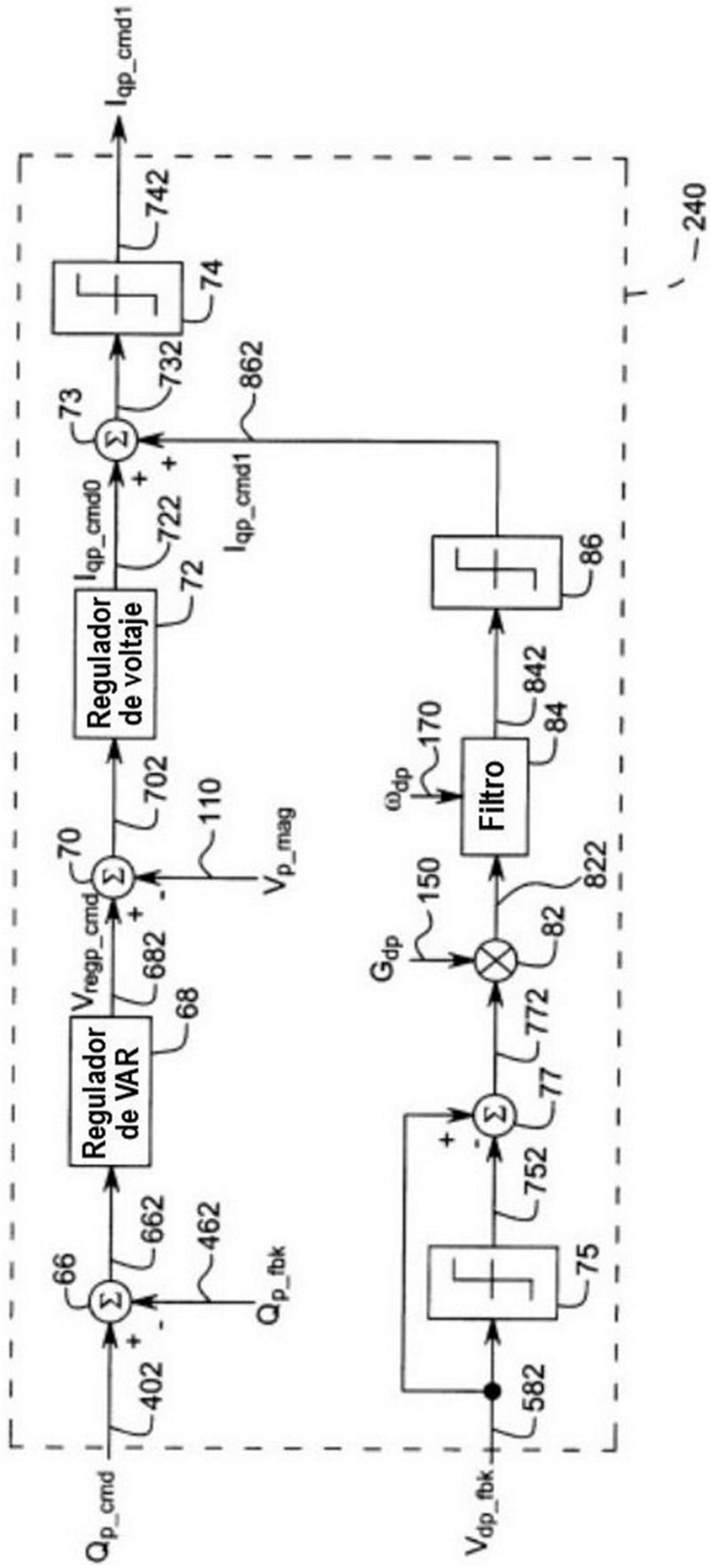


FIG. 15

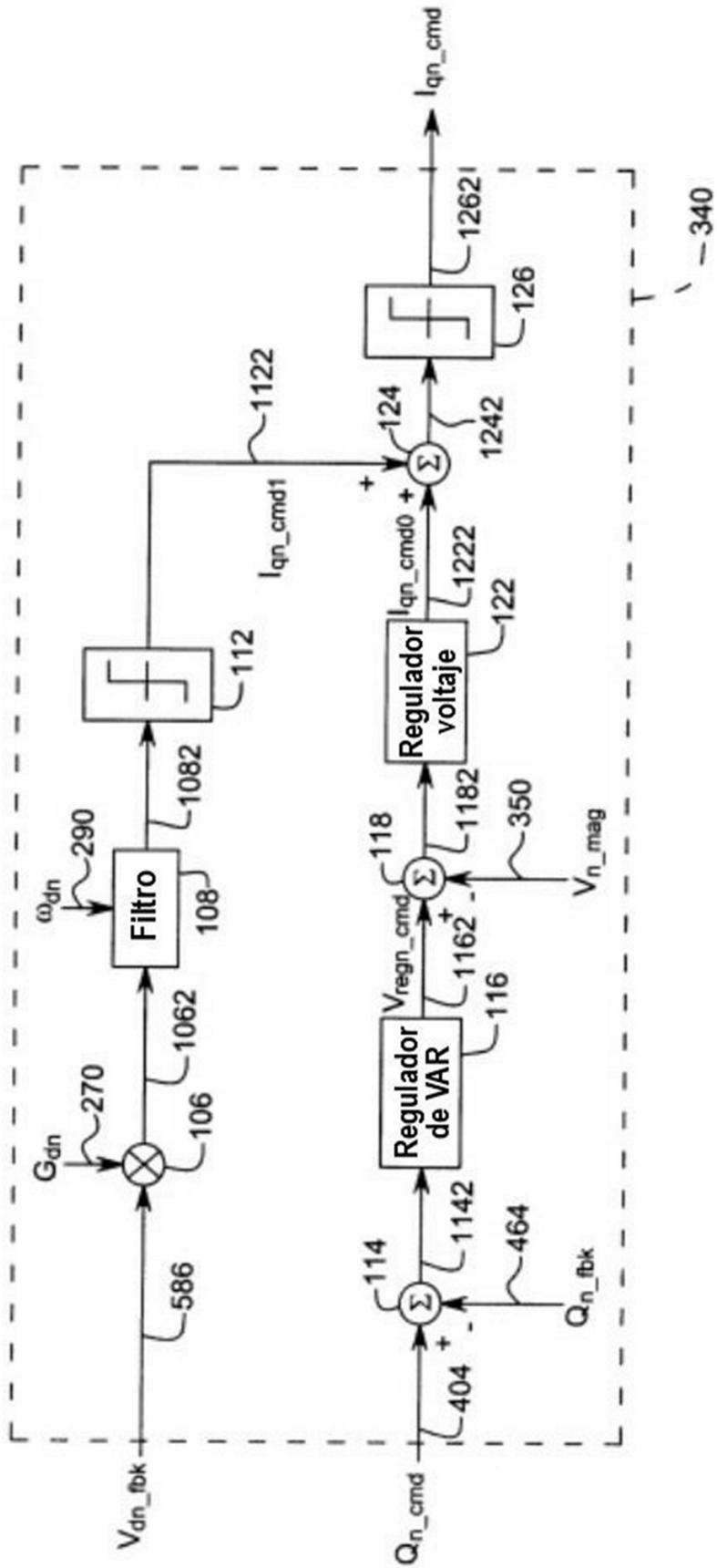


FIG. 16