

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 679 273**

51 Int. Cl.:

H02M 7/48

(2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2011** **E 11155679 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018** **EP 2378654**

54 Título: **Control de inversor**

30 Prioridad:

25.02.2010 DE 102010009266

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

23.08.2018

73 Titular/es:

**KOSTAL INDUSTRIE ELEKTRIK GMBH (100.0%)
An der Bellmerlei 10
58513 Lüdenscheid, DE**

72 Inventor/es:

BARTLING, RALF, DR.

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 679 273 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

Control de inversor

- 5 La invención se refiere a un inversor, que presenta al menos una entrada de tensión continua para al menos una fuente de tensión continua, y que presenta una conexión de puente trifásica, cuyos conductores de fase en el lado de salida pueden conectarse con una red de tensión alterna trifásica, no estableciendo el inversor ninguna conexión con el conductor neutro de la red de tensión alterna, estando conectado con los conductores de fase en cada caso un condensador, y presentando los condensadores un punto de enlace común.
- 10 Un inversor se describe en la solicitud de patente europea EP 2 107 672 A1. Este documento explica en particular que un inversor sin conexión a un conductor neutro puede funcionar con una tensión de circuito intermedio baja, por lo que la carga de tensión de los semiconductores de potencia puede reducirse y su rendimiento puede aumentarse.
- 15 Tales inversores se emplean para alimentar por ejemplo energía eléctrica generada mediante una instalación fotovoltaica o un aerogenerador a la red pública de un proveedor de energía. Un inversor de tipo genérico genera una tensión alterna trifásica sin una conexión al conductor neutro (conductor N) de la red. Para el control óptimo del inversor sin embargo es necesario determinar las tensiones de los tres conductores de fase con respecto al potencial del conductor neutro.
- 20 El conductor protector presente necesariamente (conductor PE, "*protective earth*") si bien presenta fundamentalmente el mismo potencial que el conductor neutro. Sin embargo, con respecto al conductor protector por motivos de seguridad eléctrica no debe conectarse ninguna instancia de medición, que esté conectada galvánicamente con los potenciales de inversor.
- 25 Se impone el objetivo de configurar un inversor, que no presente ninguna conexión directa con el conductor neutro de una red de tensión trifásica, de modo que el inversor pueda registrar las tensiones de sus conductores de fase con respecto al potencial del conductor neutro.
- 30 Este objetivo se resuelve según la invención por que el inversor presenta un microcontrolador que registra las tensiones de los conductores de fase con respecto a un potencial de referencia interno, por que el microcontrolador registra la tensión en el punto de enlace de los condensadores con respecto al potencial de referencia interno mediante una medición de tensión o calcula a partir de los valores de tensión registrados, y por que el microcontrolador a partir de las tensiones registradas calcula las tensiones de los conductores de fase con respecto al potencial del conductor neutro.
- 35 La invención se explica a continuación con más detalle mediante el dibujo. Muestran:
- la figura 1 un esquema de conexiones de un inversor de acuerdo con la invención,
 la figura 2 evoluciones de estas tensiones en la conexión del inversor a una red de tensión alterna simétrica,
 40 la figura 3 dos realizaciones de integradores,
 la figura 4 un diagrama de Bode de los reguladores representados en la figura 3,
 la figura 5 evoluciones de las diversas tensiones en la conexión del inversor a una red de tensión alterna simétrica.
- 45 La figura 1 esboza de modo muy simplificado los componentes con una función esencial de un inversor de acuerdo con la invención WR. El inversor WR presenta una conexión de puente trifásica que se compone de tres derivaciones de puente B1, B2, B3. Los símbolos de conmutador representados aparecen simplificados para semiconductores de potencia controlables, que se controlan a través de una disposición de circuitos no representada en detalle, a la que pertenece un microcontrolador MC. Siempre y cuando el microcontrolador MC mediante
 50 dispositivos de medición tampoco representados, pueda registrar valores de tensión en diferentes puntos de circuito del inversor WR, con respecto a un potencial de referencia BZ. Como potencial de referencia BZ sirve en este caso una línea del circuito intermedio, al que la fuente de tensión continua DC conectada a la entrada de tensión continua del inversor WR alimenta la tensión de circuito intermedio u_{zk} .
- 55 Con las derivaciones de puente B1, B2, B3 está conectado en cada caso una inductancia de transformador L1, L2, L3 cuyas líneas de salida forman los tres conductores de fase P1, P2, P3 del inversor WR que pueden conectarse con las tres fases de una red de tensión alterna WN.
- 60 Un componente del inversor WR adicional es un filtro de red NF, que se compone de una red de varios condensadores. Los condensadores C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} están conectados con en cada caso uno de los conductores de fase P1, P2, P3 y presentan además un punto de enlace común VK. Un condensador C_{γ} adicional une el punto de enlace VK con el conductor protector PE de la red de tensión alterna WN.
- 65 El problema que va a resolverse consistía en que para el control óptimo del inversor WR, el microcontrolador MC debe conocer las tensiones U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} de los conductores de fase P1, P2, P3 con respecto al potencial del conductor neutro de la red de tensión alterna WN. Dado que el conductor neutro no está interconectado con el

inversor WR, sin embargo, su potencial de referencia no está disponible. Si bien el conductor protector PE presenta igualmente el potencial del conductor neutro, sin embargo, por motivos de seguridad eléctrica no debe unirse galvánicamente con dispositivos de medición. Las siguientes reflexiones van a exponer cómo en el caso de la disposición de circuitos representada sin embargo pueden determinarse los valores de tensión u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} .

5 El plano de conexiones mostrado en la figura 1 va a aclarar en primer lugar las relaciones de tensión. Mientras que la red de tensión alterna WN esté cargada simétricamente las tensiones u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} de los conductores de fase P1, P2, P3 con respecto al potencial de conductor neutro pueden determinarse a partir de las condiciones de simetría de la red de tensión alterna (leyes de Kirchhoff de nodos y mallas)

$$10 \quad \sum_{n=1}^3 i_{Ln} = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{n=1}^3 u_{Ln} = 0$$

Dado que el potencial de conductor neutro no está disponible, el microcontrolador MC puede determinar las tensiones de red únicamente con respecto a un potencial de referencia BZ, por lo tanto, pueden registrarse las tensiones u_{L1_WR} , u_{L2_WR} y u_{L3_WR} . La tensión u_{WR_PE} del potencial de referencia BZ al potencial del conductor PE, por los motivos anteriormente mencionados no debe medirse directamente desde el inversor WR. Según la ley de mallas de la figura 1 pueden leerse las siguientes relaciones:

$$15 \quad u_{L1_WR} = u_{L1} - u_{WR_PE} \quad u_{L2_WR} = u_{L2} - u_{WR_PE} \quad u_{L3_WR} = u_{L3} - u_{WR_PE}$$

20 La adición de estas tres ecuaciones lleva a la siguiente expresión.

$$u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR} = \underbrace{u_{L1} + u_{L2} + u_{L3}}_{=0} - u_{WR_PE} - u_{WR_PE} - u_{WR_PE}$$

25 Al suponer una red de tensión alterna simétrica WN la suma de los tres primeros sumandos es igual a cero. A partir de esta ecuación sigue entonces directamente

$$u_{WR_PE} = -\frac{u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR}}{3}$$

30 La tensión u_{WR_PE} del potencial de referencia BZ del inversor con respecto a PE puede determinarse por lo tanto en cada momento como valor promedio de las tres tensiones de fase u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR} con respecto al potencial de referencia BZ.

Dado que puede presuponerse que el potencial del conductor protector PE sea idéntico al potencial del conductor neutro, las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} pueden determinarse mediante un cálculo sencillo:

$$35 \quad u_{L1} = u_{L1_WR} + u_{WR_PE} \quad u_{L2} = u_{L2_WR} + u_{WR_PE} \quad u_{L3} = u_{L3_WR} + u_{WR_PE}$$

40 Como alternativa también el potencial del punto de enlace VK puede contemplarse en el filtro de red. En el caso de una red simétrica la tensión u_{X_PE} es constante igual a cero, es decir, no fluye ninguna corriente de carga a través del condensador C_Y . Esto puede demostrarse fácilmente: considerando que la suma de las corrientes de condensador

$$i_{Cx1} = C_{X1} \frac{d(u_{L1} - u_{X_PE})}{dt} \quad i_{Cx2} = C_{X2} \frac{d(u_{L2} - u_{X_PE})}{dt} \quad i_{Cx3} = C_{X3} \frac{d(u_{L3} - u_{X_PE})}{dt}$$

en el punto de enlace VK es igual a cero

$$45 \quad C_{X1} \frac{d(u_{L1} - u_{X_PE})}{dt} + C_{X2} \frac{d(u_{L2} - u_{X_PE})}{dt} + C_{X3} \frac{d(u_{L3} - u_{X_PE})}{dt} = 0$$

Si se parte además de que las capacidades de los condensadores C_{X1} , C_{X2} , C_{X3} en el filtro de red NF son iguales, entonces mediante una integración sencilla puede aislarse la tensión u_{X_PE} .

$$50 \quad \underbrace{u_{L1} + u_{L2} + u_{L3}}_{=0} - u_{X_PE} - u_{X_PE} - u_{X_PE} = -3u_{X_PE} = 0$$

De esto se deduce que u_{X_PE} también es cero. Debido a la malla

$$u_{X_WR} + u_{WR_PE} = u_{X_PE}$$

5
es

$$u_{WR_PE} = -u_{X_WR}$$

Por lo tanto, las tensiones de red pueden determinarse directamente de nuevo

10

$$u_{L1} = u_{L1_WR} - u_{X_WR} \quad u_{L2} = u_{L2_WR} - u_{X_WR} \quad u_{L3} = u_{L3_WR} - u_{X_WR}$$

Para aclarar las relaciones, la figura 2 muestra una gráfica de simulación en la que están representadas gráficamente las evoluciones de distintas tensiones en una red simétrica. El gráfico 1 superior muestra las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} directamente. Abajo en el gráfico 2 están representadas las tensiones u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR} , tal como se miden mediante un microcontrolador MC con respecto al potencial de referencia BZ. Mediante una determinación del promedio de las tres tensiones u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR} se determina la tensión $u_{X_WR} = 1/3 * (u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR})$ (señalado con flechas). Si se sustrae esta tensión u_{X_WR} de nuevo de las tensiones de red registradas individualmente u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR} (gráfico 3), entonces estas se corresponden de nuevo con los valores originales del gráfico superior 1.

15

20

Más complicada se vuelve la situación cuando las tensiones de red ya no son simétricas, es decir, la suma de los valores instantáneos de las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} no da cero en cada momento. Para las corrientes i_{L1} , i_{L2} , i_{L3} se sigue cumpliendo la condición de simetría, de lo contrario el inversor WR presentaría un contacto a tierra.

25

Mediante la asimetría de las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} entonces también la tensión u_{X_PE} no es igual a cero. Puede determinarse entonces aplicando el principio de superposición:

$$u_{X_PE} = u_{L1} \frac{C_{X1}}{C_{X1} + C_{X2} + C_{X3}} + u_{L2} \frac{C_{X2}}{C_{X1} + C_{X2} + C_{X3}} + u_{L3} \frac{C_{X3}}{C_{X1} + C_{X2} + C_{X3}}$$

30

Cuando todos los condensadores presentan las mismas dimensiones, lo que es habitual en el filtro de red, se simplifica la ecuación de arriba:

$$u_{X_PE} = \frac{1}{3}(u_{L1} + u_{L2} + u_{L3})$$

35

La tensión u_{X_PE} se aplica ahora en el condensador C_Y y provoca una corriente i_{CY} . Dado que con respecto al conductor protector PE no deben conectarse instancias de medición acopladas galvánicamente, la tensión u_{X_PE} se registra ahora por un camino indirecto. Para ello la corriente i_{CY} se registra con un registro de medición adecuado en el lado del condensador opuesto al conductor protector PE. Con la corriente i_{CY} puede determinarse entonces la tensión en el condensador y con ello tensión u_{X_PE} buscada.

40

En general, se cumple:

$$i_{CY} = C_Y \frac{du_{X_PE}}{dt}$$

45

De ello se deduce:

$$u_{X_PE} = \frac{1}{C_Y} \int i_{CY} dt$$

50

Una integración pura de la corriente (figura 3a) lleva a que no desaparezcan y se sumen voltajes de desequilibrio del registro de valores de medición y averías excepcionales. Una forma de integración tal es poco práctica desde el punto de vista técnico. En su lugar en este caso es ventajosa una integración "con un ancho de banda limitado" (figura 3b). En este sentido una parte del valor inicial se devuelve a través de una constante de tiempo T_d a la entrada. El objetivo es que desaparezcan eventos excepcionales con esta constante, mientras que las frecuencias

interesantes desde el punto de vista técnico se integren normalmente. La integración puede realizarse o mediante un elemento de integración discreto o de manera especialmente ventajosa directamente mediante el microcontrolador MC.

- 5 El diagrama de Bode representado en la figura 4 muestra la evaluación de la amplitud y de fase de ambos elementos de transmisión en una integración pura (a) y una integración con un ancho de banda limitado (b) con una constante de tiempo de $T_d = 500\text{ms}$. El diagrama de Bode aclara que en la gama de frecuencia interesante desde el punto de vista técnico alrededor de 50 Hz ambos elementos de transmisión arrojan el mismo resultado. Sin embargo, la ventaja de la integración con un ancho de banda limitado es que los eventos excepcionales y voltajes de desequilibrio del dispositivo de medición desaparecen con la constante de tiempo T_d . Por tanto, las tensiones pueden calcularse como sigue:

$$u_{L1} = u_{L1_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

15

$$u_{L2} = u_{L2_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

20

$$u_{L3} = u_{L3_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

El gráfico de simulación en la figura 5 va a aclarar el modo de acción. El gráfico superior 1 muestra las tres tensiones de red, siendo ahora u_{L1} cero. Por tanto, la red es asimétrica. El gráfico 2 representa las tensiones tal como se miden por el microcontrolador con respecto al potencial de masa del circuito intermedio. El gráfico 3 muestra ahora las tensiones de red u_{L1_WR} , u_{X_WR} , u_{L2_WR} , u_{X_WR} , u_{L3_WR} , u_{X_WR} por el microcontrolador MC calculadas según el algoritmo calculado anteriormente para una red simétrica. No coinciden con las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} reales. La tensión de fase calculada de u_{L1} no se reconoce como cero y las tensiones a u_{L2} y u_{L3} calculadas no coinciden ni en amplitud ni en la posición de fase. La causa para ello es que el potencial del circuito intermedio frente al conductor protector PE presenta ahora una oscilación de tensión en la frecuencia de red.

- 30 Solo mediante la inclusión de la tensión u_{X_PE} , que se ha determinado indirectamente a través de la corriente de condensador de C_Y , el microcontrolador MC puede construir por completo de nuevo las tensiones de red u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} reales. Estas se representan en el gráfico 4.

35 Cuando los condensadores X_{C1} , C_{X2} , C_{X3} en el filtro de red NF presentan las mismas dimensiones, entonces no es necesaria una medición de la tensión u_{X_WR} . Se cumple entonces, como ya se ha deducido, la ecuación para el cálculo de u_{X_PE} :

$$u_{X_PE} = \frac{1}{3}(u_{L1} + u_{L2} + u_{L3})$$

- 40 Del esquema de conexiones de la figura 1 puede leerse además mediante el transcurso de la malla de tensión del lado de entrada:

$$u_{X_PE} = u_{X_WR} + u_{WR_PE}$$

- 45 La suma de todas las tres tensiones medidas por el microcontrolador MC asciende a:

$$u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR} = u_{L1} + u_{L2} + u_{L3} - u_{WR_PE} - u_{WR_PE} - u_{WR_PE}$$

Tras la multiplicación con 1/3 se deduce:

50

$$\frac{1}{3}(u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR}) = \underbrace{\frac{u_{L1} + u_{L2} + u_{L3}}{3}}_{u_{X_PE}} - u_{WR_PE} = u_{X_PE} - u_{WR_PE}$$

Si ahora se sustituye u_{X_PE} con la expresión de la malla del lado de entrada, se llega ahora a la siguiente ecuación:

55

$$\frac{1}{3}(u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR}) = u_{X_PE} - u_{WR_PE} = u_{X_WR} + u_{WR_PE} - u_{WR_PE}$$

$$u_{X_WR} = \frac{1}{3} (u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR}) \quad \text{q. e. d.}$$

5 Con ello se demuestra que también en el caso de una red asimétrica la tensión U_{X_WR} no tiene que medirse directamente. No obstante, la condición es que los condensadores $X C_{x1}$, C_{x2} , C_{x3} en el filtro de red NF presenten valores idénticos. Si este no fuera el caso, debe medirse también la tensión u_{X_WR} por el microcontrolador MC.

Números de referencia

10	B1, B2, B3 BZ C_{x1} , C_{x2} , C_{x3} , C_Y DC L1, L2, L3 MC	derivaciones de puente potencial de referencia condensadores fuente de tensión continua inductancias de transformador microcontrolador
15	NF P1, P2, P3 PE Td VK	filtro de red conductor de fase conductor protector constante de tiempo punto de enlace
20	WN WR	red de tensión alterna inversor
25	i_{CY} i_{L1} , i_{L2} , i_{L3} u_{L1} , u_{L2} , u_{L3}	corriente (corriente de carga del condensador C_Y) corrientes (mediante los conductores de fase P1, P2, P3) tensiones de los conductores de fase P1, P2, P3 con respecto al conductor neutro (tensiones de red)
	u_{L1-WR} , u_{L2-WR} , u_{L3-WR}	tensiones de los conductores de fase P1, P2, P3 con respecto al potencial de referencia BZ
30	u_{X_WR} u_{X_PE} u_{WR_PE} u_{zK}	tensión del punto de enlace VK con respecto al potencial de referencia BZ tensión del punto de enlace VK con respecto al conductor protector PE tensión entre el potencial de referencia BZ y el conductor protector PE tensión de circuito intermedio

REIVINDICACIONES

1. Inversor, que presenta al menos una entrada de tensión continua para al menos una fuente de tensión continua, y que presenta una conexión de puente trifásica, cuyos conductores de fase en el lado de salida pueden conectarse con una red de tensión alterna trifásica, no estableciendo, o presentando el inversor ninguna conexión con el conductor neutro de la red de tensión alterna, estando conectado con los conductores de fase en cada caso un condensador, y presentando los condensadores un punto de enlace común, **caracterizado por que** el inversor (WR) presenta un microcontrolador (MC), que registra las tensiones (u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR}) de los conductores de fase (P1, P2, P3) con respecto a un potencial de referencia interno (BZ) por que el microcontrolador (MC) registra la tensión (u_{X_WR}) en el punto de enlace (VK) de los condensadores (C_{x1} , C_{x2} , C_{x3}) con respecto al potencial de referencia interno (BZ) mediante una medición de tensión o calcula a partir de las tensiones registradas (u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR}) de los conductores de fase con respecto a un potencial de referencia interno y por que el microcontrolador (MC) calcula a partir de las tensiones registradas (u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR} , u_{X_WR}) de los conductores de fase con respecto al potencial de referencia interno las tensiones (u_{L1} , u_{L2} , u_{L3}) de los conductores de fase (P1, P2, P3) con respecto al potencial del conductor neutro.

2. Inversor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los condensadores (C_{x1} , C_{x2} , C_{x3}) presentan las mismas dimensiones y el microcontrolador (MC) calcula la tensión (u_{X_WR}) en el punto de enlace (VK) de los condensadores (C_{x1} , C_{x2} , C_{x3}) con respecto al potencial de referencia interno (BZ) mediante una determinación del promedio

$$u_{X_WR} = \frac{1}{3} (u_{L1_WR} + u_{L2_WR} + u_{L3_WR})$$

a partir de las tensiones registradas (u_{L1_WR} , u_{L2_WR} , u_{L3_WR}) de los conductores de fase (P1, P2, P3) con respecto al potencial de referencia interno (BZ).

3. Inversor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el punto de enlace (VK) está conectado a través de un condensador adicional (C_y) con el conductor protector (PE) de la red de tensión alterna (WN) y por que el microcontrolador (MC) registra la corriente de carga (i_{cy}) de este condensador (C_y).

4. Inversor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el potencial de referencia (BZ) es un potencial del circuito intermedio de inversor.

5. Inversor según la reivindicación 1 o reivindicación 4, **caracterizado por que** los condensadores (C_{x1} , C_{x2} , C_{x3}) interconectados configuran un filtro de red (NF).

6. Inversor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el microcontrolador (MC) en el caso de una red de tensión alterna WN cargada simétricamente calcula las tensiones (u_{L1} , u_{L2} , u_{L3}) de los conductores de fase con respecto al potencial del conductor neutro a través de las siguientes relaciones:

$$u_{L1} = u_{L1_WR} - u_{X_WR}$$

$$u_{L2} = u_{L2_WR} - u_{X_WR}$$

$$u_{L3} = u_{L3_WR} - u_{X_WR}$$

7. Inversor según la reivindicación 3, **caracterizado por que** el microcontrolador (MC) en el caso de una red de tensión alterna WN cargada asimétricamente calcula las tensiones (u_{L1} , u_{L2} , u_{L3}) de los conductores de fase con respecto al potencial del conductor neutro a través de las siguientes relaciones:

$$u_{L1} = u_{L1_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

$$u_{L2} = u_{L2_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

$$u_{L3} = u_{L3_WR} - u_{X_WR} + u_{X_PE}$$

siendo U_{X_PE} la tensión que se aplica en el condensador (C_V), que determina el microcontrolador (MC) mediante una integración de la corriente de carga (i_{CV}) del condensador (C_V).

- 5
8. Inversor según la reivindicación 7, **caracterizado por que** la integración de la corriente de carga (i_{CV}) del condensador (C_V) se realiza con un ancho de banda limitado.
- 10
9. Inversor según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el inversor (WR) es componente de una instalación fotovoltaica.

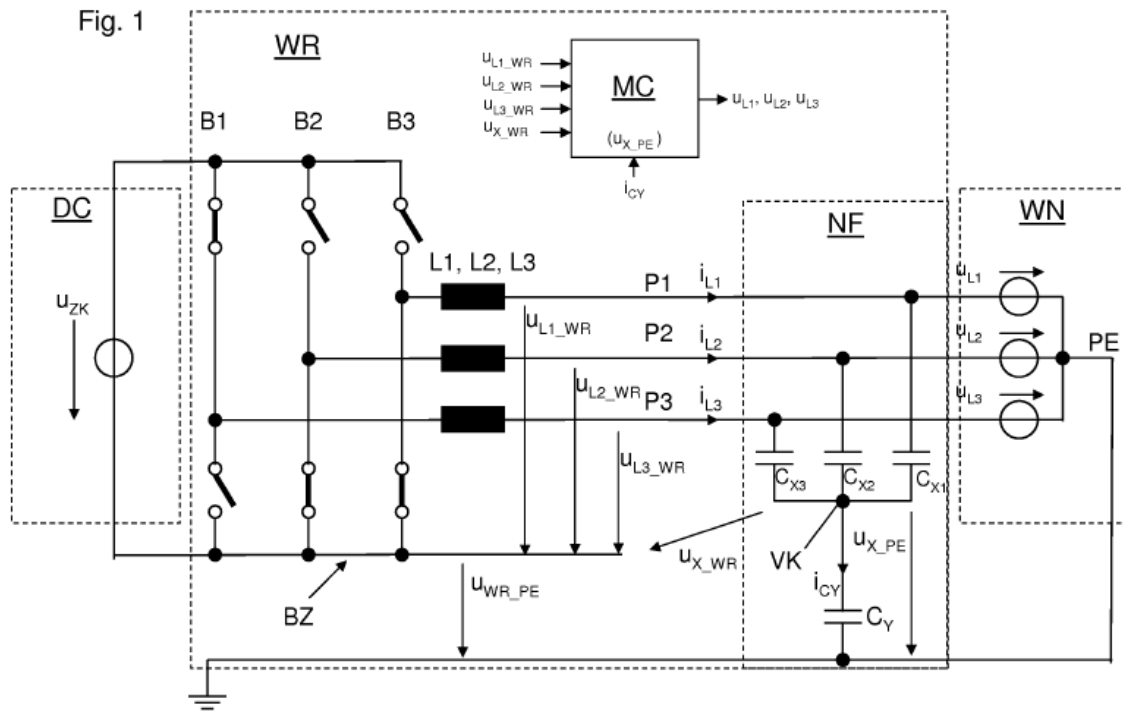


Fig. 2

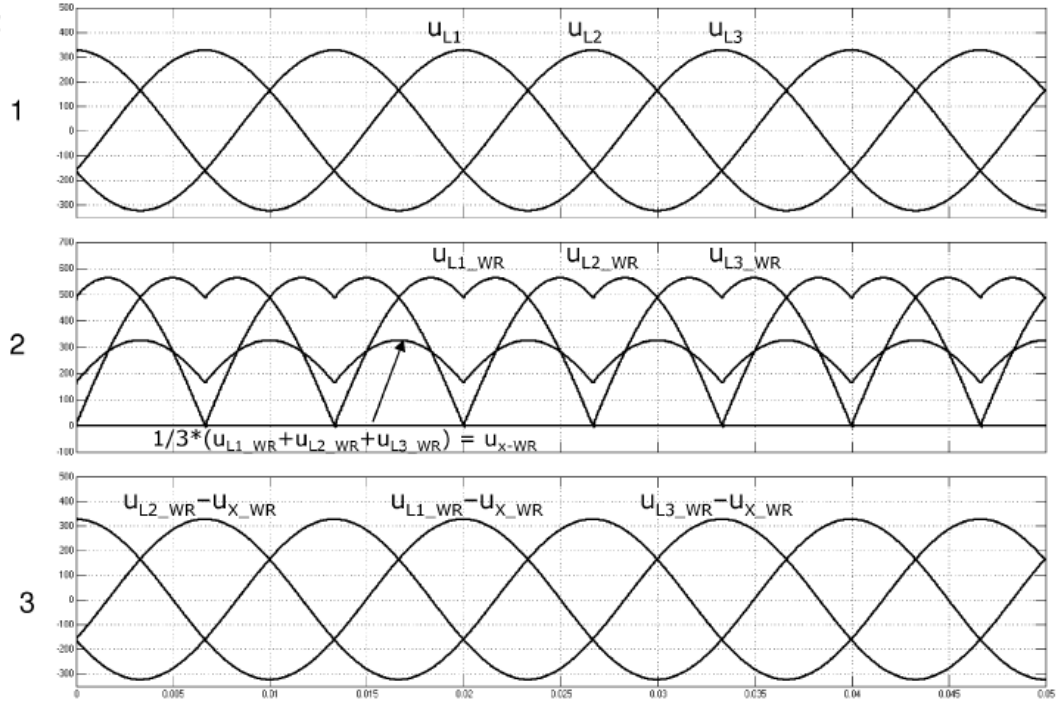


Fig. 3

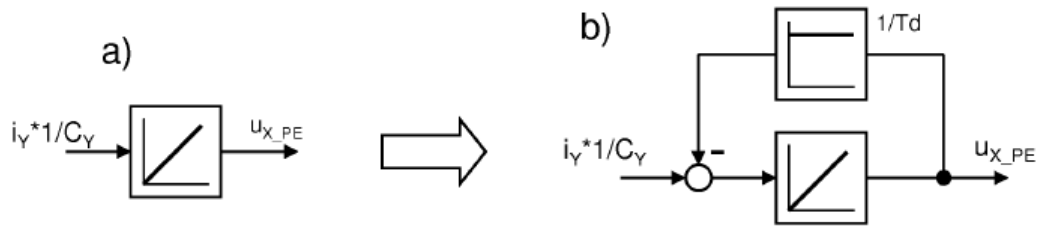


Fig. 4

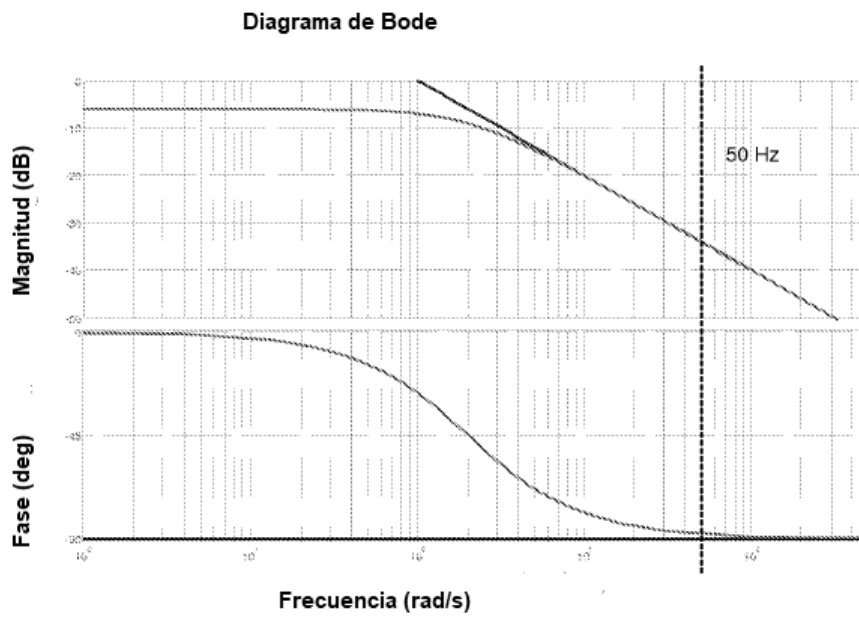


Fig. 5

