

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 280**

51 Int. Cl.:

**H02P 27/14** (2006.01)  
**H02M 5/458** (2006.01)  
**H02M 7/487** (2007.01)  
**H02M 7/49** (2007.01)  
**H02M 7/483** (2007.01)  
**H02M 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2014** **E 14175514 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018** **EP 2840706**

54 Título: **Método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase para un inversor de media tensión**

30 Prioridad:

**08.08.2013 KR 20130094081**

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

**19.09.2018**

73 Titular/es:

**LSIS CO., LTD. (100.0%)**  
**127 LS-ro, Dongan-gu**  
**Anyang-si, Gyeonggi-do 431-080, KR**

72 Inventor/es:

**YOO, ANNO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 682 280 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**

Método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase para un inversor de media tensión

5 Antecedentes de la divulgación

Campo

10 Las enseñanzas de acuerdo con las formas de realización a modo de ejemplo de la presente divulgación se refieren, en general, a un método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase para un inversor de media tensión.

Antecedentes

15 En general, un inversor de media tensión de múltiples niveles es un inversor que tiene una potencia de entrada cuyo valor rms (*root mean square*, valor cuadrático medio) se encuentra por encima de 600 V para una tensión de línea a línea, y tiene varias etapas en la tensión de fase de salida. El inversor de media tensión de múltiples niveles se usa, en general, para accionar una carga industrial de gran inercia que varía de varios kW a unas capacidades de varios MW de, para un ejemplo no limitante, ventiladores, bombas, compresores, tracciones, elevadores y transportadores.

20 El inversor de media tensión de múltiples niveles usa un transformador de desfase para reducir los armónicos, en donde un ángulo de desfase del transformador de desfase se determina por medio del número de células de energía unitarias, y un número aumentado de células de energía unitarias mejora la THD (*Total Harmonic Distortion*, Distorsión Armónica Total) en un terminal de entrada. No obstante, si el número de células de energía unitarias generan, de forma desventajosa, la THD en una corriente de fase de entrada.

25 La figura 1 es un diagrama de circuitos que ilustra una configuración de un inversor de media tensión de múltiples niveles convencional, que es una vista esquemática que ilustra un inversor de múltiples niveles de puente en H conectado en cascada en serie, y la figura 2 es una vista esquemática que ilustra una configuración detallada de células de energía unitarias de la figura 1.

30 Un transformador de desfase (110) en un inversor de media tensión de múltiples niveles (100) general cambia la fase y el valor de la tensión en una potencia de entrada alta en respuesta a lo que requiera una célula de energía unitaria (120). Una tensión de salida del transformador de desfase (110) es una potencia de entrada de cada célula de energía unitaria (120), y se convierte a CC a través de un rectificador de diodos trifásico (121).

35 Las figuras 3a y 3b ilustran una estructura y un diagrama de fases de un transformador de desfase (110) en donde un ángulo de desfase en un lado secundario es positivo para un ángulo de desfase en un lado primario ( $Y / Z - 1$ ), cuando el lado primario del transformador de desfase (110) se forma en un devanado en Y de  $N_1$  espiras, un lado secundario se forma en un devanado en triángulo ( $\Delta$ ) de devanado  $N_2$ , y un lado terciario se forma en un devanado de  $N_3$ .

40 Además, las figuras 4a y 4b ilustran una estructura y un diagrama de fases de un transformador de desfase (110) en donde un ángulo de desfase en un lado secundario es negativo para un ángulo de desfase en un lado primario ( $Y / Z - 2$ ), cuando el lado primario del transformador de desfase (110) se forma en un devanado en Y de  $N_1$  espiras, un lado secundario se forma en un devanado en triángulo ( $\Delta$ ) de devanado  $N_2$ , y un lado terciario se forma en un devanado de  $N_3$ .

45 Tal como se ha hecho notar a partir de lo anterior, un ángulo de desfase del transformador de desfase (110) se determina por medio del número de células de energía unitarias (120), en donde Ax, Bx, Cx de las células de energía unitarias (120) tienen, de forma respectiva, un mismo ángulo de desfase. Una salida del lado secundario del transformador de desfase se corresponde con el número del rectificador de diodos (121) en la célula de energía unitaria (120), y un ángulo de desfase del transformador de desfase (110) se puede determinar por medio de la siguiente ecuación.

50 [Ecuación 1]

$$\alpha_{sec} = \frac{360}{2N_{sec}}$$

55 en donde la unidad de  $\alpha_{sec}$  es [grados], y  $N_{sec}$  es el número de salidas en el lado secundario del transformador de desfase (110), o el número total de células de energía unitarias (120). Por ejemplo,  $N_{sec}$  es 9, y  $\alpha_{sec}$  es 20 en la figura 1. Por lo tanto, todo un ángulo de desfase se puede seleccionar como 0°, 20°, -20° sobre la base de 0°.

Cuando se usan dos células de energía unitarias para cada fase de un motor,  $N_{sec}$  es 6 y  $\alpha_{sec}$  es  $30^\circ$ . En este caso, un ángulo de desfase se puede seleccionar como  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  sobre la base de  $0^\circ$ .

5 El transformador de desfase convencional que se describe de este modo puede emitir tres pares de devanado secundario que tienen un mismo ángulo de desfase, de tal modo que se plantea un problema de THD disminuida en la corriente de fase de entrada en el lado de alimentación cuando el número de células de energía unitarias para cada fase de un motor es menor que tres.

10 Este problema es causado por la incapacidad en cuanto a la selección de un tamaño lo suficientemente pequeño del ángulo de desfase en el transformador de desfase (110), de tal modo que la estructura convencional de un transformador de desfase (110) genera, de forma desventajosa, un problema de satisfacer la regulación de armónicos de THD en una corriente de fase de entrada en el sistema, solo cuando están conectadas más de tres células de energía unitarias para cada fase de un motor.

15 El documento EP 2 575 249 A2 divulga un transformador de desfase en un inversor de media tensión de múltiples niveles cuya estructura está dividida en módulos para proporcionar libertad de disposición y para reducir el volumen y el peso de todo un sistema, y se posibilita un funcionamiento continuo de un motor, incluso si un módulo presenta un fallo.

20 El documento EP 2 587 658 A2 divulga un dispositivo de conversión de energía de múltiples niveles conectado en serie que incluye un transformador de múltiples devanados y una unidad de conversión de energía.

25 El documento US 2010/072824 divulga un sistema que tiene múltiples transformadores modulares que incluyen, cada uno, un devanado primario desfasado que está acoplado con una fuente de alimentación de entrada y unos devanados secundarios desfasados que están acoplados, cada uno, con una célula de energía.

#### Sumario de la divulgación

30 La presente divulgación tiene por objeto la provisión de un método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase para un inversor de media tensión que está configurado para mitigar la THD de la corriente de fase de entrada en un lado primario de un transformador de desfase, incluso cuando el número de células de energía unitarias conectadas con cada fase de un motor de un inversor de media tensión de múltiples niveles es menor que tres.

35 En un aspecto general de la presente divulgación, se proporciona un método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase para un inversor de media tensión, incluyendo el inversor una pluralidad de células de energía unitarias formadas en una primera y una segunda etapas, formada una etapa con células de energía unitarias trifásicas, y la pluralidad de células de energía unitarias conectadas de forma respectiva con un transformador de desfase, comprendiendo el método:

40 seleccionar un ángulo de desfase y un ángulo de fase arbitrarios en relación con una célula de energía unitaria de la primera etapa;  
 determinar un desplazamiento de ángulo de fase teniendo en cuenta el ángulo de desfase y el número de células de energía unitarias conectadas con cada fase de un motor;  
 45 determinar un ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la segunda etapa usando un ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la primera etapa; y  
 ajustar un ángulo de fase cuando el ángulo de fase determinado de la célula de energía unitaria en la segunda etapa supera un ángulo de fase previamente determinado.

50 Preferible pero no necesariamente, el ángulo de fase previamente determinado puede ser de  $30^\circ$  en el máximo.

Preferible pero no necesariamente, el ajuste del ángulo de fase se puede realizar mediante el uso de la siguiente ecuación.

$$X'n = \operatorname{sgn}(Xn) = \frac{6 |Xn| - 360}{6}$$

55 en donde  $X'n$  es un ángulo de fase ajustado de la célula de energía unitaria,  $Xn$  es un ángulo de fase de la célula de energía unitaria ( $n$  es un número entero positivo) y  $\operatorname{sgn}(Xn)$  es una función que determina un signo, en donde, cuando  $Xn$  es positivo,  $\operatorname{sgn}(Xn)$  es '1' y, cuando  $Xn$  es negativo,  $\operatorname{sgn}(Xn)$  es '-1'. Preferible pero no necesariamente, el desplazamiento de ángulo de fase puede ser un valor en el que el ángulo de desfase de las células de energía unitarias en la primera etapa se divide entre el número de células de energía unitarias conectadas con cada fase del motor.

Preferible pero no necesariamente, el ángulo de fase de la pluralidad de células de energía unitarias se puede determinar de forma individual en relación con cada célula de energía unitaria.

5 Preferible pero no necesariamente, el ángulo de fase de las células de energía unitarias en la segunda etapa puede ser un valor en el que el desplazamiento de ángulo de fase se suma al ángulo de fase de las células de energía unitarias en la primera etapa.

10 Preferible pero no necesariamente, la célula de energía unitaria de una etapa terciaria se puede conectar adicionalmente con el transformador de desfase, y el ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la etapa terciaria puede ser un valor en el que el desplazamiento de ángulo de fase se suma dos veces al ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la primera etapa.

#### Efectos ventajosos de la divulgación

15 La presente divulgación tiene un efecto ventajoso ya que se puede mitigar la THD de la corriente de fase de entrada en un lado primario de un transformador de desfase, incluso cuando hay un número menor de células de energía unitarias conectadas con cada fase de un motor en un inversor de media tensión de múltiples niveles.

#### Breve descripción de los dibujos

20 La figura 1 es un diagrama de circuitos que ilustra una configuración de un inversor de media tensión de múltiples niveles convencional.

La figura 2 es una vista esquemática que ilustra una configuración detallada de células de energía unitarias de la figura 1.

25 La figura 3a es una vista estructural que ilustra un transformador de desfase de la figura 1.

La figura 3b es un diagrama de fases que ilustra un transformador de desfase de la figura 1.

La figura 4a es una vista estructural que ilustra un transformador de desfase de la figura 1.

La figura 4b es un diagrama de fases que ilustra un transformador de desfase de la figura 1.

30 La figura 5 es un diagrama de circuitos que ilustra una configuración de un inversor de media tensión de múltiples niveles de acuerdo con la presente divulgación.

Las figuras 6 y 7 son, de forma respectiva, unas vistas esquemáticas que ilustran una configuración detallada de células de energía unitarias de la figura 5.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método para un ángulo de fase de acuerdo con una forma de realización a modo de ejemplo de la presente divulgación.

35 Descripción detallada de la divulgación

40 Diversas formas de realización a modo de ejemplo se describirán más plenamente en lo sucesivo en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas formas de realización a modo de ejemplo. El presente concepto inventivo se puede materializar, no obstante, en muchas formas diferentes y no se debería interpretar como limitado a las formas de realización a modo de ejemplo que se exponen en el presente documento. Más bien, se tiene por objeto que el aspecto descrito abarque todas aquellas alteraciones, modificaciones y variaciones que caigan dentro del alcance y la idea novedosa de la presente divulgación.

45 En lo sucesivo en el presente documento, algunas formas de realización a modo de ejemplo de la presente invención se describirán con detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

50 La figura 5 es un diagrama de circuitos que ilustra una configuración de un inversor de media tensión de múltiples niveles de acuerdo con la presente divulgación, en donde la figura 5 ilustra el inversor formado con células de energía unitarias de dos etapas para cada fase en un motor (30).

Haciendo referencia a la figura 5, el inversor de media tensión de múltiples niveles (10) incluye un transformador de desfase (11) y una pluralidad de células de energía unitarias (12).

55 El inversor de media tensión de múltiples niveles (10) de acuerdo con la presente divulgación suministra una potencia trifásica al motor (30) a partir de una potencia de entrada (20). El motor (30) es un motor trifásico de alta tensión y puede ser un motor de inducción o un motor síncrono, pero no se limita a ello.

60 El transformador de desfase (11) proporciona un aislamiento galvánico entre la potencia de entrada (20) y el inversor de media tensión de múltiples niveles (10), mitiga un armónico de un terminal de entrada, y proporciona una potencia trifásica aproximada a cada célula de energía unitaria (12). Un ángulo de desfase del transformador de desfase (11) se determina por medio del número de células de energía unitarias (12), y los ángulos de desfase del transformador de desfase (11) conectado con cada célula de energía unitaria (12) tienen valores diferentes entre sí.

65 La célula de energía unitaria (12) recibe una potencia a partir del transformador de desfase (11) para emitir una tensión de fase del motor (30), en donde cada célula de energía unitaria (12) está compuesta por tres grupos. Como

en el ejemplo de la figura 5, A1 y A2 están conectadas en serie para sintetizar una tensión de fase 'a' del motor (30), y B1 y B están conectadas en serie para sintetizar la tensión de fase 'b' del motor. Además, C1 y C2 están conectadas en serie para sintetizar la tensión de fase 'c'. Las tensiones de fase 'b' y de fase 'a' sintetizadas están separadas entre sí con una diferencia de fase de 120°, las tensiones de fase 'c' y de fase 'b' sintetizadas también están separadas entre sí con una diferencia de fase de 120°.

Las figuras 6 y 7 son, de forma respectiva, unas vistas esquemáticas que ilustran una configuración detallada de células de energía unitarias de la figura 5, en donde la figura 6 es un ejemplo de una unidad de inversor (63) en una configuración de inversor de puente completo, y la figura 7 es un ejemplo de una unidad de inversor (73) en una configuración de NPC (*Neutral Point Clamped*, Punto Neutro Fijado) monofásica.

Haciendo referencia a las figuras 6 y 7, unos rectificadores (61, 71) rectifican una potencia trifásica que se introduce a partir del transformador de desfase (11), y unos condensadores de terminales de CC (62, 72) alisan la potencia trifásica rectificada. La unidad de inversor de puente completo (63) se puede configurar con una célula de energía unitaria de 5 niveles, y la unidad de inversor de NPC monofásica (73) también se puede configurar con una célula de energía unitaria de 5 niveles. No obstante, debería ser evidente al experto en la materia que la configuración no se limita a la presente divulgación y, por lo tanto, se omite de la misma una explicación detallada.

La determinación del ángulo de fase del transformador de desfase (11) de acuerdo con la presente divulgación se realiza como el método de la presente invención en el momento del diseño. A continuación se describirá, con referencia a los dibujos, la determinación del ángulo de fase en el transformador de desfase.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método para un ángulo de fase de acuerdo con una forma de realización a modo de ejemplo de la presente divulgación.

Haciendo referencia a la figura 8, el método de la presente divulgación es de tal modo que los ángulos de fase de A1, B1 y C1, que son células de energía unitarias (12) de la primera etapa, se seleccionan de forma arbitraria (S1). En este instante, un ángulo de desfase se puede seleccionar como 20°, y los ángulos de fase de A1, B1 y C1 se pueden seleccionar como 0°, 20° y -20°. No obstante, los ángulos de desfase dados solo se proporcionan como ejemplos, y no se limitan a ello, y también se pueden cambiar los órdenes de los ángulos de fase de A1, B1 y C1.

A continuación, se determina el desplazamiento del ángulo de fase (S2). El desplazamiento del ángulo de fase se puede determinar por medio de la siguiente ecuación teniendo en cuenta el número de células de energía unitarias conectadas con cada fase de un motor.

[Ecuación 2]

$$\Delta\alpha_{sec} = \frac{20}{N_{sec\_fase}}$$

en donde  $N_{sec\_fase}$  es el número de células de energía unitarias (12) conectadas para cada fase del motor (30). Haciendo referencia otra vez a la figura 5,  $N_{sec\_fase}$  es 2 y, por lo tanto,  $\Delta\alpha_{sec}$  10°, a partir de lo cual se pueden determinar los ángulos de fase de las células de energía unitarias  $A_n$ ,  $B_n$  y  $C_n$  restantes ( $n$  es un número entero positivo) por medio de las siguientes ecuaciones usando el desplazamiento (S3). Por razones de conveniencia, un ángulo de fase de la célula de energía unitaria  $A_n$  se denomina  $A_n$ , y la misma teoría se puede aplicar a  $B_n$  y  $C_n$ .

[Ecuación 3]

$$A_n = A1 + (n - 1) \Delta\alpha_{sec}$$

$$B_n = B1 + (n - 1) \Delta\alpha_{sec}$$

$$C_n = C1 + (n - 1) \Delta\alpha_{sec}$$

En este instante, cuando cada valor absoluto del ángulo de fase de  $A_n$ ,  $B_n$  y  $C_n$  supera 30°, por ejemplo (S4), por ejemplo, se ajusta el ángulo de fase (S5). Es decir, el ángulo de fase se puede ajustar como la siguiente ecuación.

[Ecuación 4]

$$X'n = \text{sgn}(Xn) = \frac{6 |Xn| - 360}{6}$$

En este instante,  $X$  es uno de A, B y C. Además,  $\text{sgn}(Xn)$  es una función que determina un signo, en donde, cuando  $Xn$  es positivo,  $\text{sgn}(Xn)$  es '1' y, cuando  $Xn$  es negativo,  $\text{sgn}(Xn)$  es '-1' Es decir, cuando un valor absoluto del ángulo de fase de  $A_n$ ,  $B_n$  y  $C_n$  supera 30° en el máximo (S4), se ajusta el ángulo de fase (S5), y el ángulo de fase ajustado

se emite como un ángulo de fase final y, cuando un valor absoluto del ángulo de fase de  $A_n$ ,  $B_n$  y  $C_n$  no supera  $30^\circ$  en el máximo, el ángulo de fase que se determina en S3 se puede emitir como una fase final (S6).

El ángulo de fase que se determina por medio de la presente divulgación en un inversor de media tensión como en la figura 5 puede ser de tal modo que A1 es de  $0^\circ$ , A2  $10^\circ$ , B1 es de  $20^\circ$ , B2 es de  $30^\circ$ , C1 es de  $-20^\circ$  y C2 es de  $-10^\circ$ .

Además, cuando el número de células de energía unitarias conectadas para cada fase es 3 como en la figura 1, A1 puede ser de  $0^\circ$ , A2 puede ser de  $6,7^\circ$ , A3 puede ser de  $13,4^\circ$ , B1 puede ser de  $20^\circ$ , B2 puede ser de  $26,7^\circ$ , B3 puede ser de  $-26,7^\circ$ , C1 puede ser de  $-20^\circ$ , C2 puede ser de  $-13,4^\circ$  y C3 puede ser de  $-6,7^\circ$ .

La THD de una corriente de fase de entrada total se puede mejorar mediante la aplicación del ángulo de fase que se determina por medio del método de acuerdo con la presente divulgación, que se analiza tal como en lo sucesivo: Haciendo referencia otra vez a la figura 1, las tensiones de salida desde el transformador de desfase (110) a las células de energía A1, B1 y C1 (120a, 120d, 120g) tienen las mismas fases, y las tensiones de salida a las células de energía A2, B2 y C2 (120b, 120e, 120h) tienen las mismas fases, y las tensiones de salida a las células de energía A3, B3 y C3 (120c, 120f, 120i) también tienen las mismas fases.

En este caso, la corriente de fase 'a' en el lado primario del transformador de desfase (110) es máxima en el 17º armónico, y las intensidades 'b' y 'c' también tienen el máximo en el 17º armónico. A continuación, se explicará el inversor de media tensión que se aplica con la presente divulgación.

Por ejemplo, la corriente de fase 'a' que fluye en cada una de las células de energía de A1, A2, B1, B2, C1, C1 en la figura 5 se puede definir por medio de las siguientes ecuaciones 5 ~ 10.

[Ecuación 5]

25

[Ecuación 5]

$$i_{aa1} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t)$$

30

[Ecuación 6]

$$i_{aa2} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_1))$$

35

[Ecuación 7]

$$i_{ab1} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}\left(n(\omega t + \delta_2) - \frac{2}{3}\pi\right)$$

[Ecuación 8]

40

$$i_{ab2} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}\left(n(\omega t + \delta_3) - \frac{2}{3}\pi\right)$$

[Ecuación 9]

45

$$i_{ac1} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}\left(n(\omega t + \delta_4) + \frac{2}{3}\pi\right)$$

[Ecuación 10]

$$i_{ac2} = \sum_{n=1,5,7,11,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}\left(n(\omega t + \delta_5) + \frac{2}{3}\pi\right)$$

Si una relación de espiras entre un lado primario y un lado secundario se supone como 1 : m, una intensidad que fluye al lado primario del transformador de desfase (11) se puede definir por medio de las siguientes ecuaciones 11 ~ 16.

5 [Ecuación 11]

$$i_{aa1}' = \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t) \right)$$

[Ecuación 12]

10

$$\begin{aligned} i_{aa2}' &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_1) - \delta_1) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_1) + \delta_1) \right) \\ &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n-1)\delta_1) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n+1)\delta_1) \right) \end{aligned}$$

[Ecuación 13]

15

$$\begin{aligned} i_{ab1}' &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_2) - \delta_2) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_2) + \delta_2) \right) \\ &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n-1)\delta_2) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n+1)\delta_2) \right) \end{aligned}$$

[Ecuación 14]

20

$$\begin{aligned} i_{ab2}' &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_3) - \delta_3) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_3) + \delta_3) \right) \\ &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n-1)\delta_3) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n+1)\delta_3) \right) \end{aligned}$$

[Ecuación 15]

25

$$\begin{aligned} i_{ac1}' &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_4) - \delta_4) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_4) + \delta_4) \right) \\ &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n-1)\delta_4) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n+1)\delta_4) \right) \end{aligned}$$

[Ecuación 16]

$$\begin{aligned} i_{ac2}' &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_5) - \delta_5) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n(\omega t + \delta_5) + \delta_5) \right) \\ &= \frac{1}{m} \left( \sum_{n=1,7,13\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n-1)\delta_5) + \sum_{n=5,11,17\dots}^{\infty} I_n \text{sen}(n\omega t + (n+1)\delta_5) \right) \end{aligned}$$

Con lo que la corriente 'a' se puede definir por medio de la siguiente ecuación 17, en donde el 35° armónico es el máximo excepto por la onda fundamental.

[Ecuación 17]

5

$$i_a = i_{aa1}' + i_{aa2}' + i_{aa1}'' + i_{ab1}' + i_{ab2}' + i_{ac1}' + i_{ac2}'$$

10

En general, a medida que aumenta el orden de los armónicos, disminuye el tamaño de los armónicos, de tal modo que, a pesar de que el 17° armónico es el armónico más grande en el inversor convencional, el 35° armónico es el máximo en la presente divulgación, con lo que se puede hacer notar que se mejora la THD.

15

Tal como resulta evidente a partir de lo anterior, la THD de una corriente de fase de entrada se puede mitigar de acuerdo con la presente divulgación, debido a que un ángulo de fase de un transformador de desfase en un inversor de media tensión se diseña teniendo en cuenta el número total de células de energía unitarias.

20

A pesar de que la presente divulgación se ha descrito con detalle con referencia a las formas de realización y ventajas anteriores, muchas alternativas, modificaciones y variaciones serán evidentes a los expertos en la materia dentro de los límites de las reivindicaciones. Por lo tanto, se debería entender que las formas de realización que se han descrito en lo que antecede no están limitadas por ninguno de los detalles de la descripción anterior, a menos que se especifique lo contrario, sino que más bien se deberían interpretar en un sentido general dentro del alcance según se define en las reivindicaciones adjuntas.



**REIVINDICACIONES**

5 1. Un método de determinación de ángulo de fase en un transformador de desfase (11) para un inversor de media tensión, incluyendo el inversor una pluralidad de células de energía unitarias (12) formadas en una primera y una segunda etapas, formada una etapa con células de energía unitarias trifásicas, y la pluralidad de células de energía unitarias (12) conectadas de forma respectiva con el transformador de desfase (11), caracterizado el método por:

10 seleccionar un ángulo de desfase y un ángulo de fase arbitrarios en relación con una célula de energía unitaria de la primera etapa (S1);  
 10 determinar un desplazamiento de ángulo de fase teniendo en cuenta el ángulo de desfase y el número de células de energía unitarias (12) conectadas con cada fase de un motor (S2);  
 determinar un ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la segunda etapa usando un ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la primera etapa (S3); y  
 15 ajustar un ángulo de fase cuando el ángulo de fase determinado de la célula de energía unitaria en la segunda etapa supera un ángulo de fase previamente determinado (S4, S5).

2. El método de la reivindicación 1, en donde el ángulo de fase previamente determinado es de 30° en el máximo.

20 3. El método de la reivindicación 1, en donde el ajuste del ángulo de fase se realiza mediante el uso de la siguiente ecuación,

$$X'n = \text{sgn}(Xn) = \frac{6 |Xn| - 360}{6},$$

25 en donde X'n es un ángulo de fase ajustado de la célula de energía unitaria, Xn es un ángulo de fase de la célula de energía unitaria (n es un número entero positivo) y sgn(Xn) es una función que determina un signo, en donde, cuando Xn es positivo, sgn(Xn) es '1' y, cuando Xn es negativo, sgn(Xn) es '-1'.

30 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el desplazamiento de ángulo de fase es un valor en el que el ángulo de desfase de las células de energía unitarias en la primera etapa se divide entre el número de células de energía unitarias conectadas con cada fase del motor.

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el ángulo de fase de la pluralidad de células de energía unitarias (12) se determina de forma individual en relación con cada célula de energía unitaria.

35 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el ángulo de fase de las células de energía unitarias en la segunda etapa es un valor en el que el desplazamiento de ángulo de fase se suma al ángulo de fase de las células de energía unitarias en la primera etapa.

40 7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la célula de energía unitaria de una etapa terciaria está conectada adicionalmente con el transformador de desfase (11), y el ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la etapa terciaria es un valor en el que el desplazamiento de ángulo de fase se suma dos veces al ángulo de fase de la célula de energía unitaria en la primera etapa.

FIG. 1

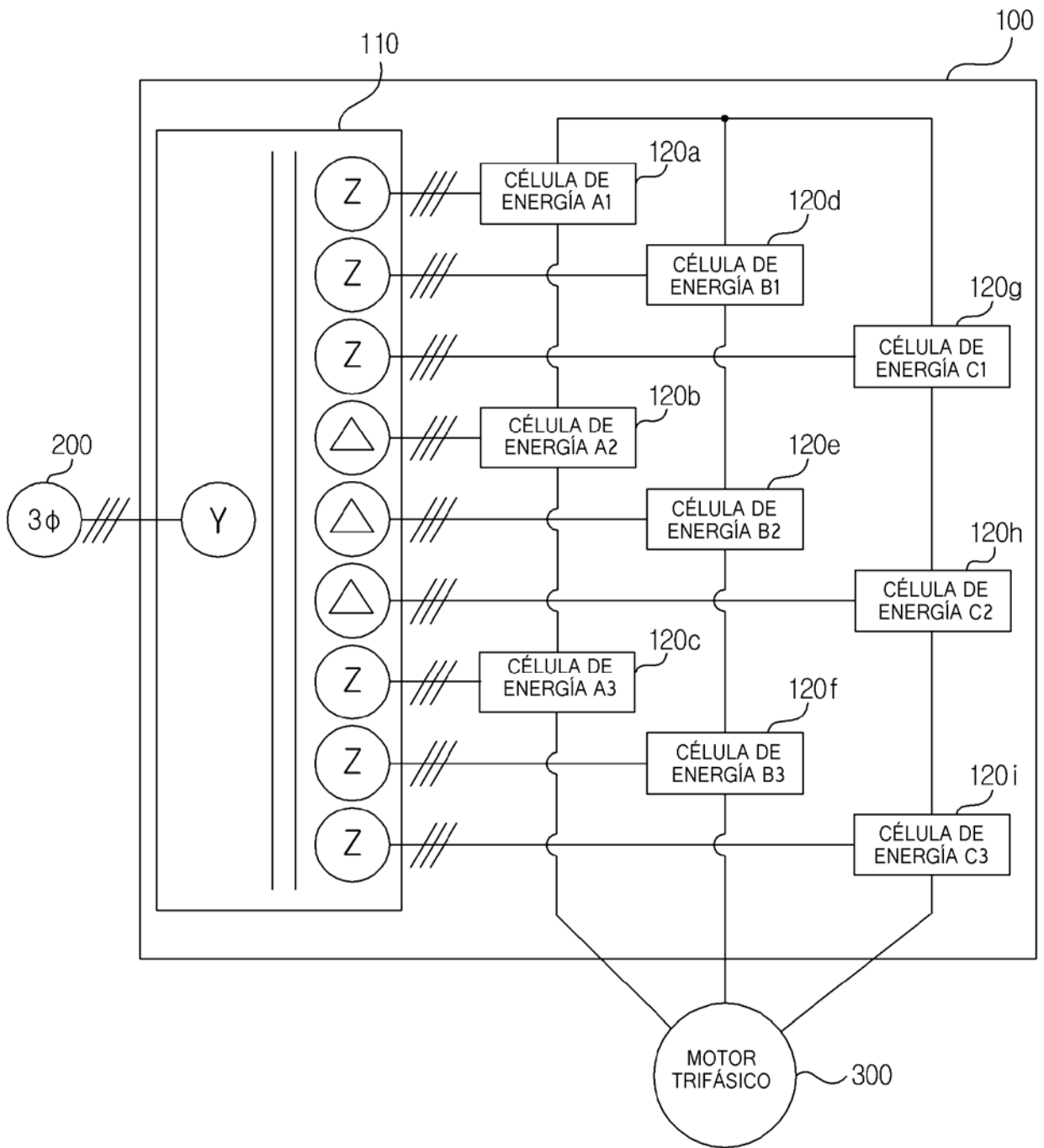


FIG. 2

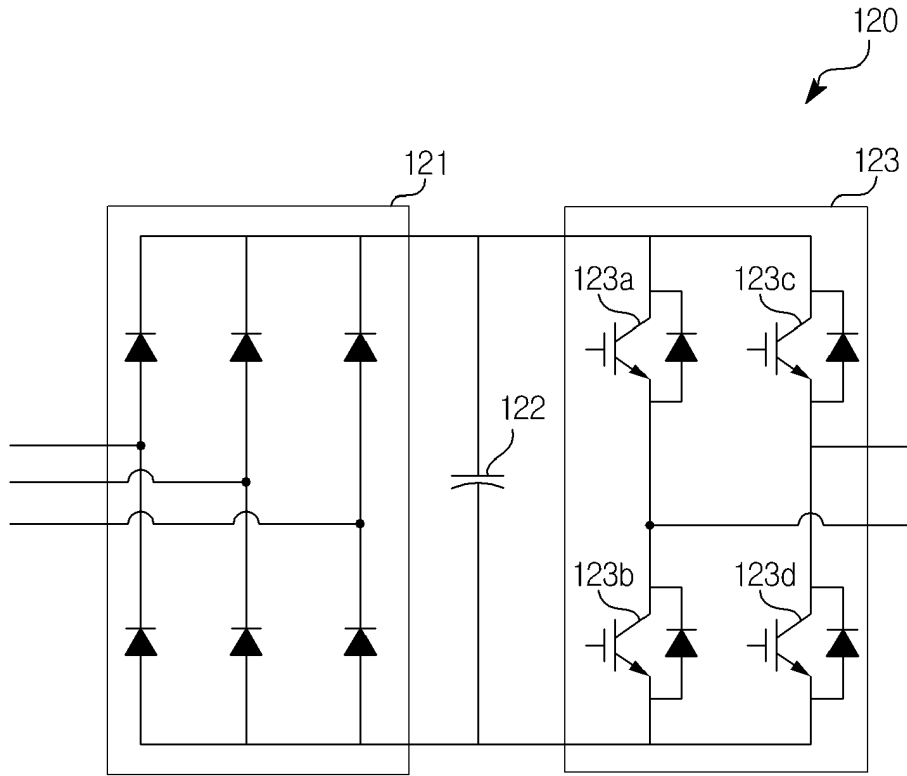


FIG. 3a

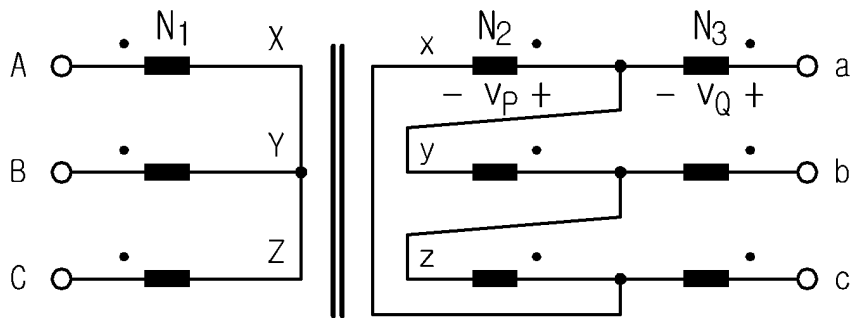


FIG. 3b

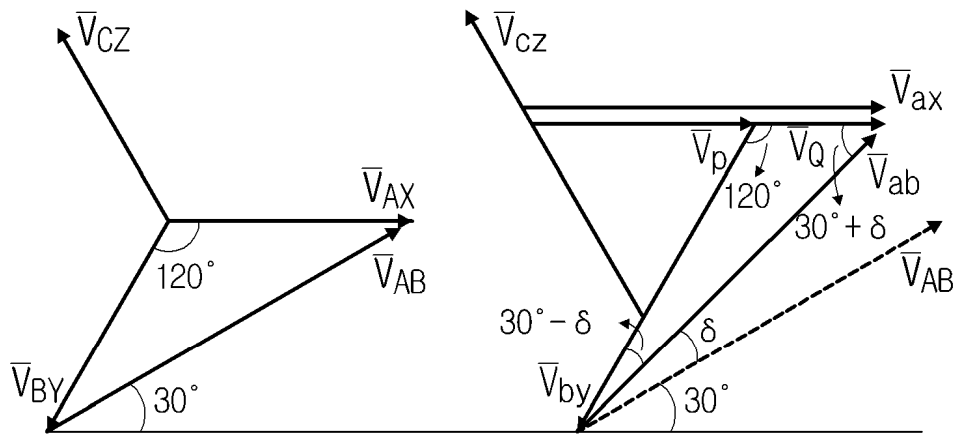


FIG. 4a

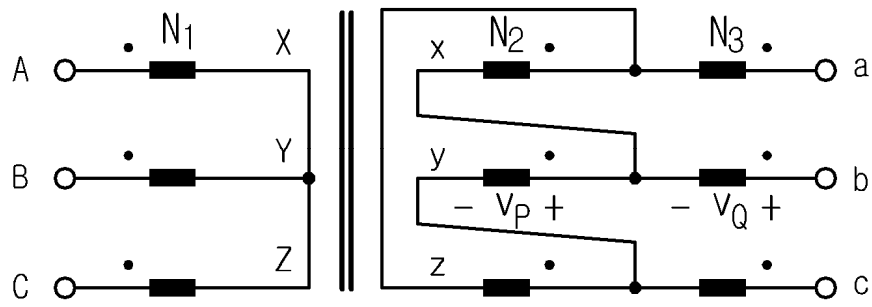


FIG. 4b

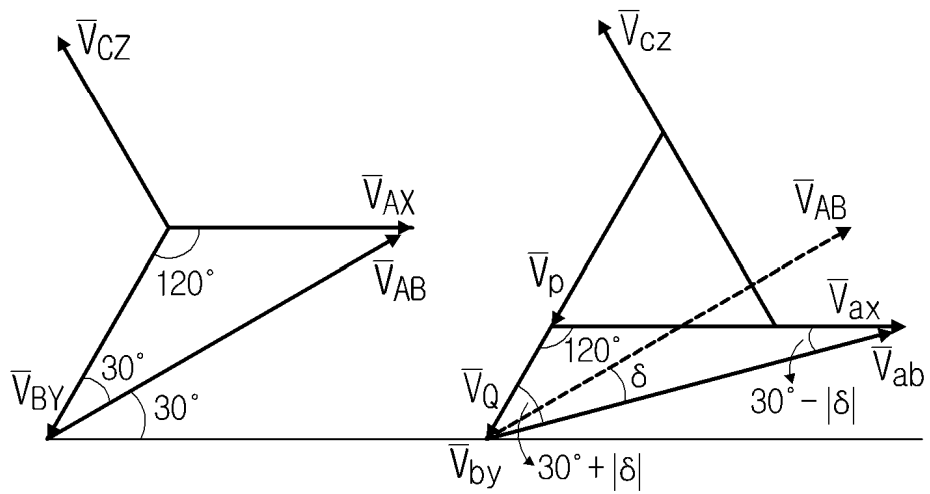


FIG. 15

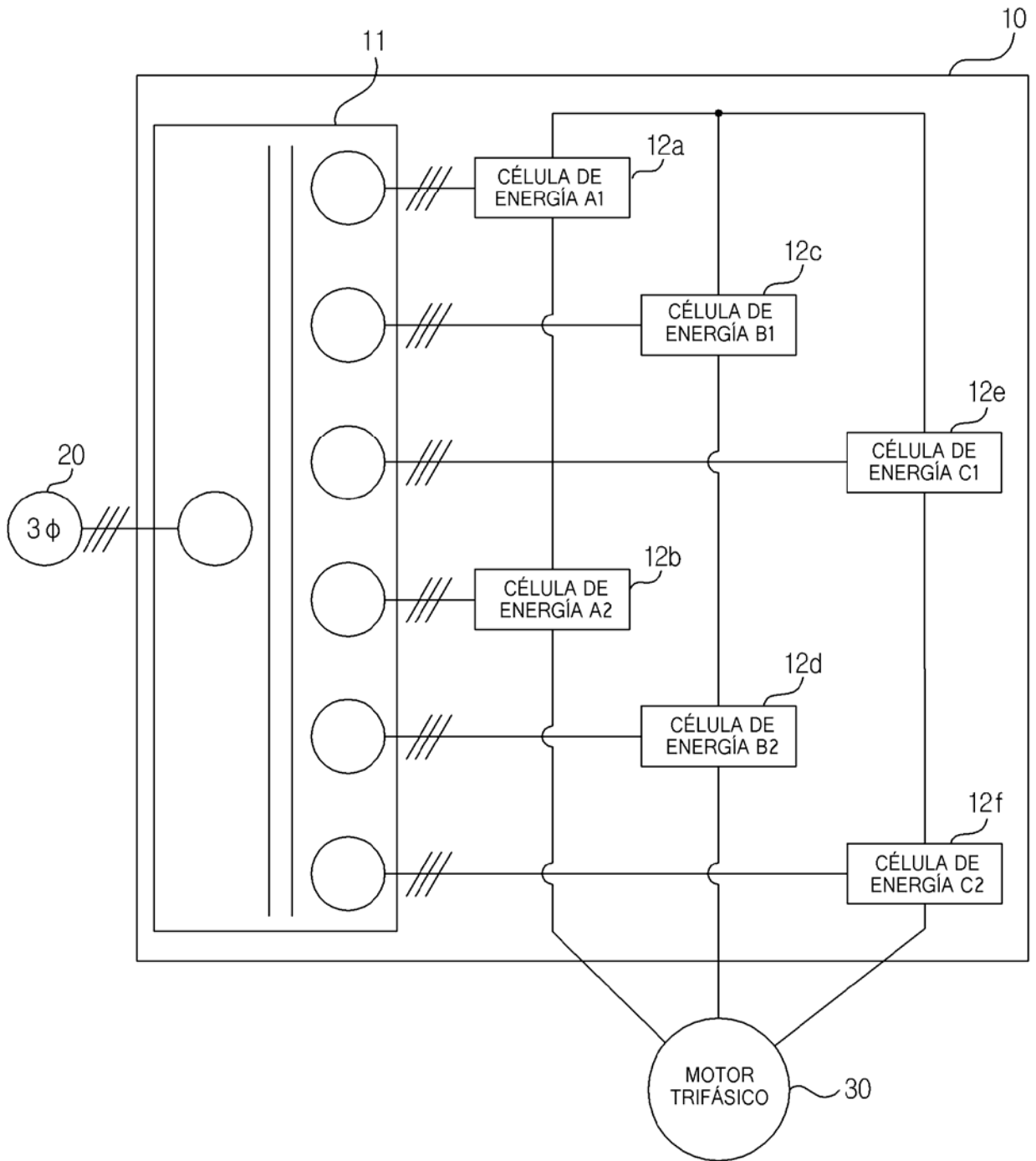


FIG. 6

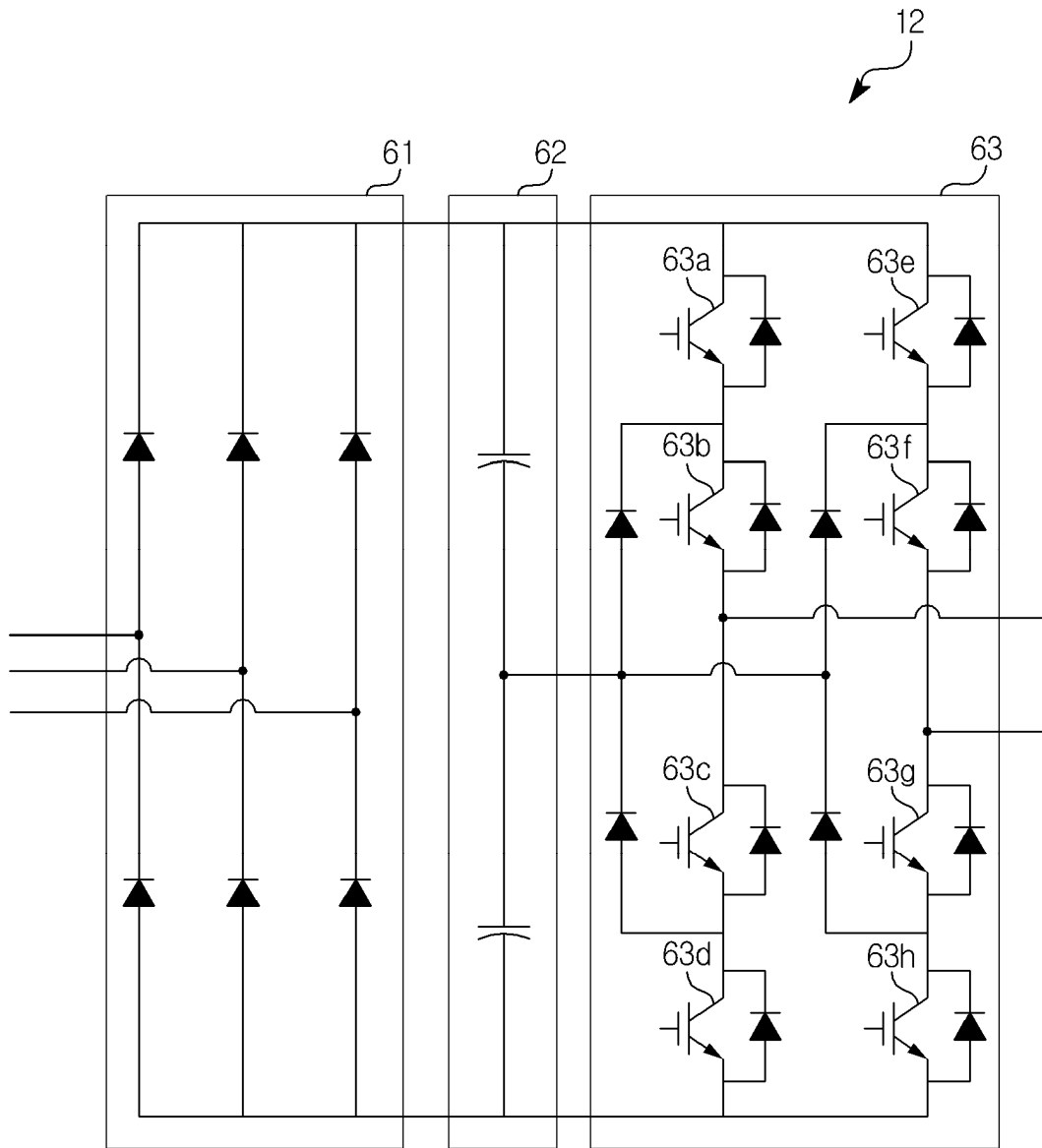


FIG. 7

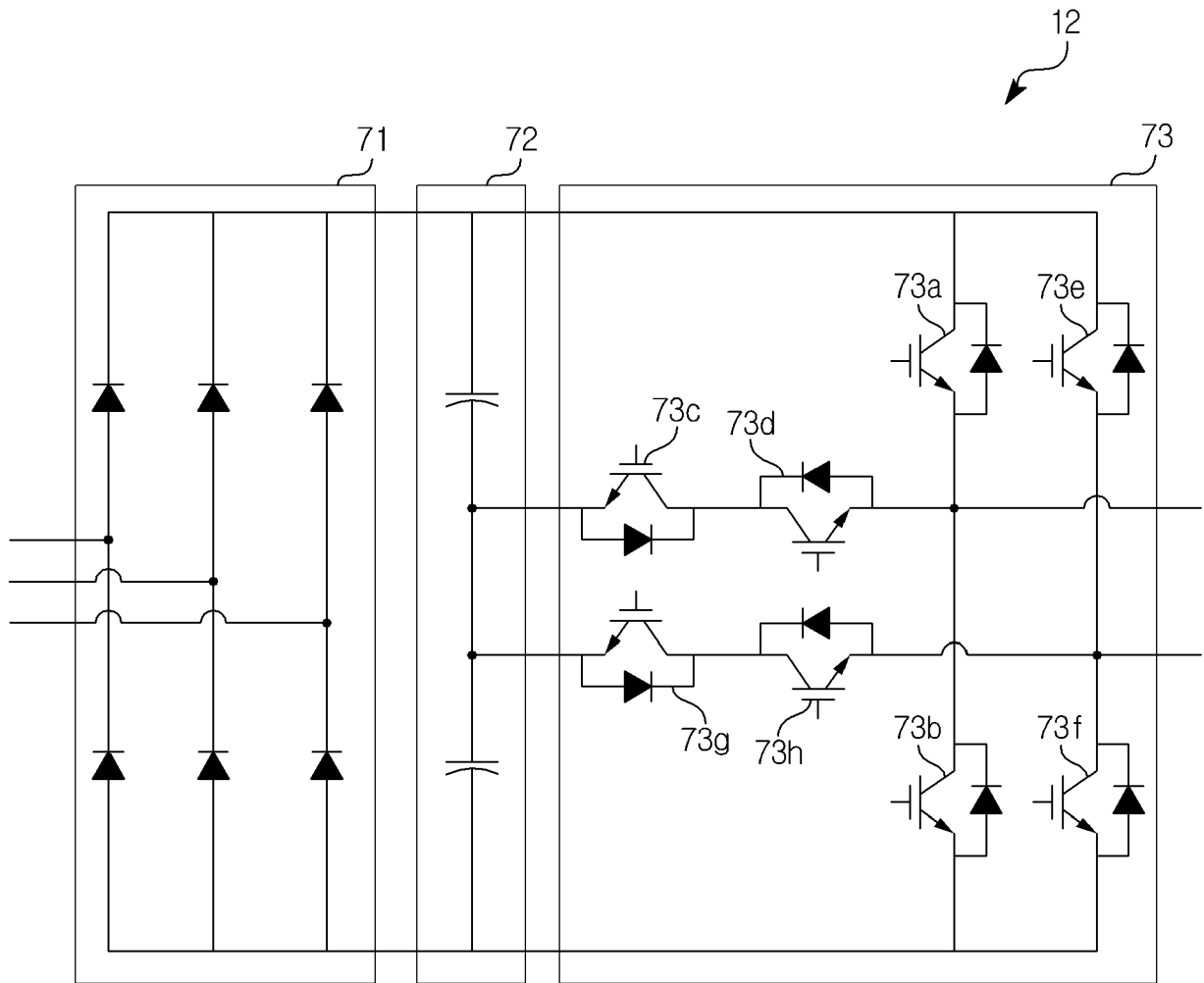


FIG. 8

