

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 894 360**

51 Int. Cl.:

<b>G05F 1/67</b>	(2006.01) <b>H02M 7/5387</b>	(2007.01)
<b>H02P 27/06</b>	(2006.01) <b>H02P 1/42</b>	(2006.01)
<b>H02P 1/28</b>	(2006.01) <b>H02P 1/52</b>	(2006.01)
<b>H02P 1/30</b>	(2006.01) <b>H02S 40/32</b>	(2014.01)
<b>H02P 1/26</b>	(2006.01) <b>H02S 40/30</b>	(2014.01)
<b>H01L 31/042</b>	(2014.01)	
<b>H02M 7/537</b>	(2006.01)	
<b>H02P 27/04</b>	(2006.01)	
<b>H02P 27/08</b>	(2006.01)	
<b>H02M 3/158</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.10.2016 PCT/US2016/056618**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.04.2017 WO17066307**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2016 E 16856101 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.07.2021 EP 3362867**

54 Título: **Seguimiento de punto de máxima energía de velocidad variable, controlador de motor eléctrico solar para inducción y motores de CA de imán permanente**

30 Prioridad:

**13.10.2015 US 201562240979 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.02.2022**

73 Titular/es:

**PREMIER ENERGY HOLDINGS, INC. (100.0%)  
7755 Miller Dr.  
Frederick, CO 80504, US**

72 Inventor/es:

**GURKAYNAK, YUSUF;  
MILIVOJEVIC, NIKOLA;  
HAUTMANN, GERHARD y  
LOPORTO, JOHN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 894 360 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

Seguimiento de punto de máxima energía de velocidad variable, controlador de motor eléctrico solar para inducción y motores de CA de imán permanente

### Solicitudes relacionadas

- 5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la prioridad de la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos n.º 62/240.979 presentada el 13 de octubre de 2015, cuyo contenido se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad.

### Antecedentes

- 10 Las cargas de motores residenciales y comerciales están aumentando en todo el mundo. Si la red eléctrica está bien desarrollada, estas cargas se aplican a la red. Cuando la red está sobrecargada o sin desarrollar, o incluso ausente, la generación de energía distribuida fuera de la red, que generalmente involucra generadores de gasolina o diésel, paneles solares o turbinas eólicas, se utiliza para soportar cargas adicionales.

- 15 Los sistemas eólico y solar están sujetos a caprichos de producción causados por fenómenos naturales como el clima, incluida la presencia, ausencia o ráfagas de viento dañinas, nubes, acumulación de nieve, las estaciones y el ciclo día-noche, para los fines de este documento tal energía se conoce como energía variable en el tiempo. Muchos sistemas solares y eólicos fuera de la red superan estos caprichos mediante el uso de paneles solares y turbinas eólicas para proporcionar energía para cargar una batería u otro sistema de almacenamiento de energía eléctrica; luego, la energía se extrae del sistema de almacenamiento según sea necesario para alimentar las cargas.

- 20 Las baterías y otros sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, como los sistemas de almacenamiento por bombeo hidroeléctrico, son costosos y, en ocasiones, nocivos para el medio ambiente. Para minimizar los requisitos de almacenamiento de energía, los sistemas pueden aprovechar la inercia térmica y la gravedad, por ejemplo, bombeando agua desde pozos profundos a tanques de almacenamiento, tanques de gravedad o cisternas, cuando se dispone de energía variable en el tiempo, y luego almacenan el agua para usarla más tarde. Las cargas típicas del motor asociadas con la generación de energía distribuida fuera de la red incluyen el bombeo de agua solar (incluido el almacenamiento por bombeo hidroeléctrico), el aire acondicionado y la refrigeración con energía solar y otros sistemas en los que al menos algunas cargas del motor están activas solo donde hay suficiente insolación solar o viento para operar, mientras que cuando la energía solar o eólica no está disponible, algunas o todas las cargas están apagadas.

- 30 Un ejemplo de una carga de motor anterior adaptada para funcionar con generación solar distribuida es la serie Grundfos® SQF (marca comercial de Grundfos Pumps Corporation, Decatur, IL) de conjuntos de bombas de pozo. Estos conjuntos de bomba tienen una sección electrónica configurada para conexión directa a paneles solares de 30 a 300 voltios CC y adaptada para alimentar un motor, el motor acoplado para impulsar una bomba de agua. Estas bombas están diseñadas para bombear agua de un pozo a un tanque de almacenamiento, cisterna o tanque de gravedad cuando hay energía variable en el tiempo disponible de los paneles solares, y se apagan cuando no hay energía disponible o el tanque de almacenamiento, tanque de gravedad o cisterna está lleno. Otro documento de la técnica anterior es KUMAR RAJAN ET AL: "BLDC motor driven solar PV array fed water pumping system employing zeta converter", 2014 IEEE 6TH INDIA INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS (IICPE), que divulga las características del preámbulo de las reivindicaciones 1 y 12.

- 40 Además de los sistemas de energía solar, los sistemas de turbinas eólicas también tienen una salida variable en el tiempo y pueden tener cargas de motor.

### Sumario

La invención está definida por el sistema de la reivindicación 1 y el método de la reivindicación 12. Las realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes 2-11 y 13-15.

### Breve descripción de las figuras

- 45 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema que incorpora un conjunto de paneles solares, una carga de motor y un controlador adaptado para recibir energía de los paneles y accionar el motor.

La figura 2 es un diagrama más detallado de una realización del controlador de la figura 1.

La figura 3 ilustra una curva de tensión de funcionamiento frente a frecuencia.

- 50 La figura 4 ilustra la corriente de funcionamiento y las tensiones del panel solar del firmware MPPT (seguimiento del punto de máxima energía).

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento del firmware del microcontrolador 118.

La figura 6 es una ilustración esquemática de un sistema tradicional de control de motor de 3 hilos con arranque por condensador.

La figura 7 es una ilustración esquemática de un inversor de controlador de motor de fase dividida configurado para iniciar el funcionamiento de un motor de 3 hilos.

5 La figura 8 es un diagrama de forma de onda que ilustra las tensiones aplicadas en el sistema de la figura 7.

La figura 9 es una ilustración esquemática de un inversor de controlador de motor de fase dividida alternativo configurado para arrancar y operar un motor de inducción de 3 hilos.

### Descripción detallada de las realizaciones

10 Un sistema 100 (figura 1) tiene una fuente de energía solar fotovoltaica que incluye uno o más paneles fotovoltaicos 102, un controlador 104 y una carga de motor 106. Los paneles solares de la fuente de energía fotovoltaica se acoplan en serie, en paralelo o en serie-paralelo para proporcionar una salida de CC (corriente continua) 108 a una primera tensión. Esta primera tensión se recibe en el controlador 104 en un convertidor de tensión CC a CC 110 para proporcionar energía 112 a una segunda tensión conveniente para operar otros componentes del controlador 104, en una realización particular, el convertidor CC-CC 110 es un convertidor elevador, sin embargo, como  
15 alternativa se utilizan realizaciones reductoras-elevadoras u otras configuraciones de convertidor.

El controlador también tiene un controlador de motor de CA de frecuencia variable (VFD) alimentado por CC 114 acoplado para recibir energía en la segunda tensión del convertidor CC-CC 110, y para proporcionar un controlador de CA monofásico/multifásico 116 a una tercera tensión a la carga del motor 106. En una realización particular, el VFD 114 tiene una salida de onda sinusoidal. Tanto el convertidor CC-CC 110 como el VFD 114 operan bajo el  
20 control de un microcontrolador 118. Los condensadores de filtro 120 se proporcionan típicamente para reducir la ondulación de tensión y ayudar con las sobrecorrientes en la segunda tensión 112.

El **convertidor CC-CC 110** convierte la energía recibida de los paneles solares 102 en una tensión de enlace de CC regulada y predeterminada 112 en los condensadores de filtro 120, adecuada para el funcionamiento de **VFD 114**. En una realización, cuando el sistema 100 está funcionando, el convertidor CC-CC 110 es controlado por el  
25 microcontrolador 118 para operar con la primera tensión 108 en un punto de máxima energía de los paneles solares 102 y su salida 112 a una tensión conveniente para operar el VFD 114.

El VFD 114 convierte la energía de CC en una tensión de CA 116 adecuada para el motor 106 a una tensión y frecuencia de accionamiento del motor variable, la tensión y la frecuencia de accionamiento del motor determinadas por el microcontrolador 118 de acuerdo con la energía disponible de los paneles solares 102.

30 El **microcontrolador 118** detecta tensión y corriente en los paneles solares 102 y establece una referencia de frecuencia para VFD 114, de modo que la transferencia de energía desde los paneles solares fotovoltaicos 102 se maximiza de acuerdo con un algoritmo de "Seguimiento del punto de máxima energía - MPPT" mediante la ejecución del firmware en la memoria 122, donde la frecuencia operativa del VFD se reduce de una frecuencia operativa nominal del motor para conservar energía cuando hay poca energía disponible de los paneles solares 102 y  
35 aumenta a la frecuencia operativa nominal del motor cuando la máxima energía está disponible en los paneles solares 102.

El microcontrolador 118 tiene una tabla que contiene una curva operativa de tensión-frecuencia de fase del motor en la memoria 122, que determina el valor de tensión RMS de la salida de fase 116 en base a la frecuencia de referencia. Por lo tanto, la frecuencia y la tensión en la salida de accionamiento variable son variables y están bajo el  
40 control del microcontrolador 118, con el fin de maximizar la transferencia de energía para diversas condiciones solares. Se espera que, con algunas cargas de motor, como las bombas de desplazamiento positivo, el funcionamiento a baja velocidad del motor y la carga del motor consuman menos energía que el funcionamiento a alta velocidad del mismo motor y carga de bomba. En una realización particular, el microcontrolador 118 también tiene entradas de control adicionales, como un sensor de nivel de tanque de agua o un termostato, para permitir el  
45 funcionamiento cuando se necesita o se desea el funcionamiento del motor, apagando el funcionamiento del motor cuando no se requiere el funcionamiento del motor y para evitar daños que podrían deberse, por ejemplo, a un desbordamiento de los tanques de almacenamiento de agua.

El microcontrolador 118 también detecta la segunda tensión con el fin de regular la tensión de salida del convertidor CC-CC 110 y la energía extraída de los paneles solares 102 de manera que la máxima energía se extrae de los  
50 paneles. El microcontrolador 118 en algunas realizaciones también está configurado con una frecuencia máxima de accionamiento del motor para su uso con el variador VFD 114 y el motor 106, y limita la frecuencia de referencia y el funcionamiento del convertidor CC-CC en consecuencia incluso cuando esto da como resultado una menor energía extraída de los paneles solares que de lo contrario, podría estar disponible.

Con referencia a la figura 2, un sensor de corriente CT se coloca junto a un conector 152 destinado a acoplarse a los  
55 paneles 102, de modo que mida la corriente proporcionada por los paneles 102 como corriente  $I_{pv}$  y proporcione medidas al microcontrolador 118. Se coloca un diodo D para poner en cortocircuito automáticamente los paneles

fotovoltaicos si se invierte la polaridad de los paneles 102. El condensador C1 se proporciona para atenuar la ondulación de tensión en los paneles solares fotovoltaicos, mientras que el microcontrolador 118 también supervisa la tensión Vpv proporcionado por los paneles solares. La energía absorbida de los paneles solares 102 se determina a partir de mediciones de Ipv y Vpv por multiplicación.

- 5 En una realización, el convertidor CC-CC es un convertidor elevador que incluye un inductor de energía (L) y dos conmutadores de energía Q1 y Q2, conectados para proporcionar funcionalidad de refuerzo cuando se opera usando el control de una señal modulada por ancho de pulso y frecuencia de pulso Srefuerzo proporcionada por el microcontrolador 118. La tensión reforzada se filtra en el banco de condensadores 122, y el microcontrolador 118 mide el segundo nivel de tensión DC 112 como Vcc.
- 10 La tensión del enlace de CC presenta una entrada al VFD 114, que puede tener dispositivos de conversión de tensión adicionales y en una realización particular es un controlador de conmutación monofásico o trifásico que tiene 2 o 6 conmutadores de energía controlados por señales SVFD desde el microcontrolador 118. El funcionamiento del VFD 114 da como resultado formas de onda de CA de tensión y frecuencia variable proporcionadas en la salida de los terminales de salida de accionamiento variable 154 para su suministro al motor de CA 106.
- 15 El microcontrolador 118 funciona bajo el control del firmware que reside en la memoria 122. En una realización particular, el firmware incluye una rutina de arranque, una rutina operativa de seguimiento del punto de máxima energía (MPPT) y una rutina de apagado. Con referencia a las figuras 1, 4 y 5, estas incluyen:

#### 1. RUTINA DE PUESTA EN MARCHA

- 20 Una vez que se enciende el controlador y se verifica la funcionalidad básica 302, el microcontrolador 118 verifica la tensión Vpv recibida de los paneles fotovoltaicos 102 y solo si la tensión es mayor que una tensión de arranque mínima predeterminada registrada en la memoria 122, continúa con la rutina de arranque. Si la tensión de Vpv es menor que el mínimo, espera a que Vpv exceda el mínimo.

- 25 Una vez que se alcanza la tensión de arranque mínimo, el microcontrolador 118 establece 304 la frecuencia de una onda sinusoidal inicial que creará el VFD 114. El microcontrolador 118 determina entonces una magnitud de la onda sinusoidal (tensión de fase RMS) a partir de la frecuencia usando una curva de tensión-frecuencia (curva V-f) mostrada en la figura 3 y almacenada en la memoria 122. La memoria 122 en las realizaciones incluye una o más de una memoria de solo lectura, una memoria de solo lectura programable o una memoria de solo lectura borrrable y regrabable eléctricamente, y la curva V-f se determina según sea necesario para el tipo de motor específico 106 utilizado. La curva V-f no comienza desde cero, pero tiene una compensación de tensión (Vmin) que da una tensión de motor RMS de fase mínima para un valor de frecuencia mínimo.

- El microcontrolador 118 inicia la operación del sistema 104 proporcionando la frecuencia y tensión determinados al VFD 114 a través de señales SVFD. Como resultado, se proporciona al motor 106 una CA con frecuencia f1 y tensión eficaz V1 de fase de magnitud.
- 35 • El microcontrolador 118 luego verifica la corriente solar fotovoltaica 306 a través de la señal del sensor de retroalimentación Ipv (corriente solar fotovoltaica), y si Ipv disminuye en cierto porcentaje (x %) en el valor de un valor de lectura anterior ( $I_{pvnueva} < I_{pvant\acute{e}rior} * x \%$ ), que indica que el motor 106 ha comenzado a girar. En una realización particular, x% es 10 %. Por otro lado, si la nueva lectura en el sensor de corriente fotovoltaica (Ipv) no es menor que el porcentaje predeterminado x % del valor de la lectura anterior, entonces el motor 106 se determina como no arrancado todavía, por lo que continúa a otra etapa aumentando la frecuencia de funcionamiento del VFD 114 304 a f2 y, en consecuencia, la tensión de fase de funcionamiento a otra tensión de fase V2. El valor porcentual x % (un umbral para reconocer un arranque) es adaptativo y varía con el nivel de energía de un motor de CA y la carga.
- 40 • En una realización alternativa, en lugar de observar una caída de Ipv para verificar el arranque adecuado de la rotación del motor, el microcontrolador 118 observa directamente la rotación del motor con un sensor de velocidad del motor (no mostrado). En realizaciones, la velocidad del motor puede incluir un imán y una bobina de detección, una rueda dentada, un LED y un fotosensor, una rueda dentada y un sensor de reluctancia, un conmutador de inercia o cualquier otro sensor de rotación conocido en la técnica.
- 45 • Cuando el microcontrolador 118 avanza la frecuencia del VFD 114 a f2, a través de las señales SVFD, para proporcionar una frecuencia de onda sinusoidal f2, con la magnitud de tensión adecuada V2, en los terminales de salida del accionamiento variable 116.
- 50 • El microcontrolador 118 continúa aumentando la frecuencia y la tensión para VFD 114 y sigue verificando la corriente fotovoltaica solar a través de la señal de retroalimentación Ipv, hasta que el sensor Ipv muestra que el nuevo valor de corriente fotovoltaica es menor que el porcentaje determinado x % de un valor inicial o anterior, lo que significa que el motor inició la rotación, o un sensor de velocidad del motor detecta la rotación adecuada, y 110 pasa al modo regular MPPT.
- 55

- Si la corriente fotovoltaica solar (Ipv) no disminuye en un cierto porcentaje x % de un valor, de una etapa de frecuencia a otra, y la frecuencia llega a su valor máximo almacenado en la memoria 122, (la frecuencia máxima se conoce para cada tipo de motor) entonces el motor no ha comenzado a girar, luego deja de operar el VFD 114 y vuelve a intentar la RUTINA DE ARRANQUE después de un tiempo de pausa predeterminado. Esto permite que se disipen algunas cargas de arranque altas, como las producidas por refrigerante presurizado en un sistema de HVAC o de refrigeración, o una columna de agua de salida completa detrás de una bomba de pozo.

## 2. MODO REGULAR DE SEGUIMIENTO DE PUNTO DE MÁXIMA ENERGÍA (MPPT)

- Una vez que el microcontrolador 118 concluye que el motor se ha puesto en marcha, el convertidor CC-CC regula 308 la segunda tensión CC 112 a un valor preestablecido Vestablecido a través de señales de Srefuerzo que controlan directamente los conmutadores de energía Q3-Q8 del accionamiento 114 del motor CA/CC.
- La regulación del enlace DC 112 significa que el convertidor CC-CC 110 ajusta el valor de tensión del enlace DC 112 hasta que alcanza el valor deseado Vestablecido, cambiando el ciclo de trabajo de operación en los conmutadores de energía Q1 y Q2 del circuito de refuerzo (figura 2).
- La retroalimentación de señal Vcc está midiendo el valor de la segunda tensión de CC 112 para el microcontrolador 118
- Si el valor de retroalimentación de Vcc es menor que el valor de Vestablecido, entonces el ciclo de trabajo para el convertidor CC-CC aumenta un valor de la señal Srefuerzo para aumentar el valor de tensión del enlace CC 112, hasta que el ciclo de trabajo en el convertidor CC-CC alcanza su valor máximo
- Mientras que el convertidor CC-CC 110 está regulando la tensión del enlace CC 112 en el valor preestablecido Vestablecido y a menos de una frecuencia máxima, según lo determinado por los valores en la memoria 122, el algoritmo MPPT en la memoria 122 se ejecuta en el microcontrolador 118 para aumentar la frecuencia del motor para el VFD 114, que implica aumentar la tensión RMS de fase en consecuencia, basándose en la curva tensión-frecuencia de la figura 3. Al hacerlo, el microcontrolador 118 compara el consumo de energía actual 310 de los paneles fotovoltaicos con el consumo de energía anterior de los paneles fotovoltaicos. Si la energía ha aumentado, el microcontrolador aumenta 312 la frecuencia y la tensión del variador de frecuencia 114, y si el consumo de energía no ha aumentado debido a las limitaciones de energía de los paneles solares 102, el microcontrolador disminuye 314 la frecuencia y la tensión del variador de frecuencia 114.
- Al aumentar la frecuencia y la tensión de la energía de CA generada por el VFD, se indica al motor que gire con RPM más rápidas, lo que aumenta el consumo de energía del VFD 114 y el motor 106, aumentando así la energía extraída de los paneles solares fotovoltaicos 102.
- El aumento de frecuencia es en etapas, donde una primera etapa 202 es para la frecuencia del motor 1 (f1) establecida por el microcontrolador 110, y el motor 106 operando a la frecuencia 1 corresponde a la energía solar fotovoltaica mostrada en la figura 4 funcionando en el punto 202 (corriente solar I1 y tensión V1).
- El microcontrolador 118 aumenta entonces la frecuencia (f2) de la energía del motor 116 generada por el VFD 114, el siguiente punto de funcionamiento a mayor frecuencia se muestra en la figura 4 como el punto 204 con mayor corriente solar fotovoltaica (I2), pero menor tensión solar fotovoltaica V2. Los aumentos de frecuencia del VFD están limitados a no exceder la frecuencia nominal máxima para el motor y la carga en particular.
- Si el microcontrolador 118 sigue aumentando la frecuencia del motor, hay un punto en el que la energía obtenida del panel solar fotovoltaico (Energía = I x V) está en su máximo, que se muestra como el punto 206 en la figura 4. El punto de máxima energía encontrado por este algoritmo varía significativamente con la insolación.
- Si la frecuencia sigue aumentando (el motor gira más rápido y requiere más energía), la salida de energía del panel solar fotovoltaico 102 comenzará a disminuir a medida que se alcance la producción máxima de energía, y la tensión disminuirá más rápido que los aumentos de corriente (se muestra la característica de la curva VI en el punto 208). en la figura 4), ya que los paneles solares fotovoltaicos no pueden proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento del motor a esa velocidad o más.
- Como resultado, la tensión del enlace de CC cae, porque los paneles no pueden proporcionar suficiente energía para mantener la tensión del enlace de CC,
- Una vez que el microcontrolador detecta que la tensión del enlace de CC disminuyó 316, disminuye la

frecuencia en el VFD a una etapa de frecuencia más baja para permitir que el convertidor CC-CC recupere la regulación de la tensión del enlace de CC.

- Una vez que se establece la regulación de tensión del enlace de CC y el microcontrolador 118 detecta que está dentro de los límites requeridos, el algoritmo MPPT comienza a aumentar la frecuencia para el VFD 114 nuevamente para aumentar la velocidad de rotación del motor 106. Si el valor de tensión del enlace de CC disminuye por debajo de un umbral  $V_{fcaída}$ , entonces el microcontrolador disminuye inmediatamente la frecuencia de operación en un valor predeterminado de disminución de frecuencia  $f2$ , que es un cambio de frecuencia (etapa) mucho mayor que el utilizado dentro del mecanismo de seguimiento del punto de máxima energía. Si esta frecuencia disminuye en la etapa  $f2$  no permite que la tensión del enlace de CC se recupere por encima del valor umbral  $V_{fcaída}$ , entonces el microcontrolador 118 disminuye la frecuencia de funcionamiento en otro  $f2$ , hasta que la tensión del enlace CC sea superior al valor umbral  $V_{fcaída}$ .

### 3. DETENER RUTINA

Durante el funcionamiento en modo regular, el microcontrolador 118 está comprobando la tensión a través de los paneles solares fotovoltaicos 102 (señal  $V_{pv}$ ). Si el valor de  $V_{pv}$  cae en más de un valor límite de caída de energía de la memoria 122, a un valor predeterminado  $V_d$  (almacenado en la memoria del microcontrolador), entonces el microcontrolador 118 concluye que el motor debe detener la rotación, y apaga 318 la operación de VFD 114, espera cierto período de tiempo 320 según sea apropiado para el motor y las cargas impulsadas por el motor 114, y entra en RUTINA DE ARRANQUE

- Si tal evento de arranque-parada ocurre varias veces seguidas (el límite predeterminado en el número de intentos se almacena en la memoria del microcontrolador), entonces el microcontrolador concluye que no hay suficiente energía solar disponible en los paneles para operar el motor, y permanece inactivo durante un tiempo de espera más largo  $W_{sol}$ . Después de esperar  $W_{sol}$ , si hay una tensión mínima disponible en los paneles que indican condiciones de luz diurna, el controlador reintenta el arranque volviendo a la RUTINA DE ARRANQUE

En una realización particular, el motor 106 es un motor trifásico, y el accionamiento del motor de frecuencia variable 114 proporciona tres fases de corriente alterna para impulsar el motor 106; en una realización alternativa, el motor 106 es un motor de fase dividida, donde el VFD 114 proporciona fases de accionamiento del motor y una fuente de energía de arranque u operar con desplazamiento de fase al motor 106. En otra realización particular, el motor 106 es un motor monofásico que tiene un circuito de arranque del motor integral que incluye un condensador de arranque, y el VFD 114 proporciona al motor 106 una fase única de energía CA.

En una realización particular, el accionamiento del motor de frecuencia variable 114 proporciona una salida de onda sinusoidal para impulsar el motor 106.

En una realización alternativa, el panel solar 102 de la figura 1 se reemplaza con un sistema de generador de turbina eólica y un rectificador asociado para proporcionar energía CC al convertidor CC-CC 110; en un sistema de este tipo, un sensor de velocidad de rotación de la turbina eólica se puede proporcionar opcionalmente como entrada al microcontrolador 118 y al firmware 122 adaptado para usar la información de velocidad de la turbina eólica, así como la información de corriente y tensión, al ajustar el VFD 114 para evitar el estancamiento de la turbina eólica y optimizar la transferencia de energía al motor 106.

En otra realización alternativa, el panel solar 102 de la figura 1 se reemplaza por un generador impulsado por una turbina de gasolina, diésel, gas o vapor (que puede ser de pistón o turbina); típicamente con un rectificador asociado para rectificar cualquier CA producida por el generador y para proporcionar energía CC al convertidor CC-CC 110. En tales sistemas se proporciona una entrada de aceleración al controlador 104, el sistema entonces es capaz de actuar como una transmisión eléctrica de relación variable. Las transmisiones eléctricas de relación variable tienen muchos usos, aunque son diferentes en arquitectura y muchos detalles de funcionamiento (incluido el uso de motores de CC) del sistema descrito actualmente, la Marina de los EE. UU. operó transmisiones eléctricas de relación variable en lugar de engranajes de reducción en los sistemas de motor principales de Clases de acorazados de Nuevo México, Tennessee y Colorado desde 1918 hasta 1947.

Un sistema tradicional de motor de fase dividida 400 (figura 6) con un controlador de arranque por condensador 402 y un motor monofásico de 3 cables 404, con un condensador de arranque 406 y un relé de control 408 en el controlador 402. El motor 404 tiene un devanado principal 410 y un devanado auxiliar de arranque 412. El relé de control 408 conecta el condensador 406 en serie con el devanado de arranque 412 a la fuente de CA 414 durante el arranque del motor, en paralelo con el devanado principal 410. El relé de control 408 desconecta el condensador 406 y el devanado de arranque 412 una vez que el motor ha comenzado a girar. El condensador 406 proporciona efectivamente un desplazamiento de fase de 90 grados entre la energía aplicada al devanado principal 410 y el devanado de arranque 412. En algunos, pero no en todos, los controladores tradicionales de arranque por condensador, se proporciona un condensador Coperar 409 separado para permitir algún uso del devanado de

arranque 412 mientras el motor está funcionando para aumentar el par, en estos controladores Coperar típicamente tiene un valor significativamente menor que Ciniciar para ayudan a reducir la disipación de energía y la corriente de tiempo de funcionamiento de las sobrecorrientes de arranque del motor. Si bien este sistema de motor tradicional 400 se usa con bastante frecuencia, tiene inconvenientes, entre los que se encuentran los picos de corriente muy altos y la energía requerida para arrancar el motor a frecuencias de operación completas. El sistema de control de motor de frecuencia variable MPPT descrito con referencia a las figuras 1-3 se usa con la realización de la figura 7 que se describe a continuación.

En esta disposición, se puede escribir que:

$$V_{aux} = V_{Phs} - V_{ph1}, \text{ donde } V_{aux} \text{ es la tensión a través del devanado de arranque. ... (1)}$$

$$V_{principal} = V_{ph2} - V_{Ph1} \text{ ... (2)}$$

Si hemos elegido PhS como energía de devanado auxiliar, que actúa como devanado de arranque, se apagará (sin corriente a través de él) tan pronto como el motor comience a girar.

Además de arrancar el motor de 3 hilos utilizando un devanado auxiliar, el motor se accionará en modo de frecuencia variable, mientras se mantiene una relación de tensión/frecuencia (V/F) constante, donde la tensión de fase RMS y f es su frecuencia, como se explicó anteriormente en párrafo]. Para controlar libremente el motor en forma V/f, las formas de onda de tensión en los nodos: Ph1, Ph2 y PhS se generarán como se muestra en las ecuaciones 3-5:

$$V_{Ph1} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función 1} * \text{sen}(x) \text{ ..... (3)}$$

$$V_{PhS} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función 2} * \text{sen}(x - \theta) \text{ ..... (4)}$$

$$V_{Ph2} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función 3} * \text{sen}(x - \gamma) \text{ ..... (5)}$$

donde las tres formas de onda están compensadas por  $V_{cc}/2$ , la mitad de la tensión de entrada de CC. Además, la forma de onda  $V_{phS}$  se desplaza en el ángulo  $\theta$  con respecto a  $V_{Ph1}$ , mientras que la forma de onda  $V_{Ph2}$  se desplaza en el ángulo  $\gamma$  con respecto a  $V_{Ph1}$ .

Es posible crear esas 3 formas de onda de tensión utilizando un microcontrolador para aplicar señales PWM a los dispositivos de conmutación del VFD.

Si PhS está iniciando la energía del devanado, eso significa que Ph2 es la energía del devanado principal, y como muestran las ecuaciones anteriores, la tensión a través del devanado principal es  $V_{principal} = V_{ph1} - V_{Ph2}$ , por lo que, si el objetivo es tener la magnitud máxima en el devanado principal, entonces las formas de onda de tensión de  $V_{Ph2}$  y  $V_{Ph1}$  debe ser de magnitudes iguales (función 1 = función 3), pero direcciones opuestas ( $\gamma = 180^\circ$ ). La magnitud del devanado principal también debe maximizarse para la tensión de CC de entrada dado, por lo que sigue la ecuación 2:

$$V_{principal} = V_{ph1} - V_{Ph2} \Rightarrow V_{principal} = V_{cc} * \text{función 1} * \text{sen}(x) \text{ ..... (6)}$$

Además, la forma de onda de tensión en el devanado auxiliar debe estar cerca de  $90^\circ$  con respecto al devanado principal, pero con la misma magnitud, que se puede derivar de la ecuación 6 como:

$$V_{aux} = V_{cc} * \text{función 1} * \text{sen}(x - 90^\circ) \text{ ..... (7)}$$

Si combinamos la ecuación 7 con la ecuación 1, obtendremos la ecuación de forma de onda para  $V_{Phs}$  como:

$$V_{aux} = V_{phS} - V_{ph1}$$

$$\Rightarrow V_{phS} = V_{aux} + V_{Ph1} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función 1} * \text{sen}(x) + V_{cc} * \text{función 1} * \text{sen}(x - 90^\circ)$$

$$\Rightarrow V_{Phs} = V_{cc}/2 + V_{cc} * \text{función 1} * \text{sen}(x - 90^\circ) + 1/2 * \text{sen}(x) \text{ ..... (8)}$$

La ecuación 8 debe escribirse en el formato de la ecuación 4 para la forma de onda  $V_{phS}$ , y ese tipo de transformación se llama transformación de "desplazamiento de fase arbitrario", donde la regla general dice:

$$A * \text{sen } X + B * \text{sen}(X + Y) = C * \text{sen}(X + Z) \text{ ..... (9)}$$

donde el coeficiente C se puede calcular como:

$$C = \text{raíz cuadrada}(A^2 + B^2 + 2 * A * B * \cos(Y)) \text{ ..... (10)}$$

y el ángulo Z se puede calcular como:

$$Z = \text{atan}(B * \text{sen}(Y)/(A + B * \cos(Y))) \text{ ..... (11)}$$

Usando las ecuaciones 10 y 11, es posible resolver las incógnitas función 2 y  $\theta$  de la ecuación 4, por lo que obtenemos:

$$\text{función 2} = 2,23 * \text{función 1}$$

$$\text{ángulo } \theta = 63^\circ.$$

5 Ahora, las formas de onda de tensión del inversor trifásico que se muestran en la figura X se pueden mostrar como:

$$V_{Ph1} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función} * \text{sen}(x) \dots\dots\dots (12)$$

$$V_{PhS} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * 2.23 * \text{función} * \text{sen}(x - 63^\circ) \dots\dots\dots (13)$$

$$V_{Ph2} = V_{cc}/2 + V_{cc}/2 * \text{función} * \text{sen}(x - 180^\circ) \dots\dots\dots (14)$$

10 donde función es una relación V/f de tensión rms de fase y frecuencia para el funcionamiento de frecuencia variable de un motor de CA.

La figura 7 es una ilustración esquemática de un inversor 450 de accionamiento de motor variable de CC a CA de fase dividida, controlable por frecuencia, configurado para arrancar y operar un motor de fase dividida de 3 hilos desde un suministro 452 de CC de un solo extremo. Un dispositivo de conmutación de energía 454 positivo y negativo 456 Ph2 se accionan alternativamente para proporcionar una señal de CA de fase 2 (Ph2) 458 para impulsar el devanado principal 460 del motor de fase dividida de 3 hilos 462. De manera similar, un dispositivo de conmutación de energía Ph1 positivo 464 y negativo 466 se accionan alternativamente para proporcionar una señal de CA de fase 1 (Ph1) 468 para impulsar una conexión común a la que está conectado un primer extremo del devanado de arranque 470 y un segundo extremo del devanado principal 460 del motor de fase dividida de 3 hilos 462. Finalmente, un dispositivo de conmutación de energía PhS positivo 474 y negativo 476 separados se accionan alternativamente para proporcionar una señal de CA de fase 3 (PhS) de compensación 478 para impulsar una conexión a la que está conectado un segundo extremo del devanado de arranque 470 de un motor de fase dividida de 3 hilos 462.

25 Durante la operación de arranque, el inversor de accionamiento de motor variable de CC a CA de fase dividida 450, controlable por frecuencia se opera para proporcionar formas de onda como se ilustra en la figura 8. En una realización particular, los dispositivos de conmutación de energía 454, 456, 464, 466, 474, 476 no son meros transistores de conmutación, sino que son dispositivos de transferencia de energía bidireccionales que utilizan técnicas de conmutación-conversión de alta frecuencia adaptadas para proporcionar formas de onda sinusoidales. Los dispositivos de conmutación de energía positiva 454 y negativa 456 se operan para proporcionar una onda sinusoidal 490 a una frecuencia de arranque a la conexión Ph2 del devanado principal 460, mientras que los dispositivos de conmutación de energía positiva 464 y negativa 466 se operan para proporcionar una onda sinusoidal 492 en la frecuencia de arranque a la conexión Ph1 del devanado principal 460. Para iniciar la rotación del motor, los dispositivos de conmutación de energía PhS positivo 474 y negativo 476 se operan para proporcionar una onda sinusoidal 494 en la frecuencia de arranque a la conexión PhS del devanado de arranque 470 con un desfase controlable 496. Una vez que ha comenzado la rotación del motor, los dispositivos de conmutación de energía positiva 474 y negativa 476 se apagan para desconectar el devanado de arranque 470, mientras que los dispositivos de conmutación de energía positiva 454, 464 y negativa 456, 466 continúan proporcionando energía al devanado principal 460 para operar el motor.

35 En una realización particular, durante el arranque, el desplazamiento de fase 496 está configurado para hacer que la tensión del devanado de arranque PhS 494, 478 se retrase de la tensión de activación negativa Ph1 468, 492 en 63 grados para una eficiencia óptima.

40 La figura 9 es una ilustración esquemática de un inversor de fase dividida alternativo configurado para arrancar y operar un motor de inducción de 3 hilos. Esta realización utiliza un par de fuentes de CC 502, 504 para dar rieles de energía positivos 552 y negativos 554 con una conexión efectivamente neutra 506. Una de estas fuentes de CC 502 es la tensión del enlace de CC que se ha comentado anteriormente, la otra fuente de CC 504 es un convertidor CC-CC de conmutación de alta frecuencia o una bomba de carga accionada por la fuente de CC 502.

45 Neutro 506 reemplaza Ph1 468 de la figura 7. Los dispositivos de conmutación de energía positiva 510 y negativa 514 están configurados para impulsar una línea Ph2 518 para impulsar el devanado principal 520 del motor, a diferencia de la realización de la figura 7, donde las fases de accionamiento del motor de CA 458, 468, 478 oscilan entre cero y una alta tensión de CC, en esta realización, las fases de accionamiento del motor de CA 518 y 522 oscilan tanto en positivo como en negativo con respecto al neutro 506. Los dispositivos de conmutación de energía positiva 512 y negativa 516 están configurados para impulsar una línea PhS 522 para impulsar el devanado auxiliar o de arranque 524 del motor. En algunas realizaciones, los dispositivos de conmutación de energía positiva 512 y negativa 516 están acoplados directamente al devanado de arranque 524. En esta realización, el suministro positivo 552 está acoplado a los dispositivos de conmutación de energía positiva 510, 512, y el suministro negativo 554 a los dispositivos de conmutación de energía negativa 514, 516.



Los accionadores del motor de frecuencia variable de las figuras 7 y 9 operan los dispositivos de conmutación de energía 454, 456, 464, 466, 474, 476, 510, 512, 514, 516 bajo el control de un controlador 118 (figura 1) que proporciona operación de frecuencia variable y tensión variable, y permite control de la relación de fase entre Ph2 458, 490, 506 y PhS 478, 494, 522, con respecto a Ph1 468, 494, 518. Dado que la relación de fase entre Ph1 y PhS es sintetizada directamente por el controlador, en lugar de por una caída de tensión a través de un dispositivo reactivo como un condensador de arranque o funcionamiento (figura 6), esta relación de fase es optimizable para un arranque rápido y una operación de energía eficiente.

En una realización, se añade una fase DP desplazada 123 (figura 1) en la memoria del controlador 118 a una fase de corriente de la salida Ph2 del devanado principal para proporcionar una fase de corriente de VphS; estas fases de corriente se utilizan para sintetizar pulsos a los dispositivos de conmutación de energía de impulso positivo y negativo que controlan las salidas VPh2, VPh1 y VphS.

Las realizaciones discutidas con referencia a las figuras 7, 8 y 9 comienzan la operación del motor a la frecuencia de arranque, siendo la frecuencia de arranque significativamente menor que una frecuencia de operación de energía máxima completa. Una vez que ha comenzado la rotación del motor, el sistema actual aumenta su frecuencia de operación y su tensión de operación hasta que se excede la energía disponible, o se alcanza una frecuencia de operación nominal completa. Si se excede la energía disponible, la frecuencia de funcionamiento se reduce para conservar la energía de acuerdo con un algoritmo de seguimiento del punto de máxima energía como se describió anteriormente.

Tenga en cuenta que el devanado auxiliar o de arranque 470, 524 (figura 7, 9) puede ver una tensión efectivamente más baja a través del devanado que el devanado principal 460, 520. Esto es una consecuencia de que el devanado principal 460, 520 ve una tensión entre Ph2 458, 506 y Ph1 468, 518 que están separados 180 grados, mientras que el devanado auxiliar o de arranque 470, 524 ve una tensión de CA efectiva entre Ph1 468, 512, y PhS 478, 522, que se reduce porque la diferencia de fase entre PhS y Ph1 no es de 180 grados; la diferencia de fase cero entre Ph2 y PhS, la diferencia de tensión PhS-Ph1 está en un máximo pero con una diferencia de fase de 180 grados entre Ph2 y PhS, donde PhS se alinea con Ph1, la diferencia de tensión PhS-Ph1 llega a cero. Hemos descubierto que, aunque tradicionalmente se utiliza una diferencia de fase de 90 grados para arrancar un motor de tres hilos con arranque por condensador; otras diferencias de fase pueden tener como resultado un mejor funcionamiento porque aparece una mayor tensión en el devanado de arranque. En particular, se pueden usar tensiones de CC más bajas en las fuentes de CC 452, 502, 504 y las tensiones de CA más bajas en Ph2, Ph1 y PhS al arrancar y operar dichos motores activando activamente PhS a tensión completa con una diferencia de fase donde PhS conduce a Ph1, en aproximadamente 117 grados (equivalente a PhS con retraso de Ph2 en 63 grados). En las realizaciones, PhS retrasa Ph1 entre 58 y 68 grados, o adelanta Ph2 entre 112 y 122 grados para proporcionar una tensión efectiva más alta a través del devanado auxiliar o de arranque mientras está lo suficientemente desplazado de Ph2 para permitir el arranque del motor. El presente controlador permite el ajuste de firmware de la fase en el devanado de arranque PhS para proporcionar esta tensión más alta a través del devanado de arranque.

Para los propósitos de este documento, el firmware es una secuencia ordenada de instrucciones legibles por máquina almacenadas en una memoria, las instrucciones legibles por máquina proporcionadas para adaptar el microcontrolador para realizar tareas particulares como rastrear un punto de máxima energía de los paneles fotovoltaicos ajustando la energía consumida por el accionador del motor de frecuencia variable y regulando la segunda tensión CC.

### Combinaciones

Las características del sistema aquí descrito pueden combinarse de varias formas. Entre las combinaciones de características anticipadas por los inventores se encuentran las citadas a continuación.

Un sistema designado A que incluye un motor eléctrico de CA; al menos un panel fotovoltaico; un convertidor CC-CC acoplado para recibir energía del al menos un panel fotovoltaico y proporcionar una segunda tensión CC; un accionamiento de motor de frecuencia variable acoplado para recibir la segunda tensión de CC y proporcionar energía de CA al motor eléctrico de CA; y un microcontrolador configurado para regular la segunda tensión de CC y para usar un firmware de seguimiento del punto de máxima energía para ajustar la frecuencia del accionamiento del motor de frecuencia variable para optimizar la salida de energía.

Un sistema designado AA que incluye el sistema designado A en el que el microcontrolador también está configurado para ajustar una tensión de la energía CA proporcionada al motor eléctrico CA.

Un sistema designado AB que incluye el sistema designado A o AA en el que el microcontrolador está configurado para ajustar la tensión de la energía CA proporcionada al motor eléctrico CA con la tensión de la energía CA aumentando linealmente con una frecuencia de la energía CA.

Un sistema designado AD que incluye el sistema designado AA, AB o A en el que el microcontrolador tiene un firmware adaptado para aumentar gradualmente la segunda tensión de CC y una frecuencia de la energía de CA hasta que el motor de CA comienza a girar, y en el que el microcontrolador reconoce que el motor de CA ha comenzado a girar detectando un cambio en la corriente recibida desde el al menos un panel fotovoltaico.

- Un sistema designado AE que incluye el sistema designado AA, AB, AD o A en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina para cambiar una frecuencia del accionador del motor de frecuencia variable en etapas mientras se busca la máxima energía posible recibida del al menos un panel fotovoltaico, mientras se regula el segundo nivel de tensión de CC a una tensión que aumenta proporcionalmente con la frecuencia del accionador del motor de frecuencia variable.
- Un sistema designado AE que incluye el sistema designado AA, AB, AD o A en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina para ajustar la segunda tensión de CC para obtener la máxima energía posible del al menos un panel fotovoltaico, mientras que el firmware comprende instrucciones legibles por máquina para ajustar una frecuencia de funcionamiento del accionador del motor de frecuencia variable.
- Un sistema designado AF que incluye el sistema designado AA, AB, AD, AE o A en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina adaptadas para monitorear la segunda tensión de CC y si dicho segunda tensión de CC disminuye por debajo de un umbral predeterminado para disminuir una frecuencia del accionador del motor de frecuencia variable.
- Un sistema designado AG que incluye el sistema designado AA, AB, AD, AE, AF o A en el que el sistema está configurado para detectar fallos en el arranque del motor eléctrico de CA y, cuando el motor eléctrico de CA no arranca, apaga el accionador del motor de frecuencia variable durante un tiempo de reintento y para reintentar el arranque del motor eléctrico de CA después del tiempo de reintento.
- Un sistema designado AH que incluye el sistema designado AA, AB, AD, AE, AF o AJ o A en el que la energía de CA comprende una energía de CA de primera fase acoplada a un devanado principal del motor eléctrico de CA y una energía de CA de fase de arranque acoplada a un devanado de arranque del motor eléctrico de CA, la energía de CA de la primera fase y la energía de CA de la fase de inicio se compensan con un desplazamiento de fase distinto de cero.
- Un sistema designado AJ que incluye el sistema designado AH en el que el desplazamiento de fase distinto de cero está entre 58 y 68 grados o 112 y 122 grados.
- Un sistema designado AK que incluye el sistema designado AA, AB, AD, AE, AF, AG, AH, AJ o A en el que la energía de CA comprende además una energía de CA de tercera fase desfasada 180 grados con la energía de CA de la primera fase, la energía de CA de la tercera fase acoplada tanto al devanado de arranque como al devanado principal.
- Un método designado B para operar un motor de CA alimentado por una fuente de energía de CC limitada que proporciona una primera tensión de CC que comprende: convertir la energía de la fuente de energía de CC limitada a una segunda tensión de CC; convertir la energía de la segunda tensión de CC a una tensión de motor de CA a una primera frecuencia de CA y una primera tensión de CA; proporcionar la tensión del motor de CA al motor de CA; detectar el arranque del motor de CA; después del arranque del motor de CA, aumentar la tensión y la frecuencia de la tensión del motor de CA hasta alcanzar una frecuencia máxima o un límite de la fuente de energía de CC.
- Un método designado BA que incluye el método designado B en el que la tensión del motor de CA comprende una primera fase y una fase de arranque de CA, la primera fase y la fase de arranque difieren en fase entre 58 y 68 grados o entre 112 y 122 grados.
- Un método designado BB que incluye el método designado B o BA en el que el límite de la fuente de energía de CC se determina controlando una tensión de la fuente de energía de CC a medida que aumenta la frecuencia de la tensión del motor de CA, y determinando cuándo se produce un ligero aumento de la frecuencia de la tensión del motor de CA desencadena una caída porcentual en la tensión de la fuente de energía de CC que excede un límite de caída de tensión porcentual
- Un método para operar un motor de CA alimentado por una fuente de energía de CC limitada que proporciona una primera tensión de CC que incluye: convertir la energía de la fuente de energía de CC limitada a una segunda tensión de CC; convertir la energía de la segunda tensión de CC a una tensión de motor de CA a una primera frecuencia de CA y una primera tensión de CA; proporcionar la tensión del motor de CA al motor de CA; detectar el arranque del motor de CA; y después del arranque del motor de CA, variando la frecuencia del variador de frecuencia del motor de CA para buscar un punto de máxima energía (MPP) de la tensión de CC limitado.
- El método de la reivindicación 15, en el que la tensión de CC limitada se obtiene mediante un dispositivo seleccionado del grupo que consiste en un panel fotovoltaico y una turbina eólica.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende:

un motor eléctrico de CA (106, 462);

al menos un panel fotovoltaico (102, 452);

5 un convertidor CC-CC (110) acoplado para recibir energía del al menos un panel fotovoltaico (102, 452) y proporcionar una segunda tensión CC (112);

un controlador de motor de frecuencia variable (114, 450) acoplado para recibir la segunda tensión de CC (112) y proporcionar una energía de CA (116) al motor eléctrico de CA (106, 462); y

un microcontrolador configurado para regular la segunda tensión CC (112);

10 el microcontrolador está configurado para aumentar gradual y simultáneamente la segunda tensión de CC (112) y una frecuencia de la energía de CA (116) hasta que el motor eléctrico de CA (106, 462) comience a girar, y **caracterizado por que**

15 el microcontrolador está configurado para detectar que el motor eléctrico de CA (106, 462) ha comenzado a girar al detectar una disminución en la corriente recibida del al menos un panel fotovoltaico (102, 452), y cuando el motor eléctrico de CA (106, 462) ha comenzado a girar para usar un firmware de seguimiento del punto de máxima energía para aumentar la frecuencia de la energía de CA (116) para optimizar la salida de energía, mientras regula la segunda tensión de CC (112) a un valor predeterminado.

20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el microcontrolador también está configurado para ajustar una tensión de la energía CA (116) proporcionada al motor eléctrico CA (106, 462) cuando se usa el firmware de seguimiento del punto de máxima energía para ajustar la frecuencia de la energía de CA (116) para optimizar la salida de energía, y

en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina para aumentar la frecuencia de la energía de CA (116) en las primeras etapas hasta un límite de frecuencia;

25 y si la segunda tensión de CC (112) cae más de un umbral antes de que se alcance el límite de frecuencia, disminuir la frecuencia de la energía de CA (116) en segundas etapas, hasta que la segunda tensión de CC (112) se regule de nuevo en el valor predeterminado, y luego aumentar la frecuencia de la energía CA (116) en las primeras etapas hacia el límite de frecuencia, siendo las segundas etapas de mayor tamaño que las primeras etapas.

3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que el motor eléctrico de CA (106, 462) es un motor de inducción de CA.

30 4. El sistema de la reivindicación 1, 2 o 3, en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina para ajustar la segunda tensión de CC (112) para obtener la máxima energía posible del al menos un panel fotovoltaico (102, 452).

35 5. El sistema de la reivindicación 1, 2, 3 o 4, en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina adaptadas para monitorear la segunda tensión de CC (112), y si dicha segunda tensión de CC (112) disminuye por debajo de un umbral predeterminado para disminuir la frecuencia de la energía de CA (116).

6. El sistema de la reivindicación 1, 2, 3, 4 o 5, en el que el sistema está configurado para detectar un fallo del motor eléctrico de CA (106, 462) para comenzar a girar, y cuando el motor eléctrico de CA (106, 462) no arranca a girar, para apagar el controlador de motor de frecuencia variable (114, 450) durante un tiempo de reintento y para reintentar el arranque del motor eléctrico de CA (106, 462) después del tiempo de reintento.

40 7. El sistema de la reivindicación 6, en el que el sistema está configurado para contar los reintentos para arrancar el motor eléctrico de CA (106, 462) y, al contar un número máximo de reintentos de reintentos, para apagar el controlador del motor de frecuencia variable (114, 450) durante un tiempo de reintento prolongado y para reintentar el arranque del motor eléctrico de CA (106, 462) después del tiempo de reintento prolongado.

45 8. El sistema de la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 7, en el que el firmware de seguimiento del punto de máxima energía comprende instrucciones legibles por máquina para cambiar la frecuencia de la energía de CA (116) en etapas mientras se busca la máxima energía posible recibida desde el al menos un panel fotovoltaico (102, 452), mientras se regula la segunda tensión CC (112) a un nivel que aumenta proporcionalmente con la frecuencia de la energía CA (116).

50 9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el motor eléctrico de CA (106, 462) es un motor de inducción de CA monofásico de tres cables (462) y está acoplado al controlador de motor de frecuencia variable (114, 450) de manera que la energía CA (116) proporcionada por el controlador de motor de frecuencia

- variable (450) comprende una energía de CA de primera fase (Ph1, 468) acoplada a un nodo común del motor eléctrico de CA (462), una energía de CA de tercera fase (PhS, 478) está acoplada a un devanado de arranque (470) del motor eléctrico de CA (462), y una energía de CA de segunda fase (Ph2, 458) está acoplada a un devanado principal (460) del motor eléctrico de CA (462); un desplazamiento de fase entre la primera fase (Ph1) y la segunda fase (Ph2) es de 180 grados; en el que la energía de CA de la tercera fase (PhS, 478) se desconecta después de que se detecta la rotación del motor eléctrico de CA (462).
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la energía de CA de la tercera fase (PhS, 478) tiene una magnitud 2,23 veces mayor que las magnitudes de la energía de CA de la primera fase (Ph1, 468) y la energía de CA de la segunda fase (Ph2, 458) hasta que el motor eléctrico de CA (462) se detecta que ha comenzado a girar.
11. El sistema de la reivindicación 9 o 10, en el que un desplazamiento de fase entre la energía de CA de la primera fase (Ph1, 468) acoplada tanto al devanado de arranque (470) como al devanado principal (460) y la energía de CA de la tercera fase (PhS, 478) es 63 grados.
12. Un método de operar un motor de CA (106, 462) alimentado por una fuente de energía de CC limitada (102, 452) que proporciona una primera tensión de CC que comprende:
- convertir la energía de la fuente de energía de CC limitada (102, 452) a una segunda tensión de CC (112);
- convertir la energía de la segunda tensión de CC (112) a una energía de CA (116) a una primera frecuencia de CA y una primera tensión de CA;
- proporcionar la energía CA (116) al motor CA (106, 462);
13. El método de la reivindicación 12, en el que la energía de CA (116) comprende una primera fase (Ph1, 468) y una fase de arranque (PhS, 478), la primera fase (Ph1, 468) y la fase de arranque (PhS, 478) que difieren en fase entre 58 y 68 grados o entre 112 y 122 grados.
14. El método de la reivindicación 12 o 13, en el que el límite de la fuente de energía de CC limitada (102, 452) se determina controlando una tensión de la fuente de energía de CC limitada (102, 452) a medida que aumenta la frecuencia de la energía de CA (116) y determinar cuándo un ligero aumento de la frecuencia de la energía de CA (116) desencadena una caída porcentual en la tensión de la fuente de energía de CC limitada (102, 452) que excede un límite de caída de tensión porcentual
15. El método de la reivindicación 12, 13 o 14, en el que:
- la tensión de la fuente de energía de CC limitada (102, 452) se obtiene mediante un dispositivo seleccionado del grupo que consiste en un panel fotovoltaico (102) y una turbina eólica;
- el motor de CA (106, 462) es un motor de fase dividida (462) y la energía de CA (116) comprende una energía de CA de primera fase (Ph1, 468) acoplada a un devanado principal (460) del motor de CA (462) y una energía de CA de fase de arranque (PhS, 478) acoplada a un devanado de arranque (470) del motor de CA (462);
- en el que la energía de CA de la primera fase (Ph1, 468) y la energía de CA de la fase inicial (PhS, 478) están compensadas por un desplazamiento de fase entre 58 y 68 grados o entre 112 y 122 grados; y
- en el que la energía de CA de la fase de arranque (PhS, 478) se apaga después de que se determina que el motor de CA (462) ha arrancado y la energía de CA (116) ha alcanzado una frecuencia umbral.

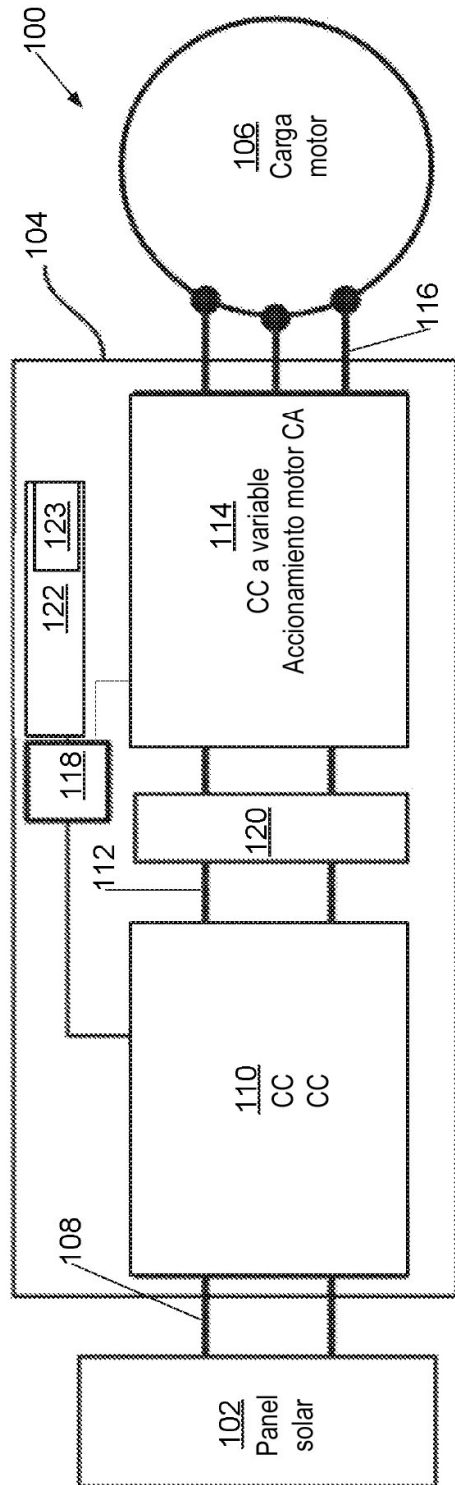


FIG. 1

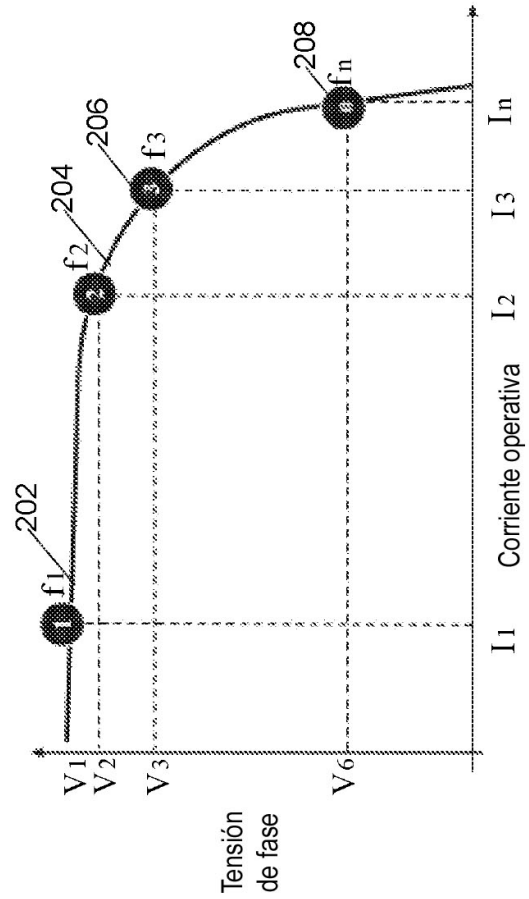


FIG. 4

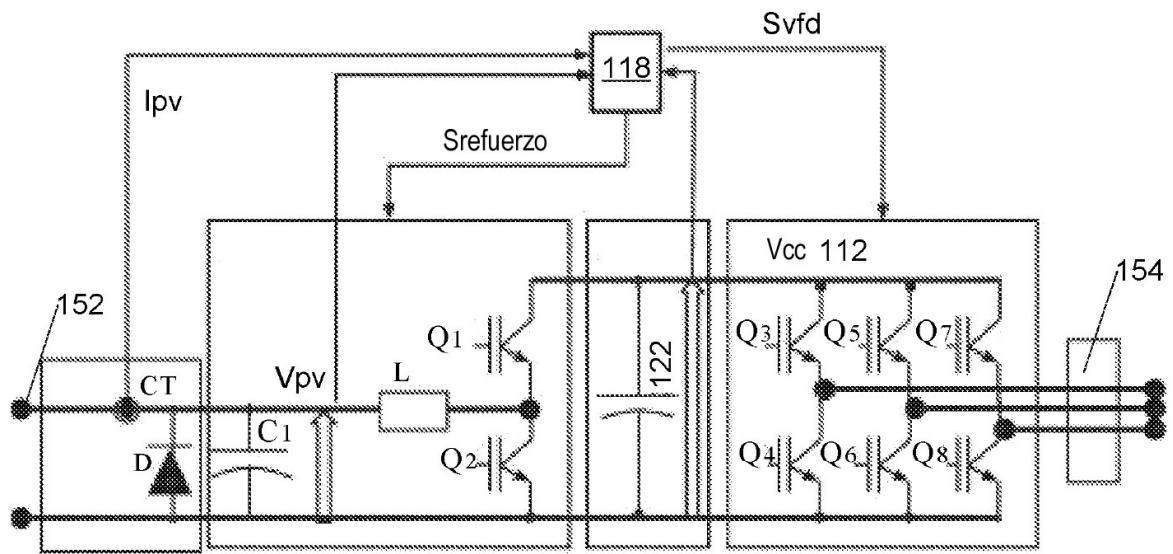


FIG. 2

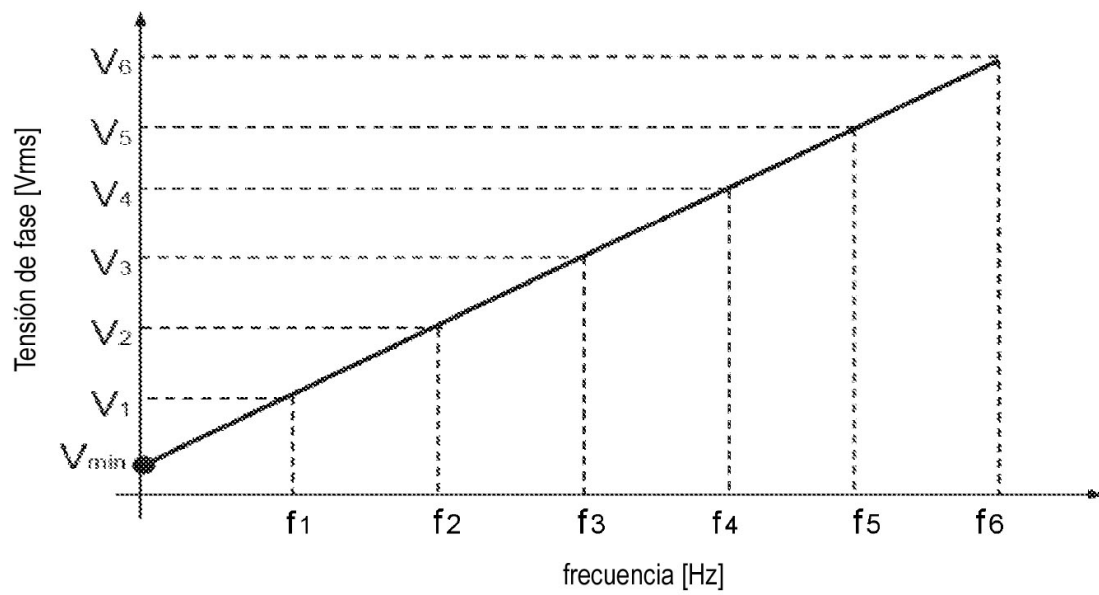


FIG. 3

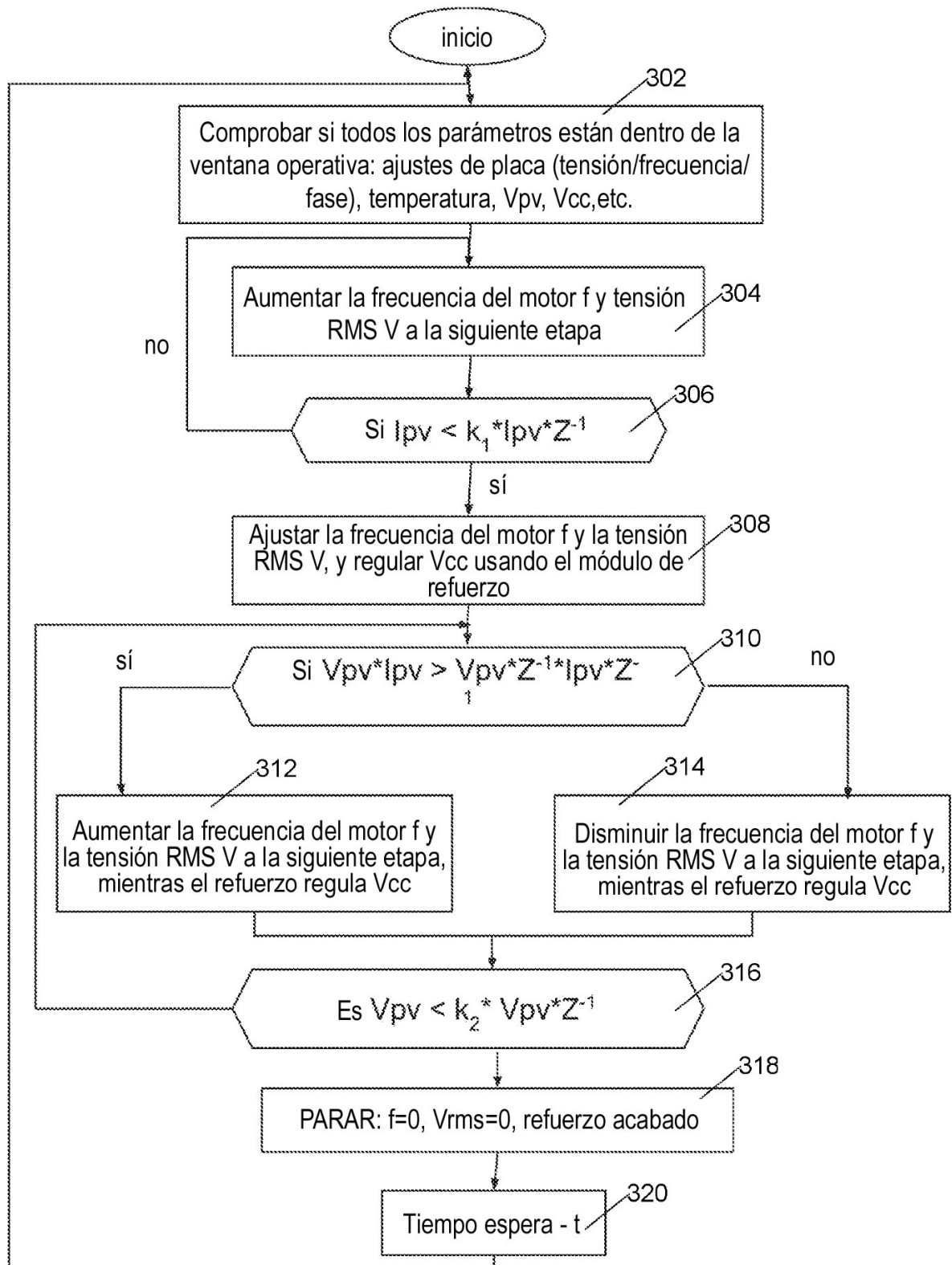
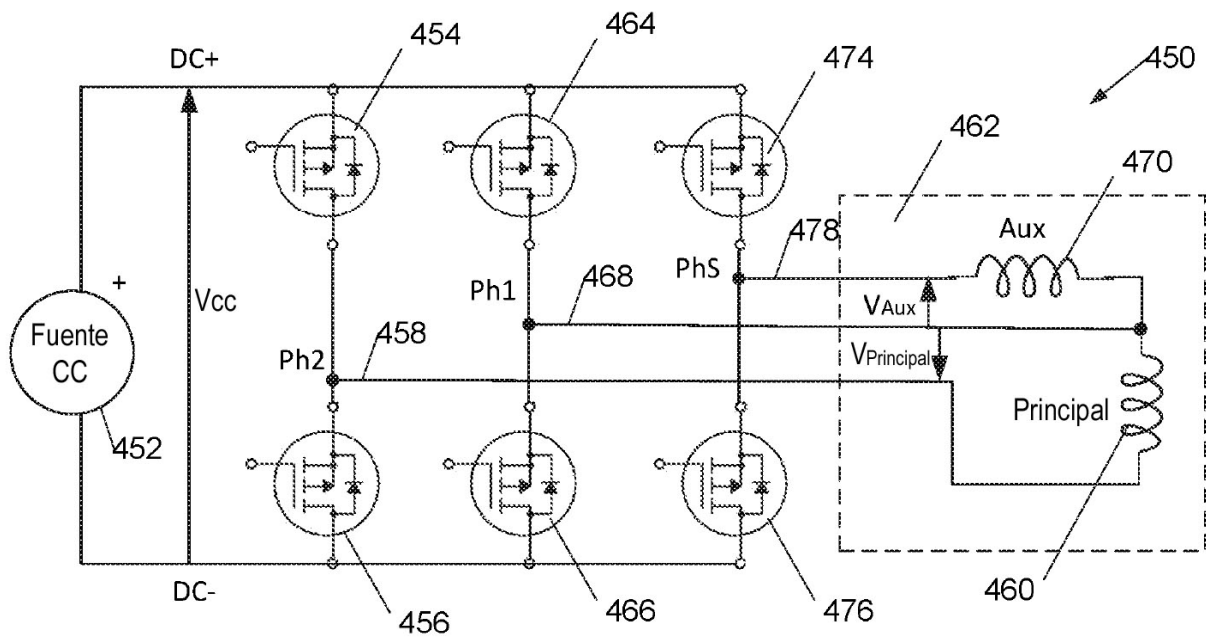
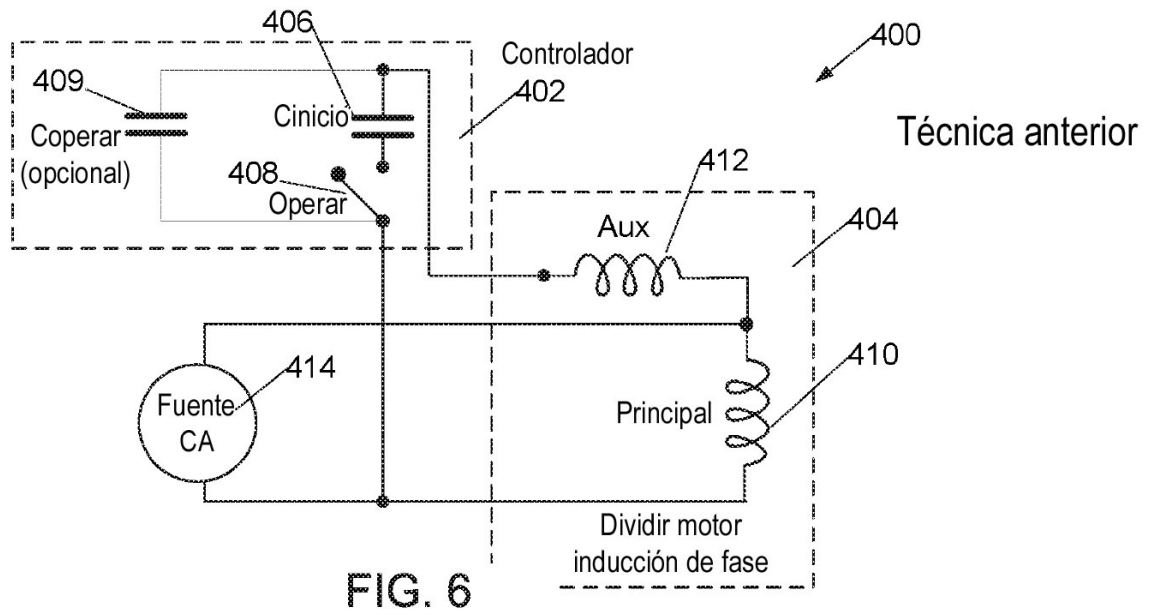


FIG. 5





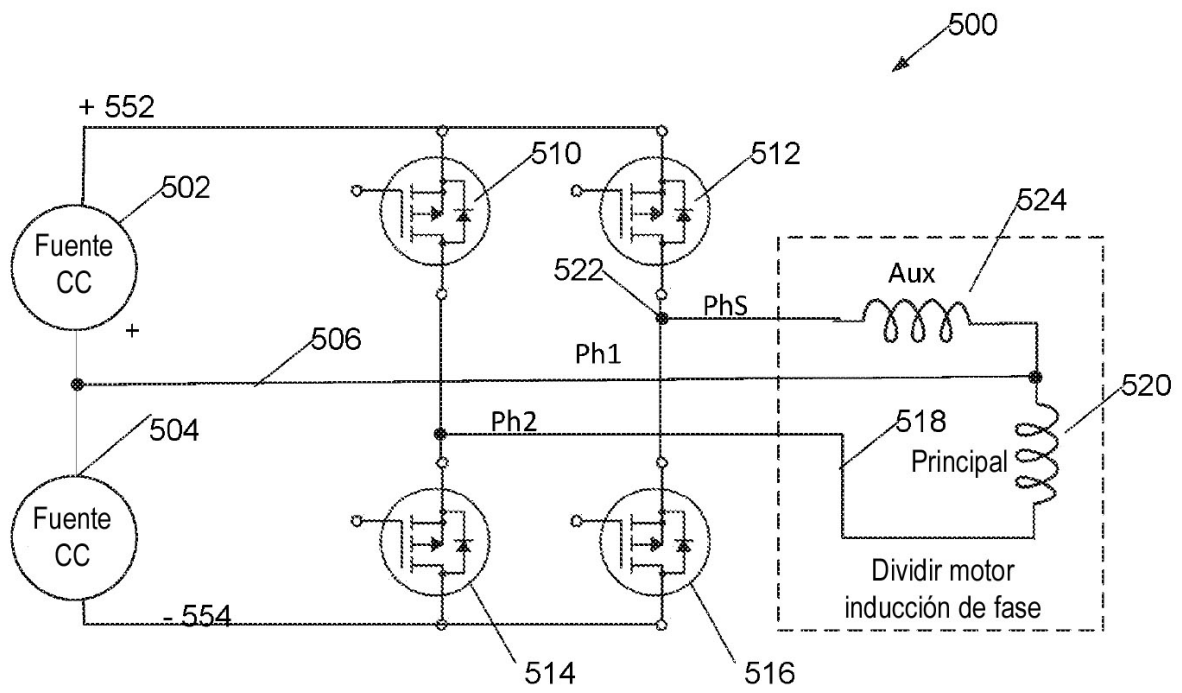


FIG. 9

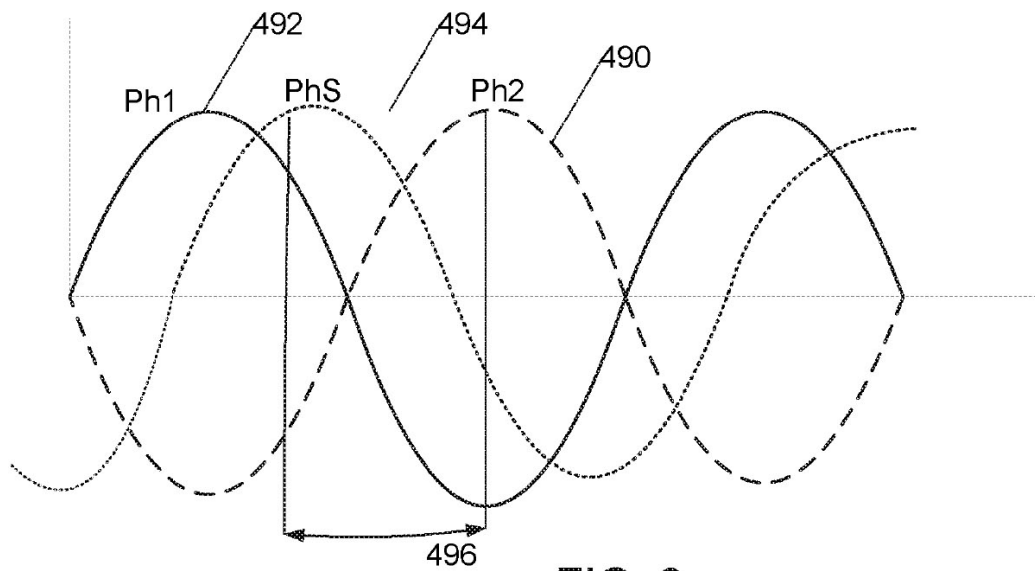


FIG. 8