

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 926**

51 Int. Cl.:

H02J 3/12 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2011** **E 11170691 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2022** **EP 2403122**

54 Título: **Sistema y método para el control de convertidores de potencia multifásicos**

30 Prioridad:

28.06.2010 US 824544

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
17.06.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GARCES RIVERA, LUIS JOSE;
KUSCH, RUEDIGER SOEREN y
XU, CHUNCHUN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 914 926 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para el control de convertidores de potencia multifásicos

5 Esta invención hace referencia en general a la conversión de energía eléctrica y, más específicamente, al control de convertidores de potencia multifásicos utilizados para la conversión de energía eléctrica.

10 Con el aumento del coste y la escasez de las fuentes de energía convencionales y las preocupaciones sobre el medio ambiente, existe un interés significativo en fuentes de energía alternativas tales como los sistemas de generación de energía solar, las celdas de combustible, las turbinas eólicas y los dispositivos marinos hidrocineéticos. La mayoría de estas fuentes de energía alternativas utilizan convertidores trifásicos modulados por ancho de pulso (PWM) para transmitir electricidad a una red eléctrica.

15 Los convertidores trifásicos PWM conectados a la red eléctrica se regulan, habitualmente, en un modo de control de corriente en el que los controladores utilizan voltajes y corrientes de la red eléctrica y circuitos de bucle de bloqueo de fase (PLL) para obtener señales de control para proporcionar la fase y la frecuencia para que las corrientes sean inyectadas en la red. Sin embargo, si la red no está disponible, como es el caso cuando una fuente de energía alternativa está operando en modo aislado (modo isla), los convertidores se ven obligados a abandonar el modo de control de corriente y cambiar a un modo de control de voltaje en el que la frecuencia y la fase del voltaje se generan internamente. En tales casos, los controladores generalmente incluyen limitadores de corriente en sus salidas para limitar las corrientes de salida y están diseñados para tener suficiente ancho de banda para generar voltajes equilibrados en condiciones de operación con cargas desequilibradas. El diseño y la sintonización de estos limitadores resulta bastante engorroso debido a la naturaleza no lineal de los limitadores y debido a la naturaleza variable de las cargas.

25 Además, estos convertidores se conectan a la red o a las cargas a través de transformadores, de tal manera que los controladores se diseñan para proporcionar señales de control de manera que se eviten modos de operación que podrían saturar los núcleos de estos transformadores. Otro desafío es que no es fácil ejecutar una transición sin problemas del control de la corriente al control del voltaje cuando la red no está disponible, o bien del control del voltaje nuevamente al control de la corriente cuando la red vuelve a estar disponible.

Por lo tanto, es deseable proporcionar un método y un sistema que aborde los problemas anteriores.

35 El documento US 2005/135031 A1 describe un circuito de control que sincroniza un inversor de potencia de corriente alterna con el voltaje de la red de una red eléctrica, haciendo coincidir los componentes fasoriales fundamentales del voltaje de salida del inversor con los componentes fasoriales fundamentales del voltaje de la red.

40 El documento US 2010/157634 A1 describe un sistema de control para un inversor de potencia. El inversor de potencia puede configurarse para suministrar potencia a una red. El sistema de control puede incluir una pluralidad de sensores de voltaje de salida y una pluralidad de sensores de corriente de salida configurados para medir los voltajes de la línea de salida y las corrientes de la línea de salida del inversor de potencia.

45 El documento US 6 239 997 B1 describe un sistema y un método para conectar y sincronizar una fuente de alimentación complementaria y una red eléctrica.

La invención se encuentra definida por las reivindicaciones adjuntas. En la siguiente descripción, cualquier método y/o aparato al que se haga referencia como una realización pero que, sin embargo, no se encuentre dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, debe entenderse como un ejemplo útil para comprender la invención.

50 Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada en referencia a los dibujos adjuntos, en los que los mismos caracteres representan partes iguales a lo largo de los dibujos, en los que:

55 La figura 1 es una representación esquemática de un convertidor PWM conectado a la red;
La figura 2 es una representación esquemática de un controlador del convertidor para controlar el convertidor PWM de la figura 1, de acuerdo con una realización de la presente invención;
La figura 3 es una representación esquemática de un módulo de control de corriente detallado de acuerdo con una realización de la presente invención;
La figura 4 es una representación esquemática de un módulo de control de voltaje, de acuerdo con una realización de la presente invención;
60 La figura 5 es un diagrama de bloques de un regulador de voltaje de secuencia positiva-negativa del módulo de control de voltaje ilustrado en la figura 3, de acuerdo con una realización de la presente invención; y
La figura 6 es un regulador de voltaje con un integrador doble de acuerdo con una realización de la presente invención.

65

La figura 1 ilustra un esquema 10 de un convertidor 12 PWM conectado a una red 14 eléctrica. El convertidor 12 PWM convierte la corriente continua (CC) de entrada en corriente alterna (CA) y transmite la energía de CA a través de un filtro 18 de paso bajo y un transformador 20 a la red 14 eléctrica y a una carga 16. El filtro de paso bajo puede incluir un inductor 17 y un condensador 19, por ejemplo. Una fuente 15 de alimentación de CC está acoplada al convertidor 12 PWM. En una realización, la fuente 15 de alimentación de CC comprende un dispositivo de almacenamiento de energía, tal como una batería. En otra realización, la fuente 15 de alimentación de CC comprende una o más celdas de combustible o células fotovoltaicas (PV). En aún otra realización, la fuente 15 de alimentación de CC comprende una turbina eólica o un dispositivo de energía cinética marina con un convertidor de CA a CC.

Se puede utilizar un disyuntor 22 para aislar el convertidor 12 PWM de la red 14 durante condiciones anómalas, tales como fallos. Un monitor de estado de la red (no se muestra) inicia una acción de disparo en el disyuntor 22 en respuesta a estas condiciones anómalas. La carga 16 puede ser inductiva, resistiva, capacitiva o combinaciones de las mismas. Un controlador 24 de convertidor proporciona unos comandos apropiados al convertidor 12 para controlar su voltaje y su corriente de salida.

La figura 2 ilustra un controlador 24 de convertidor para su uso en la realización de la figura 1 de acuerdo con una realización de la presente invención. El controlador 24 de convertidor incluye un controlador 27 de supervisión y un módulo 100 de control del voltaje. El controlador 27 de supervisión proporciona comandos I_d_CmdG e I_q_CmdG de corriente activa y reactiva del dominio d-q, a un bloque 33 selector de comandos de corriente. En una realización, el controlador 27 de supervisión genera comandos de corriente activa y reactiva en base a los comandos de potencia activa y reactiva establecidos por un usuario, calculada mediante un algoritmo basado en las condiciones de la red, o en base a las condiciones de la fuente 15 de alimentación de CC (que se muestra en la figura 1). El módulo 100 de control del voltaje recibe señales de retorno I_Fbk (I_a_Fbk , I_b_Fbk , I_c_Fbk) de la corriente del convertidor trifásico, unas señales $Iload_Fbk$ de corriente de carga y unas señales de retorno V_Fbk (Vab_Fbk , Vbc_Fbk , Vca_Fbk) del voltaje de la línea, y proporciona señales I_d_CmdSA e I_q_CmdSA de comando de corriente del convertidor de referencia del dominio d-q, al bloque 33 selector de comandos de corriente. Cabe señalar que las señales I_Fbk , $Iload_Fbk$ y V_Fbk son señales trifásicas del dominio a-b-c, que pueden convertirse además en señales de dominio d-q. Las señales de retorno I_Fbk de corriente del convertidor representan la corriente de salida del convertidor 12, y las señales de retorno V_Fbk del voltaje representan el voltaje a través de los condensadores 19 de filtro de la figura 1. Además, las señales $Iload_Fbk$ de corriente de carga se pueden medir directamente o se pueden determinar restando las señales de corriente del filtro (no se muestran) de las señales de retorno I_Fbk de corriente del convertidor. En una realización, las señales de corriente del filtro se calculan a partir de un modelo de impedancia del filtro.

Para el caso de conexión a la red, es necesario que la corriente inyectada en la red 14 (figura 1) por el convertidor 12 tenga la misma fase y frecuencia que las de la red 14. En una realización, se utilizan señales de retorno V_Fbk de voltaje trifásico para generar la fase y la frecuencia del voltaje que va a ser inyectado en la red 14 por el convertidor 12. En una realización más específica, las señales de retorno Ia_Fbk , Ib_Fbk , Ic_Fbk de corriente trifásica y las señales Vab_Fbk , Vbc_Fbk y Vca_Fbk de voltaje de la línea se transforman, en primer lugar, en el dominio α - β -0 es decir, $I\alpha_Fbk$, $I\beta_Fbk$, $I0_Fbk$, $V\alpha_Fbk$ y $V\beta_Fbk$, $V0_Fbk$ a partir del dominio a-b-c, utilizando una matriz 42 de la transformada de Clarke, tal como se indica a continuación:

$$\sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

Las cantidades α - β -0 se transforman adicionalmente a continuación en cantidades d-q-0 I_d_Fbk , I_q_Fbk , $I0_Fbk$, Vd_Fbk , Vq_Fbk , $V0_Fbk$ utilizando una matriz 44 de la transformada de Park, tal como se indica a continuación:

$$\frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \gamma_{red} & \cos (\gamma_{red} - \frac{2\pi}{3}) & \cos (\gamma_{red} + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \gamma_{red} & \sin (\gamma_{red} - \frac{2\pi}{3}) & \sin (\gamma_{red} + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

Cabe señalar que dado que el sistema es un sistema de tres hilos, los componentes I0_Fbk y V0_Fbk de secuencia cero en voltajes y corrientes pueden eliminarse del cálculo.

En la ecuación anterior γ_{red} es un ángulo de fase de las señales de retorno de voltaje de la red que se puede obtener a partir de un bucle 46 de bloqueo de fase (PLL). El PLL 46 también se puede utilizar para determinar la frecuencia ω_{red} de las señales de retorno del voltaje de la red. El circuito PLL compara la fase de la señal de entrada con una señal de fase derivada de la señal de su oscilador de salida y ajusta la frecuencia de su oscilador para mantener las fases emparejadas.

En una realización, los limitadores de corriente (no se muestran) limitan las entradas de señal de corriente desde el controlador 27 de supervisión y el módulo 100 de control del voltaje antes de que estas entradas se suministren a un selector 33 de comandos de corriente. El selector 33 de comandos de corriente recibe además una señal 35 del estado de la red. La señal 35 del estado de la red puede ser proporcionada mediante un algoritmo anti-isla independiente o un sensor adicional (no se muestra). Un ejemplo de un algoritmo anti-isla para la detección de la desconexión de una red se describe en el documento de Patente de EE.UU. N° 7,016,793 de titularidad compartida, por ejemplo. En base a la señal 35 del estado de la red, el selector 33 de comandos de corriente selecciona las señales Id_Cmd y Iq_Cmd de corriente apropiadas para proporcionarlas al módulo 40 de control de corriente. Si la señal 35 del estado de la red indica que la red está conectada al convertidor 12 PWM (figura 1), entonces el selector 33 de comandos de corriente proporciona las señales Id_CmdG y Iq_CmdG de salida del controlador de supervisión al módulo 40 de control de corriente. Si la señal 35 del estado de la red indica que la red no está conectada al convertidor 12 PWM, entonces el selector 33 de comandos de corriente proporciona las señales Id_CmdSA y Iq_CmdSA de salida del módulo de control de voltaje al módulo 40 de control de corriente. El módulo 40 de control de corriente emite señales 36 de comandos de voltaje de la red que a continuación son utilizadas por un bloque 34 generador de PWM, para generar pulsos de conmutación para dispositivos de conmutación del convertidor 12 PWM (figura 1). El bloque 34 generador de PWM puede comprender un algoritmo de PWM de seno-triángulo, un algoritmo de modulación de vector espacial o un algoritmo de PWM que optimiza las salidas para eliminar los armónicos de baja frecuencia, por ejemplo.

La figura 3 ilustra un módulo 40 de control de corriente detallado de la figura 2. El módulo 40 de control de corriente proporciona los comandos Ua_Cmd, Ub_Cmd y Uc_Cmd apropiados al generador 34 de PWM (figura 2) para controlar el voltaje de salida y la corriente del convertidor 12 (figura 1). El módulo 40 de control de corriente recibe señales Id_Cmd, Iq_Cmd de comandos de corriente del dominio d-q, desde el selector 33 de comandos de corriente (figura 2). Tal como se ha descrito, cuando la red está conectada al convertidor 12 (figura 1), las señales Iq_Cmd y Id_Cmd de comandos de corriente consisten en comandos de corriente activa y reactiva. Los comandos de corriente activa y reactiva hacen referencia a las corrientes deseadas que deben ser generadas por el convertidor 12, para que dicho convertidor 12 suministre la cantidad deseada de potencia activa y reactiva a la red 14. Cuando la red no está conectada al convertidor 12 de potencia, las señales Id_Cmd y Iq_Cmd de corriente son señales de corriente del convertidor de referencia, que hacen referencia al voltaje de salida deseado que debería ser generado por el convertidor 12 independientemente del tipo de carga que se esté conectando.

Los componentes Id_Fbk, Iq_Fbk del d-q, de las señales de retorno I_Fbk de corriente, se restan de las señales Id_Cmd, Iq_Cmd de comandos de corriente mediante los bloques 52, 54 algebraicos. Las señales 56, 58 de error de los bloques 52, 54 algebraicos se suministran a continuación a los reguladores 60, 62 de corriente para proporcionar comandos 64, 66 del d-q de voltaje, para su uso en el control de los voltajes que van a ser inyectados en la red 14 por el convertidor 12. Sin embargo, el acoplamiento cruzado entre las cantidades del d-q puede afectar el rendimiento dinámico de los reguladores 60, 62 de corriente. Tal como se podrá apreciar por parte de los expertos en la técnica, se puede utilizar un bloque de desacoplamiento y un bloque 68 limitador de voltaje para generar comandos Vd_Cmd, Vq_Cmd de voltaje del d-q desacoplados. El bloque 68 limitador de voltaje y de desacoplamiento, en una realización, también recibe el voltaje VDC_Fbk del enlace de CC como entrada 70 para hacer que estos comandos sean independientes (dentro de unos límites) de la amplitud del voltaje de salida de la fuente 15 de alimentación de CC. Los comandos Vd_Cmd, Vq_Cmd de voltaje del d-q desacoplados, se transforman a continuación en comandos V α _Cmd y V β _Cmd de voltaje α - β , utilizando una matriz 72 de la transformada inversa de Park, y a continuación se transforman en comandos Va_Cmd, Vb_Cmd, Vc_Cmd de voltaje a-b-c, utilizando una matriz 74 de la transformada inversa de Clarke. Un controlador 76 central de generación de tercer armónico y de CC puede modificar aún más los comandos de voltaje a-b-c para maximizar la linealidad de los comandos y generar los

comandos U_a_Cmd , U_b_Cmd y U_c_Cmd de voltaje de red a través de los bloques 78, 80, 82 algebraicos. Para el caso en el que el convertidor 12 de potencia es un convertidor de tres niveles, el controlador 76 central de generación de tercer armónico y de CC también recibe un voltaje VDC_Mid de enlace de CC medio como entrada para equilibrar la parte superior e inferior del voltaje del bus de CC. Los comandos U_a_Cmd , U_b_Cmd y U_c_Cmd de voltaje finales son utilizados a continuación por un generador de PWM (no se muestra) para generar señales Ma_Cmd , Mb_Cmd y Mc_Cmd de puerta para dispositivos de conmutación de convertidores.

La figura 4 ilustra el módulo 100 de control del voltaje de la figura 2 de acuerdo con una realización de la presente invención. Durante el funcionamiento en isla, es decir, cuando la red 14 (figura 1) no está disponible y el convertidor 12 suministra corriente únicamente a la carga 16, el selector 33 de comandos de corriente (figura 2) utiliza señales de salida del módulo 100 de control de voltaje para generar señales de comandos de corriente para el módulo 40 de control de corriente (figura 2). En el funcionamiento en isla, el voltaje de salida deseado del convertidor 12, V_{cmd} , es una onda sinusoidal trifásica pura en cada fase con la amplitud y frecuencia deseadas. El módulo 100 de control del voltaje recibe señales de entrada tales como señales de retorno I_{load_Fbk} (I_{La_Fbk} , I_{Lb_Fbk} , I_{Lc_Fbk}) de la corriente de la carga, señales de retorno I_Fbk (I_{a_Fbk} , I_{b_Fbk} , I_{c_Fbk}) de la corriente del convertidor y señales de retorno V_Fbk del voltaje. Tal como se ha discutido anteriormente, el retorno V_Fbk de voltaje puede medirse a partir de los condensadores 19 del filtro, y las señales de retorno de corriente de la carga pueden medirse o calcularse restando las señales de corriente del filtro de las señales I_Fbk de corriente del convertidor. Las señales de corriente del filtro habitualmente no se miden directamente, pero se pueden calcular a través de un modelo 102 de impedancia del filtro (tal como se explica más adelante), y las señales de retorno I_Fbk de corriente del convertidor se pueden medir en los terminales de entrada del filtro. Las señales de retorno I_{a_Fbk} , I_{b_Fbk} , I_{c_Fbk} de corriente del convertidor y las señales de retorno I_{La_Fbk} , I_{Lb_Fbk} , I_{Lc_Fbk} de la corriente de la carga se convierten en un dominio d-q a través de una matriz 104 de la transformada de Clark, y una matriz 106 de la transformada de Park. La matriz 106 de la transformada de Park utiliza información γ_cmd de la fase o del ángulo del comando V_cmd de voltaje de referencia, que puede ser proporcionado por un oscilador independiente (no se muestra) del PLL.

El modelo 102 de impedancia del filtro recibe una señal V_cmd de comando de voltaje de referencia como una entrada y emite señales de corriente del filtro en el dominio d-q, es decir, I_{Cd_FF} y I_{Cq_FF} . La señal V_cmd de comando de voltaje de referencia incluye señales de voltaje de referencia del dominio a-b-c trifásico que se transforman a continuación en señales de voltaje de referencia del dominio d-q (no se muestran). En una realización, las señales I_{Cd_FF} , I_{Cq_FF} de corriente del filtro se calculan tomando derivados del voltaje V_cmd comandado escalado por el valor del condensador C. El uso de la corriente del condensador calculada y no medida hace que el sistema sea estable y, por lo tanto, elimina un posible bucle de retorno positivo inestable, causado por el uso de la corriente de retorno de la carga. En una realización, para corregir errores dinámicos o de estado estacionario en los cálculos de corriente del condensador, los comandos I_{do_Cmd} , I_{dq_Cmd} de corriente de la secuencia del dominio d-q, de un regulador 108 de voltaje de secuencia positiva-negativa (que se analiza a continuación con respecto a la Figura 5) se agregan a las señales I_{Cd_FF} , I_{Cq_FF} de corriente del filtro mediante los bloques 110 y 112 de adición. Los comandos I_{Ld_Fbk} , I_{Lq_Fbk} de corriente de la carga del dominio d-q se añaden adicionalmente a continuación a la adición de los comandos de corriente del dominio d-q del regulador 108 de voltaje de secuencia negativa positiva y el modelo 102 de impedancia del filtro mediante los bloques 114, 116 de adición. Cabe señalar aquí que el regulador 108 de voltaje de secuencia positiva-negativa es un regulador opcional que es útil si se van a eliminar los componentes de secuencia negativa o, en otras palabras, para asegurar un buen comportamiento dinámico cuando la carga no está equilibrada o cuando la carga está cambiando muy rápidamente. Por lo tanto, en una realización, los comandos de corriente de la carga del dominio d-q pueden añadirse directamente a los comandos de corriente de salida del modelo 102 de impedancia del filtro para generar los comandos de corriente del convertidor. En otra realización, los comandos de corriente de la carga del dominio d-q pueden utilizarse directamente como comandos de corriente del dominio d-q. Dos bloques 118, 120 limitadores de corriente limitan estos comandos de corriente del dominio d-q y generan comandos I_{d_CmdSA} y I_{q_CmdSA} de corriente del convertidor de referencia, y los proporcionan al selector 33 de comandos de corriente (que se muestra en la figura 2). Para proporcionar una transición sin problemas entre los modos operativos con conexión a la red y sin conexión a la red, en una realización, el módulo de control de voltaje siempre está funcionando independientemente de si la red está conectada. Además, el generador de frecuencias utilizado durante el funcionamiento autónomo es el mismo que se utiliza como parte del PLL que genera el ángulo de fase cuando está en el modo con conexión a la red. Esto asegura que no se produzca ningún salto de fase durante las transiciones.

La figura 5 es un regulador 108 de voltaje de secuencia positiva-negativa del controlador 100 de voltaje del convertidor ilustrado en la figura 4. Las señales V_a_Fbk , V_b_Fbk y V_c_Fbk de voltaje de retorno, medidas en los terminales del condensador se convierten en dos componentes con desplazamiento de fase de 90° o componentes V_α_Fbk , V_β_Fbk de α - β , utilizando una matriz 152 de la transformada de Clarke. Las señales resultantes se giran a continuación hacia adelante con el ángulo γ_cmd del comando de voltaje de referencia en un marco de referencia de 2 ejes síncrono del d-q, utilizando una matriz 154 de la transformada de Park. Los componentes V_d_Fbk y V_q_Fbk de voltaje del dq resultantes son cantidades de CC en estado estacionario y se denominan voltajes de secuencia positiva. Cuando el ángulo γ_Cmd de los voltajes comandados utilizados en la matriz 154 de la transformada de Park es el mismo que el ángulo de los voltajes de retorno (es decir, cuando los voltajes comandados y reales tienen el mismo ángulo), entonces los valores para ambos voltajes V_d_Fbk y V_q_Fbk de secuencia positiva son conocidos. En tal caso, uno de los componentes de voltaje (ya sea V_d_Fbk o V_q_Fbk) es cero, y el otro es igual a la amplitud de

voltaje fundamental deseada o comandada. Por ejemplo, si el ángulo γ_{Cmd} está orientado de tal manera que el vector de voltaje total está en un eje d, entonces V_d_{Cmd} es igual a la amplitud de la línea de salida en relación al voltaje neutral, y V_q_{Cmd} es cero. Los bloques 160 y 162 de comparación se utilizan para obtener señales 156, 158 de error restando las mediciones de retorno V_d_{Fbk} y V_q_{Fbk} de voltaje del d-q de los voltajes V_d_{cmd} y V_q_{cmd} comandados. Las señales de error se alimentan a continuación en los elementos 164, 166 de regulación de voltaje de secuencia positiva. Las señales de salida de los elementos 164, 166 de regulación de voltaje de secuencia positiva se han limitado al máximo adecuado y representan los comandos I_d_{PScmd} y I_q_{PScmd} de corriente de secuencia positiva deseados que deben fluir a través del filtro para obtener los voltajes de salida equilibrados deseados.

En la realización de la figura 5, se utiliza una matriz 168 de transformada para rotar los componentes $V_{\alpha_{\text{Fbk}}}$, $V_{\beta_{\text{Fbk}}}$ de voltaje $\alpha\beta$ hacia atrás con el ángulo γ_{cmd} de fase. La rotación da como resultado la conversión de los componentes de voltaje $\alpha\beta$ en dos componentes V_d_{NSFbk} y V_q_{NSFbk} de voltaje negativo del dominio d-q, al doble de la frecuencia aplicada del voltaje. Los valores promedio de estos dos componentes V_d_{NSFbk} y V_q_{NSFbk} representan la amplitud de los voltajes de "secuencia negativa" y son una indicación de la presencia de desequilibrio de voltaje en la salida del convertidor. En una realización, para aislar mejor el componente de voltaje de secuencia negativa de estos dos componentes V_d_{NSFbk} y V_q_{NSFbk} de alta frecuencia, se utilizan filtros 170, 172 de paso bajo. Cabe señalar en este punto que la alta frecuencia se refiere al doble de la frecuencia (2f) del voltaje deseado. En otra realización, los filtros 170 y 172 de paso bajo pueden comprender filtros de "media flotante" discretos. Los filtros discretos de "media flotante" proporcionan un mejor filtrado de los componentes negativos, calculando la media de la suma de la última de las muestras almacenadas durante un tiempo igual al período de la frecuencia que debe eliminarse (es decir, 2f).

Dado que el voltaje de salida esperado del convertidor durante la operación en isla es un conjunto equilibrado de voltajes trifásicos, el valor deseado para ambos componentes V_d_{NSFilt} y V_q_{NSFilt} de secuencia negativa o para las señales de voltaje de secuencia negativa filtrada siempre debe ser cero. Para garantizar esta condición, ambos componentes V_d_{NSFilt} y V_q_{NSFilt} de voltaje de secuencia negativa se alimentan a los elementos 174 y 176 de regulación del voltaje de secuencia negativa, para generar componentes de corriente negativa del dominio d-q. Después de asegurarse de que las salidas del elemento de regulación de secuencia negativa o los componentes I_d_{NScmd} y I_q_{NScmd} de corriente negativa del dominio d-q están dentro de los límites, estas señales de salida se transforman hacia adelante con el doble del ángulo ($2\gamma_{\text{cmd}}$) utilizando un bloque 178 de transformación. La transformación da como resultado llevar las señales de salida del elemento de regulación de secuencia negativa al mismo marco de referencia que las señales de salida de los reguladores I_d_{PScmd} y I_q_{PScmd} de secuencia positiva. Finalmente, los componentes I_d_{NScmd} y I_q_{NScmd} de d y q de los comandos de corriente de secuencia negativa de la matriz 178 de transformada se añaden a los componentes I_d_{PScmd} y I_q_{PScmd} de d y q de los elementos 164, 166 de regulación utilizando los bloques 180, 182 de adición para generar los comandos $I_{d0_{\text{Cmd}}}$ e $I_{q0_{\text{Cmd}}}$ de corriente finales.

La figura 6 ilustra un ejemplo de un elemento 200 de regulación de voltaje con un integrador doble de acuerdo con una realización de la presente invención que puede utilizarse para uno o más de los elementos 164, 166, 174 y 176 de regulación de voltaje discutidos con respecto a la figura 5. Los elementos de regulación de voltaje determinan las señales de comando de corriente apropiadas para una señal de comando de voltaje determinada. Los elementos 200 de regulación de voltaje incluyen un bloque 202 proporcional y un bloque 204 integrador (regulador PI) diseñado para llevar un error de voltaje V_{Error} hacia cero durante condiciones de estado estacionario. Sin embargo, durante condiciones transitorias, los voltajes, las frecuencias y los comandos de corriente pueden conducir a la saturación del núcleo magnético de los transformadores 20 (figura 2) conectados a las cargas 16 (figura 2). Para evitar esta condición, el regulador PI está diseñado para garantizar no solo que el error de voltaje se lleve a cero en estado estacionario, sino también que los voltios-segundos o la representativa del flujo en el núcleo magnético no estén fuera de los límites.

En el elemento 200 de regulación de voltaje, la señal 206 de salida del primer bloque 204 integrador representa la integral del error en los voltajes o el error en los Voltios-segundos aplicados. Para anular este error en estado estacionario, se añade un segundo bloque 208 integrador a la salida del primer bloque 204 integrador. En una realización, el segundo integrador 208 comprende un integrador de bajo ancho de banda y asegura que el flujo en el transformador 20 se mantenga en su nivel deseado en estado estacionario. La primera salida 206 del integrador se añade a una señal 203 de salida del bloque 202 proporcional utilizando un bloque 205 de suma para generar una salida 212 del regulador PI. La segunda salida 210 del integrador y la salida 212 del regulador PI se añaden a continuación utilizando un bloque 214 de suma, y un comando I_{cmd} de corriente final se limita utilizando un bloque 216 limitador de corriente. En otra realización, si el sistema va a comenzar desde una condición de voltaje cero bajo el control de voltaje durante el estado en isla, los voltajes y la frecuencia comandados se incrementan gradualmente juntos desde cero manteniendo constante la relación Voltios/Hertzios hasta alcanzar la frecuencia de operación.

Una de las ventajas del presente sistema de control es que el sistema asegura una transición sin problemas entre los modos de control de corriente y voltaje.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (24) de control para controlar un convertidor (12) de potencia multifásico, comprendiendo el sistema de control:

un módulo (40) de control de corriente para generar señales (Ua_Cmd, Ub_Cmd, Uc_Cmd) de comando para el convertidor (12) de potencia multifásico;
un controlador (27) de supervisión para generar señales de comando de corriente activa y reactiva para el módulo (40) de control de corriente, basado en los comandos de potencia activa y reactiva establecidos por un usuario, calculados mediante un algoritmo basado en las condiciones de la red, o basado en a una condición de un fuente (15) de alimentación de CC;
un módulo (100) de control de voltaje para generar señales de comando de corriente del convertidor de referencia para el módulo (40) de control de corriente; y
un selector (33) de comando de corriente para suministrar las señales de comando de corriente activa y reactiva desde el controlador (27) de supervisión al módulo (40) de control de corriente, cuando el convertidor (12) de potencia multifásico está conectado a una red (14), y para suministrar las señales de comando de corriente del convertidor de referencia desde el módulo (100) de control de voltaje al módulo (40) de control de corriente cuando el convertidor (12) de potencia multifásico no está conectado a una red (14);
en donde el módulo (100) de control de voltaje comprende un modelo (102) de impedancia del filtro para determinar las señales (ICd_FF, ICq_FF) de corriente del filtro de un filtro (18) LC acoplado al convertidor (12) de potencia multifásico basado en las señales (V_Cmd) de comando del voltaje de referencia de un oscilador de un bucle (46) de bloqueo de fase; y
en donde el modelo (102) de impedancia del filtro está configurado para determinar las señales (ICd_FF, ICq_FF) de corriente del filtro tomando derivadas de las señales (V_Cmd) de comando del voltaje de referencia escaladas por un valor de condensador del filtro (18) LC.

2. El sistema (24) de control según la reivindicación 1, que comprende además un regulador (108) de voltaje para recibir señales de retorno de voltaje del convertidor de potencia multifásico y un ángulo de fase de un comando de voltaje de referencia y para generar señales de comando de corriente de secuencia.

3. El sistema (24) de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el regulador (108) de voltaje comprende un regulador de voltaje de secuencia positiva para generar comandos de corriente de secuencia positiva en el marco de referencia de d-q y un regulador de voltaje de secuencia negativa para generar un comando de corriente de secuencia negativa en el marco de referencia de d-q, y en donde los comandos de corriente de secuencia se generan añadiendo los comandos de corriente de secuencia positiva y de secuencia negativa en el marco de referencia de d-q.

4. El sistema (24) de control según la reivindicación 3, en donde el regulador de voltaje de secuencia positiva comprende dos elementos (164, 166) de regulación de voltaje de secuencia positiva, cada uno de los cuales comprendiendo un regulador integral proporcional (PI) y un integrador (200) doble.

5. El sistema (24) de control según las reivindicaciones 3 ó 4, en donde el regulador de voltaje de secuencia negativa comprende una primera matriz (168) de transformada para convertir las señales de retorno de voltaje en componentes de voltaje negativo de dominio dq, girando hacia adelante al doble de la frecuencia de la red.

6. El sistema (24) de control según las reivindicaciones 3, 4 ó 5 en donde el regulador de voltaje de secuencia negativa comprende filtros (170, 172) de paso bajo configurados para generar voltajes de secuencia negativa del dominio d-q, filtrando los componentes de voltaje negativo del dominio d-q.

7. El sistema (24) de control según la reivindicación 6, en donde los filtros de paso bajo comprenden cada uno un filtro de media flotante.

8. El sistema (24) de control de las reivindicaciones 3, 4, 5, 6 ó 7, en donde el regulador de voltaje de secuencia negativa comprende elementos (174, 176) de regulación de secuencia negativa configurados para determinar los componentes de corriente negativa del dominio d-q a partir de los voltajes de secuencia negativa del dominio d-q filtrados.

9. Un método para controlar un convertidor (12) de potencia multifásico que comprende:

generar señales (Ua_Cmd, Ub_Cmd, Uc_Cmd) de comando para el convertidor (12) de potencia multifásico; cuando el convertidor (12) de potencia multifásico está conectado a una red (14), utilizar señales de comando de corriente activa y reactiva de un controlador (27) de supervisión para hacer que un módulo (40) de control

- de corriente genere señales (Ua_Cmd, Ub_Cmd, Uc_Cmd) de conmutación del convertidor, en donde el controlador (27) supervisor puede funcionar para generar señales de comando de corriente activa y reactiva en base a los comandos de potencia activa y reactiva establecidos por un usuario, calculados por un algoritmo basado en las condiciones de la red o en base a una condición de una fuente (15) de alimentación de CC; y
- 5 cuando el convertidor (12) de potencia multifásico no está conectado a una red (14), utilizar un módulo (100) de control de voltaje para generar señales de comando de corriente del convertidor de referencia para hacer que un módulo (40) de control de corriente genere las señales (Ua_Cmd , Ub_Cmd, Uc_Cmd) de conmutación del convertidor;
- 10 determinar las señales (ICd_FF, ICq_FF) de corriente del filtro, de un filtro (18) LC acoplado al convertidor (12) de potencia multifásico en base a las señales (V Cmd) de comando de voltaje de referencia de un oscilador de un bucle (46) de bloqueo de fase, tomando derivadas de las señales (V Cmd) de comando de voltaje de referencia escaladas por un valor del condensador del filtro LC.

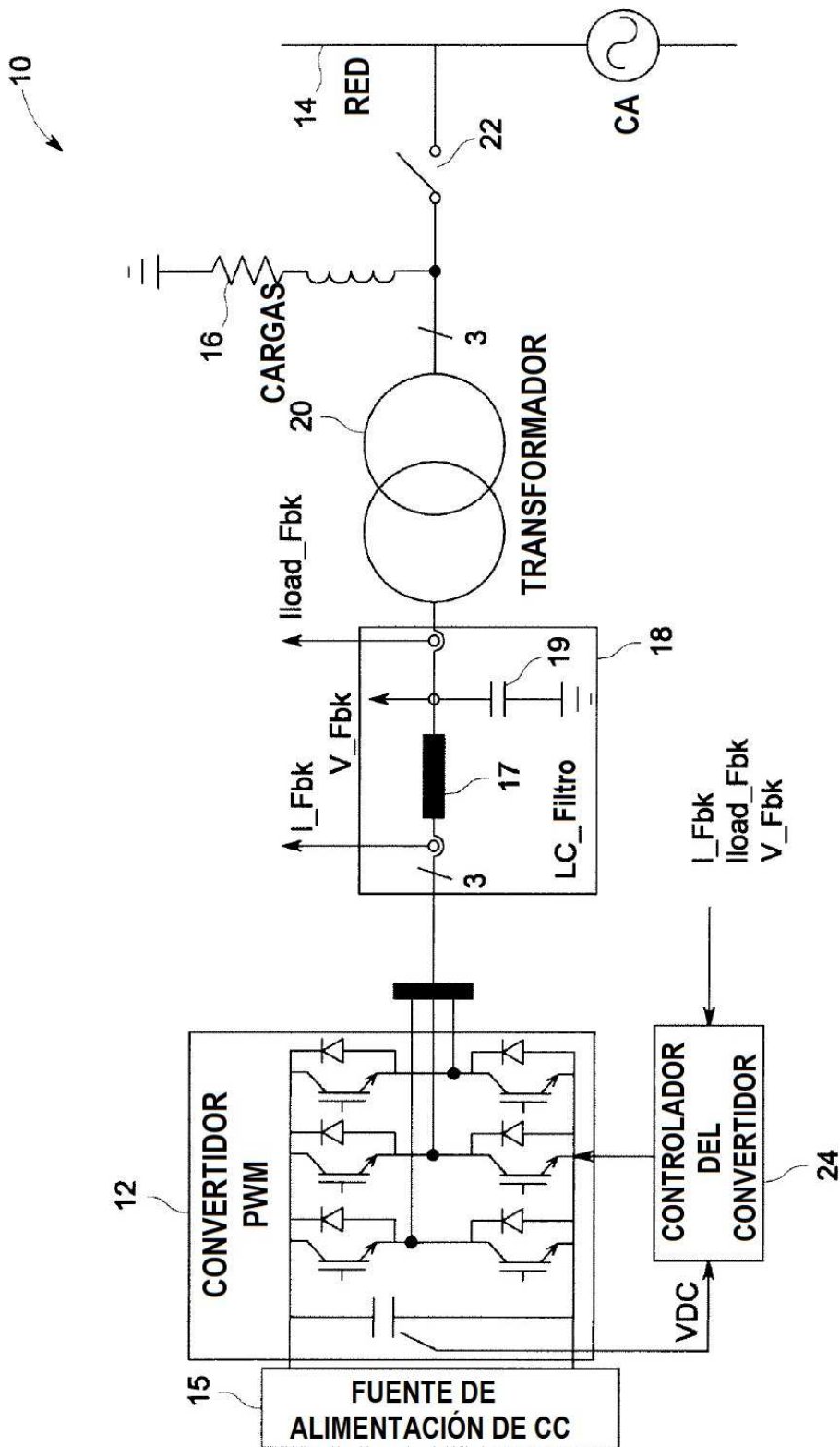


FIG. 1

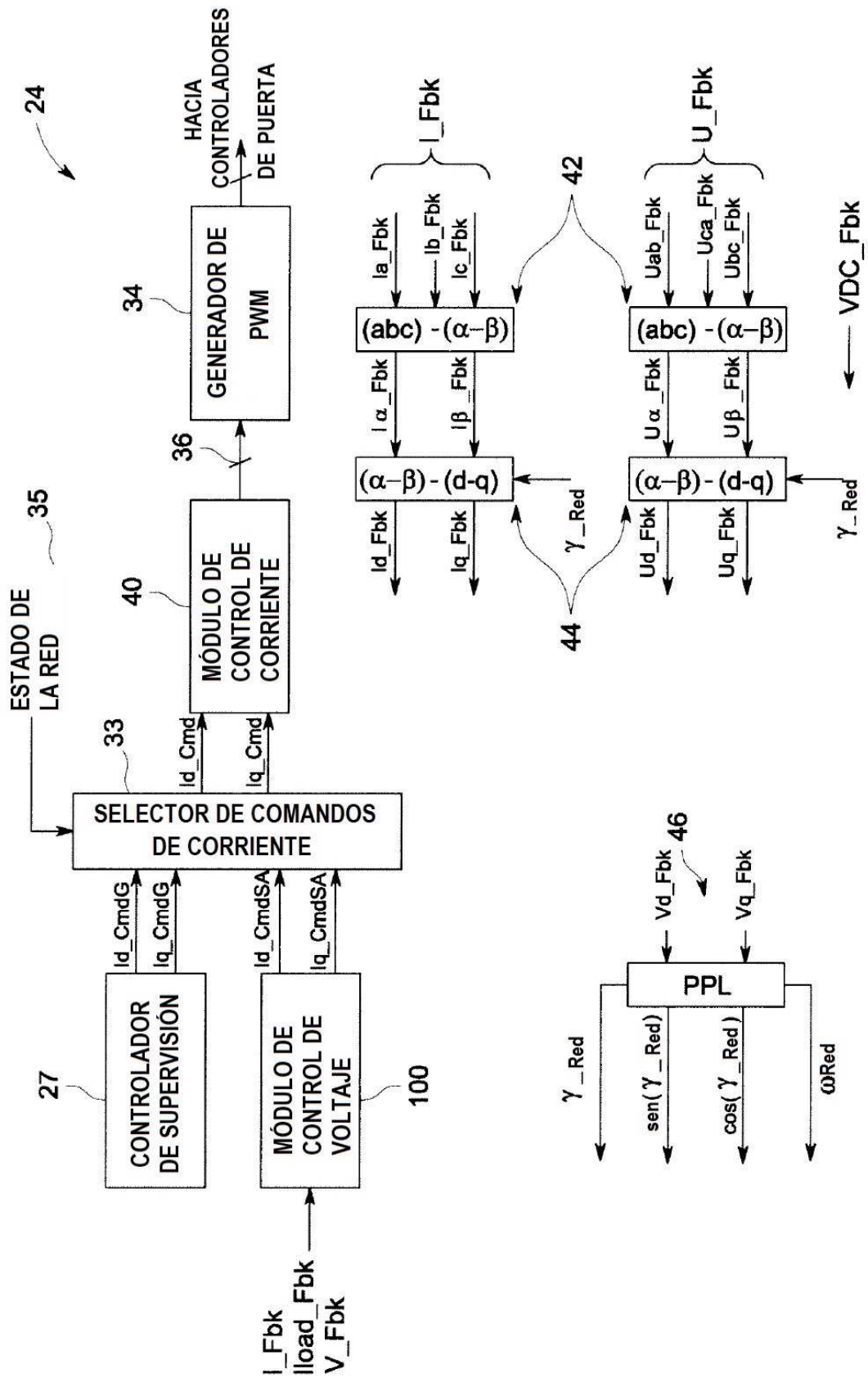


FIG. 2

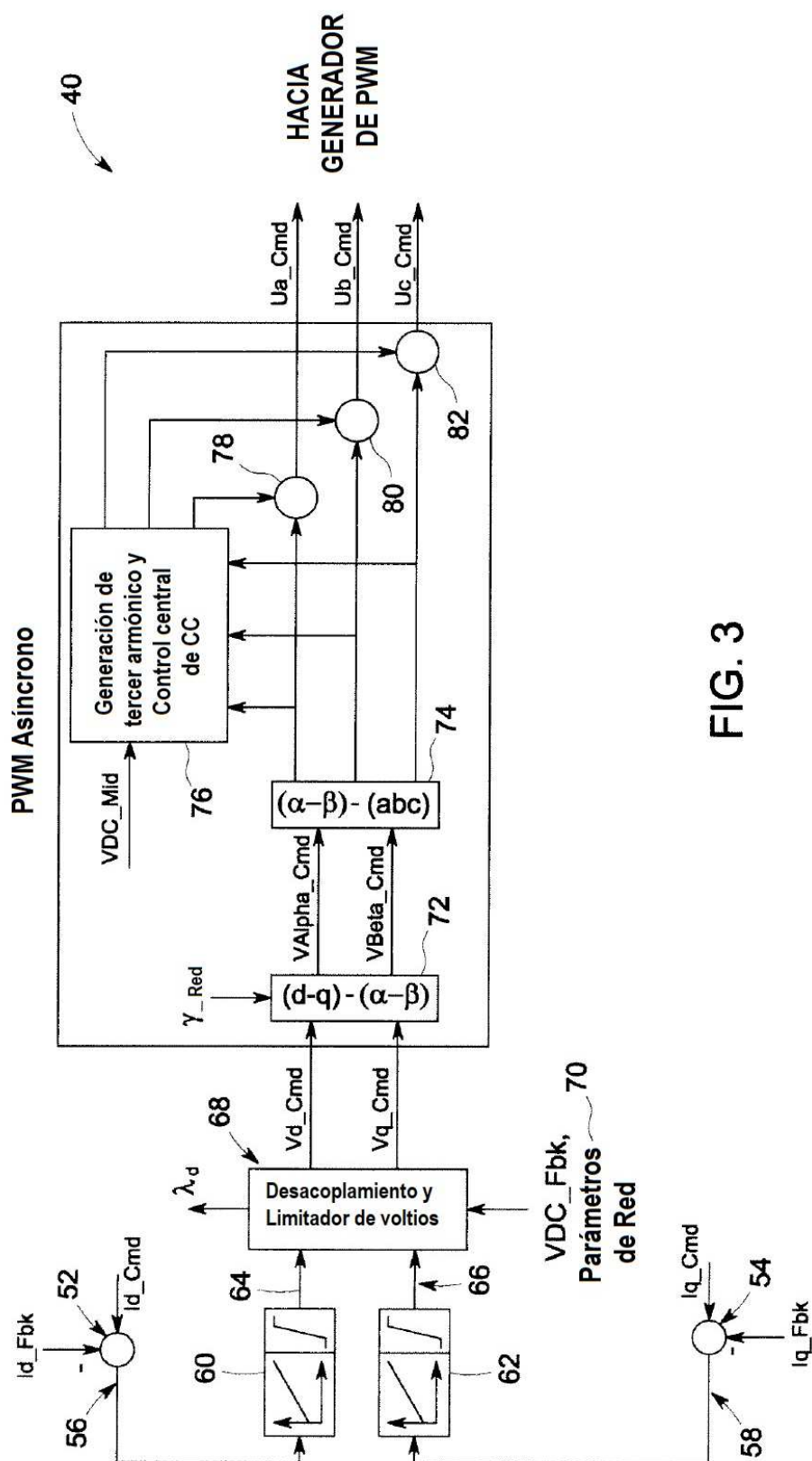


FIG. 3

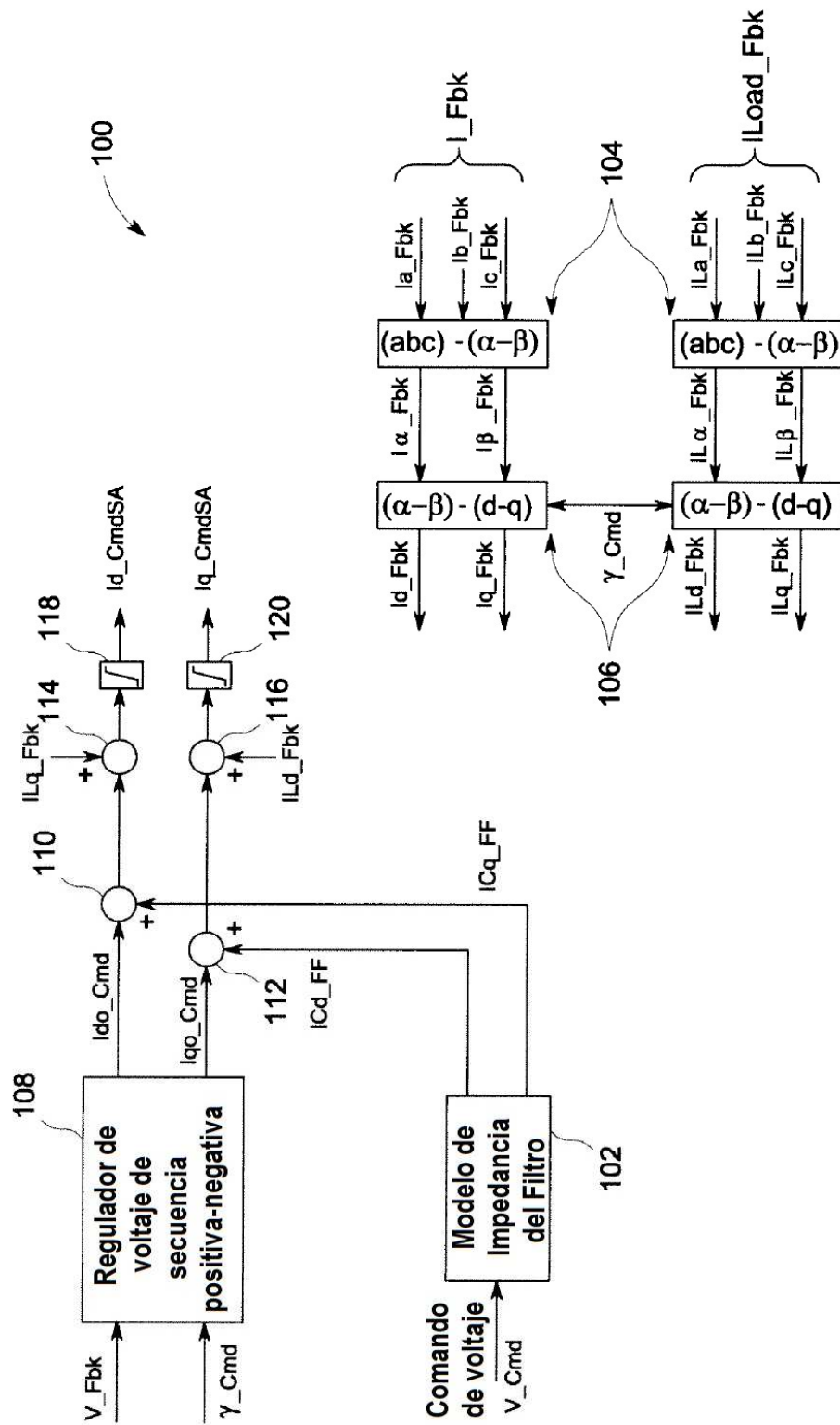


FIG. 4

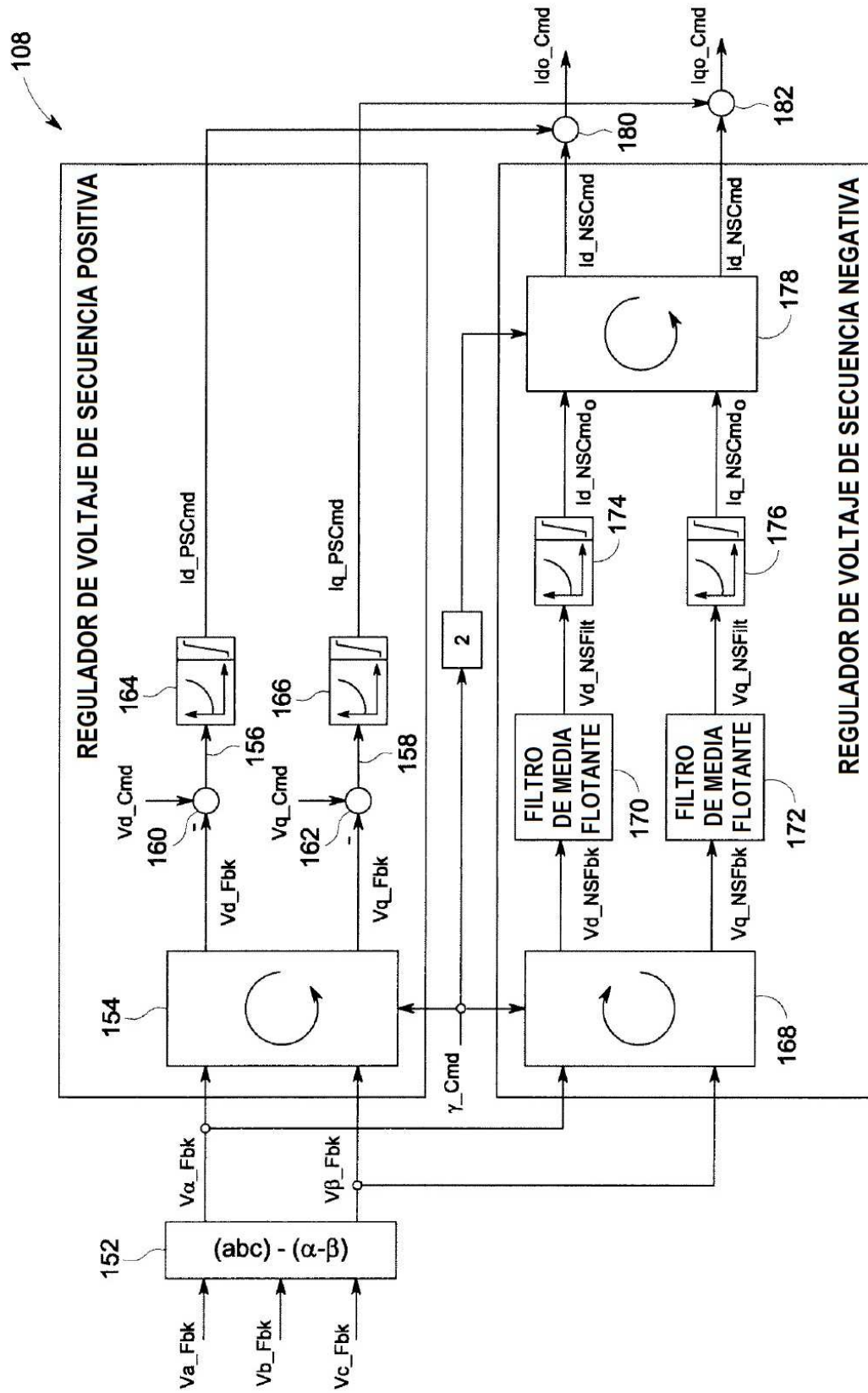


FIG. 5

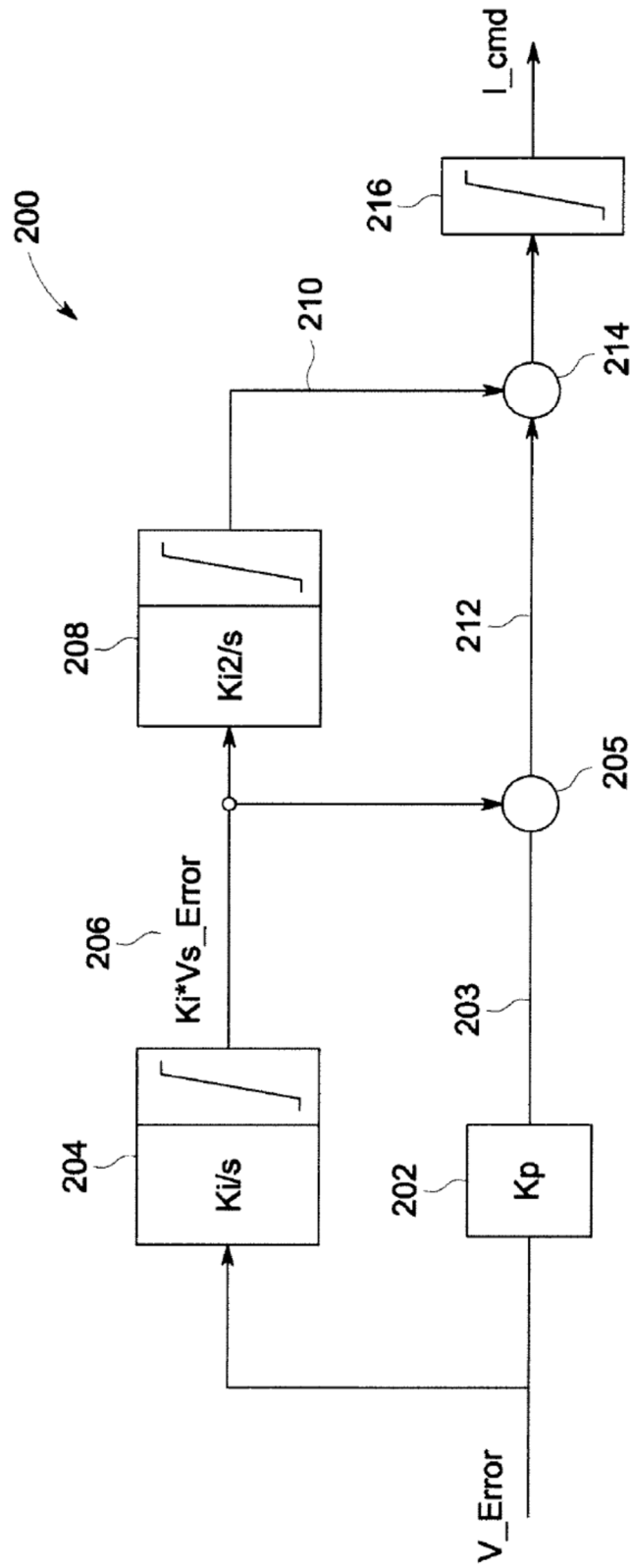


FIG. 6