

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 595**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

H02P 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2010 E 10382294 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 2453133**

54 Título: **Procedimiento de control de convertidor de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.02.2018

73 Titular/es:

**INGETAM POWER TECHNOLOGY, S.A. (100.0%)
Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 106, 2a
planta
48170 Zamudio (Bizkaia), ES**

72 Inventor/es:

**SOLÉ LÓPEZ, DAVID;
CÁRCAR MAYOR, AINHOA;
ELORRIAGA LLANOS, JOSU y
OLEA OREGI, ENEKO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 654 595 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

Procedimiento de control de convertidor de potencia

Objeto de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de operación de un convertidor de potencia asociado a un generador, y más concretamente a generadores de turbinas eólicas.

Antecedentes de la invención

10 Actualmente, la energía eólica se ha consolidado como la más firme alternativa a las fuentes de energía convencionales. Esta consolidación es debida a una madurez en la tecnología utilizada, lo que ha posibilitado un crecimiento espectacular en el número de aerogeneradores y parques eólicos instalados. Sin embargo, este crecimiento puede verse frenado por problemas de integración en la red eléctrica, debido al alto grado de penetración de la energía eólica en la misma.

15 Uno de los principales problemas que presentan los aerogeneradores está relacionado con su comportamiento ante eventos producidos en la red eléctrica, tales como huecos de tensión. Es por ello que hoy día la mayoría de los países se han visto forzados a regular el comportamiento de los aerogeneradores ante dichos huecos de tensión, cada vez de manera más estricta.

20 Una gran parte de las turbinas eólicas instaladas emplean sistemas doblemente alimentados (DFIG – Doubly Fed Induction Generator) y “full converter” (FC). Ambas tecnologías se basan en un generador eléctrico conectado a la red a través de un convertidor del tipo “back-to-back” o convertidor CA/CC/CA (corriente alterna – corriente continua – corriente alterna). En el caso de los sistemas DFIG, el convertidor está conectado entre el rotor del generador y la red eléctrica, mientras que en el caso de los sistemas FC el convertidor está conectado entre el estator del generador y la red eléctrica.

Dicho convertidor CA/CC/CA comprende básicamente un convertidor del lado del generador y un convertidor del lado de la red, ambos conectados por medio de un bus de CC.

25 Uno de los inconvenientes principales de dichos generadores es su comportamiento ante eventos de red, especialmente ante huecos de tensión. En el caso de los sistemas DFIG, dichos huecos de tensión provocan la aparición de elevadas corrientes transitorias en el convertidor del lado del generador, las cuales pueden ocasionar graves daños en dicho convertidor, llegando incluso a destruirlo. En el caso de los sistemas FC, la aparición de huecos de tensión limita la evacuación de potencia a la red.

30 Una de las soluciones convencionales más utilizadas para hacer frente a este inconveniente es incluir un chopper en el bus de CC. Operar una carga de forma controlada para evacuar potencia de un bus de continua de un convertidor de potencia se lleva haciendo desde hace décadas, por ejemplo en variadores de velocidad. En la figura 1 se representa esta solución que forma parte del estado de la técnica (Fuente: Power electronics: converters, applications, and design, Ned Mohan, Ed. John Wiley & Sons, 1989, Página 421, Figura 14-20 (a)).

35 Un ejemplo de procedimiento de operación de un chopper se describe en la JP7194196. Dicho chopper incluye varias ramas resistivas que se activan y desactivan en función del nivel de tensión en el bus de CC.

Otros ejemplos de funcionamiento de un chopper se encuentran en la patente americana US7015595, que describe un procedimiento y un sistema de operación de un chopper. Asimismo, la solicitud de patente US2009079193A1 describe un procedimiento de control de un chopper con dos ramas.

40 La mayoría de los controles asociados a un chopper implementan un control por histéresis. El control por histéresis es un control sencillo que activa o desactiva el chopper en función de dos niveles preestablecidos de tensión del bus de CC del convertidor de potencia. En el caso de que el convertidor se utilice en una aplicación de conexión a red en la que se exige una respuesta rápida ante transitorios de red, este control no permite unas dinámicas lo suficientemente rápidas, de forma que la tensión de bus puede salirse del rango de condiciones normales de funcionamiento.

45 Otra solución que propone el estado de la técnica, es controlar el chopper mediante una modulación PWM (Pulse-Width Modulation). Mediante esta modulación se consigue tener el nivel de tensión del bus al nivel deseado pero exige un hardware de control más complicado y costoso que la solución que se propone en esta invención.

50 La patente japonesa JP2005-269843 describe un control de conversión de potencia que calcula la potencia eléctrica W_p , en base a una señal de detección de tensión de una parte del convertidor CC/CC obtenida por un circuito de división de la tensión y una señal de detección de corriente obtenida por una resistencia de detección de corriente, y cambia la potencia de salida de un generador, aumentando o reduciendo una tensión objetivo V_s .

Descripción de la invención

La invención se define en las reivindicaciones independientes adjuntas 1 y 9

5 La invención propone un procedimiento de control que resuelve los inconvenientes anteriormente citados proporcionando un sistema de generación eléctrica que optimiza el funcionamiento y el control de generadores eléctricos, preferentemente generadores de turbinas eólicas, ante eventos producidos en la red eléctrica, tales como huecos de tensión o sobretensiones.

10 El procedimiento de la presente invención está destinado a controlar un chopper ubicado en el bus de CC del convertidor de potencia. Para ello, no sólo se vigila la tensión del bus de CC (como en los controles por histéresis del estado de la técnica) sino también la corriente entrante al bus de CC desde el generador o desde la red. De este modo, se dota al sistema de una mayor observabilidad que permite anticiparse a la brusca variación de la tensión del bus de CC en caso de que se produzca un transitorio en la red o en el generador.

Como consecuencia, se consigue reducir el tiempo de respuesta del control del chopper, lo que permite mantener la tensión del bus de CC dentro del rango de operación normal en todo momento, evitando la parada o desconexión del sistema.

15 Por ejemplo, ante un hueco de tensión en la red, en un sistema tipo DFIG se produce un transitorio de corriente en el rotor del generador que a su vez genera una sobretensión de bus. El hecho de vigilar la corriente entrante al bus de CC desde el generador, permite predecir la variación que va a sufrir la tensión del bus de CC de forma que el chopper se activa sin esperar a que la tensión del bus de CC supere un umbral determinado. De igual manera, si la corriente entrante al bus de CC decrece, el procedimiento de control permite desactivar el chopper sin esperar a que la tensión del bus de CC sea inferior a un umbral determinado.

20 Con este procedimiento, se consigue un comportamiento similar al de otros sistemas que presentan un hardware de control más complejo, y que emplean procedimientos de control basados en técnicas de modulación PWM.

El procedimiento de control del sistema chopper comprende las siguientes etapas:

- detectar que el nivel de tensión del bus de CC supera el límite máximo establecido de funcionamiento en condiciones normales,
- 25 – habilitar permiso de activación del chopper,
- activación de los diferentes estados de funcionamiento del chopper en función del nivel de tensión del bus de CC y de la corriente entrante al bus de CC desde el generador o desde la red,
- detectar que el nivel de tensión del bus de CC está dentro del rango de funcionamiento normal,
- habilitar permiso de desactivación del chopper,
- 30 – desactivación de los diferentes estados de funcionamiento del chopper en función del nivel de tensión del bus de CC y de la corriente entrante al bus de CC desde el generador o desde la red.

La corriente entrante al bus de CC desde el generador o desde la red se obtiene a partir de alguno de los siguientes valores:

- la corriente medida en el generador,
- 35 - la corriente medida en el convertidor lado red,
- la corriente medida en el convertidor lado generador, y
- la corriente medida en el bus de CC.

Se entiende por condiciones normales aquellas en las que la tensión del bus de CC toma valores dentro del rango de funcionamiento establecido por el controlador general del convertidor de potencia.

40 En una realización preferente de la invención, el chopper comprende varias ramas. En base al nivel de corriente medido, se determina si la desactivación de al menos una de las ramas del chopper puede provocar una sobretensión peligrosa para el correcto funcionamiento del bus de CC.

45 Según un ejemplo de la invención, en base al nivel de corriente medido, se determina si la conexión de alguna de las ramas del chopper puede hacer que la tensión de bus de CC decrezca por debajo del umbral mínimo necesario para mantener el control (mínima tensión de operación). La mínima tensión de operación deberá ser tal que se funcione dentro de los límites de seguridad, para lo que deberá tenerse en cuenta tanto la tensión de red, como la impuesta por el generador. Esta tensión, bien sea la de rotor en topologías doblemente alimentadas, bien sea la de estator en topologías full converter, está a su vez impuesta por la velocidad de giro.

En una realización preferida, la determinación de la activación del chopper se realiza en función del nivel de tensión del bus de CC y/o del nivel de corriente entrante al bus de CC.

De acuerdo con otra realización preferente, el control del sistema chopper se realiza a través de un controlador dependiente o independiente del controlador del convertidor de potencia.

5 Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

- 10 Figura 1.- Muestra una representación general del estado de la técnica de un chopper.
- Figura 2.- Muestra un sistema general del estado de la técnica de un chopper con varias ramas.
- Figura 3.- Muestra un diagrama de control según una realización preferida de la invención.
- Figura 4.- Muestra el procedimiento de control de una realización preferida de la invención aplicada a un chopper de "n" ramas.

15 Realización preferente de la invención

Se describe a continuación una realización preferida de la invención teniendo en cuenta las figuras citadas anteriormente.

En la figura 1 se representa un chopper (101) dentro del convertidor de potencia (100), que forma parte del estado de la técnica.

- 20 Por otra parte, en la figura 2 se puede apreciar un sistema de chopper (201) compuesto por varias ramas (1...n). Cada una de las ramas (1...n) comprende a su vez al menos un elemento de conmutación (202) en serie con al menos un elemento resistivo (203). En dicha figura 2 se muestra que el elemento de conmutación (202) es un transistor IGBT con un diodo en antiparalelo. Asimismo, el elemento resistivo (203) puede ser una resistencia, o una resistencia con un diodo en paralelo.

- 25 En la figura 3 se representa el diagrama general de control del chopper (201) según una realización preferida de la invención, que comprende las siguientes etapas a partir de la lectura de la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301):

- si la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) supera el límite máximo ($V_{bus} > V_{busm\acute{a}x}$) establecido de funcionamiento en condiciones normales, se habilita el permiso de activación del chopper (chopper_enable=on) (303) mediante un bloque de histéresis (302),

- 30 – activación de los diferentes estados de funcionamiento (304) (c1...cm) del chopper (201) en función del nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) y de la corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$) desde el generador ($I_{generador}$) o desde la red (I_{red})- Se entiende por estados de funcionamiento (304) (c1...cm) los diferentes niveles de resistencia equivalente ($Req-1...Req_m$) que se pueden conseguir mediante la activación o desactivación (p1...pn) de las diferentes ramas (1...n) del chopper (201). Por ejemplo, cuando el número de ramas es 4 (n=4) se pueden conseguir hasta 16 valores de resistencia equivalente diferentes (m=16), es decir, 16 estados de funcionamiento (304),

- 35 – en función del estado de funcionamiento (304) (c1...cm) obtenido se determinan a partir de la tabla (305) las activaciones o desactivaciones (p1...pn) de las ramas (1...n) del chopper (201) necesarias,

- 40 – si el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) está por debajo del nivel de tensión de bus mínimo ($V_{bus} < V_{busm\acute{i}n}$), se habilita el permiso de desactivación del chopper (201) (chopper_enable=off) (303) mediante el bloque de histéresis (302).

En una realización preferida, la determinación de la activación del chopper (201) se realiza en función del nivel de corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$).

En la presente realización debe entenderse por condiciones normales aquellas en las que la tensión de bus (V_{bus}) está dentro del rango establecido por la tensión de bus mínima ($V_{busm\acute{i}n}$) y la tensión de bus máxima ($V_{busm\acute{a}x}$).

- 45 En la figura 4 se detalla el procedimiento de control de otra realización preferida de la invención. Si el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) supera el límite máximo ($V_{bus} > V_{busm\acute{a}x}$) establecido de funcionamiento en condiciones normales, se habilita el permiso de activación del chopper (chopper_enable=on) (303) mediante un bloque de histéresis (302). Dependiendo del nivel de corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$) medida, se distinguen dos secuencias de control diferentes:

– si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) supera un porcentaje determinado de la corriente nominal, se determina el valor de resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) a conectar en base al nivel de tensión de bus de CC (V_{bus}) (301) alcanzado según la tabla de estados de funcionamiento (304).

5 – si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) está por debajo de un porcentaje determinado de la corriente nominal, se determina el valor de resistencia equivalente ($Req_{-1}...Req_m$) a conectar en base al nivel de tensión de bus (V_{bus}) (301) alcanzado según la tabla de estados de funcionamiento (304), pero se limita el estado a un estado mínimo (401), (en el ejemplo, al estado 5). De esta manera no se conectará una resistencia inferior a un valor de resistencia mínimo (en el ejemplo, 1Ω), que provocaría un consumo de corriente excesivo y una caída de la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) por debajo del rango de funcionamiento normal.

10 Una vez determinado el valor de resistencia equivalente que es necesario conectar, se determina a partir de la tabla (305) la activación o desactivación ($p_1...p_n$) de las diferentes ramas ($1...n$) del chopper (201).

Con el chopper (201) conectado, conforme la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) va decreciendo, se desactivan las ramas ($1...n$) del chopper (201) que corresponda según los estados determinados en la tabla (305). Dependiendo del nivel de corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) medida, se distinguen dos secuencias de control diferentes:

15 - si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) supera un porcentaje determinado de la corriente nominal se obliga a pasar de un estado de resistencia equivalente al siguiente mayor secuencialmente (402). Este aumento de resistencia progresivo evita que un corte repentino de la corriente provoque sobretensiones que pudieran dañar el sistema. No se habilitará el permiso de desconexión cambiando entre estados no consecutivos ($R_{control}$).

20 - si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) está por debajo de un porcentaje determinado de la corriente nominal, o el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) es lo suficientemente bajo (403), el proceso secuencial de desconexión del chopper (201) puede provocar que la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) decrezca por debajo del nivel mínimo permitido dentro del rango de funcionamiento. En este caso, se permitirá el salto de una resistencia equivalente a otra no consecutiva. Se habilitará el permiso de desconexión cambiando entre estados no consecutivos ($R_{control}$).

25 Una vez el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) esté por debajo del nivel de tensión de bus mínimo ($V_{bus} < V_{busmin}$), y todas las ramas ($1...n$) del chopper (201) hayan sido desactivadas, se habilita el permiso de desactivación del chopper (201) ($chopper_enable=off$) (303) mediante un bloque de histéresis (302). En la tabla 1 siguiente se muestran los diferentes estados de funcionamiento (304) en función de los valores de resistencias equivalentes.

Tabla 1

Estado	Req (Ω)	Vbus
1	0,50	$1,125 \leq V$
2	0,57	$1,08 \leq V < 1,125$
3	0,67	$1,07 \leq V < 1,08$
4	0,80	$1,06 \leq V < 1,07$
5	1,00	$1,05 \leq V < 1,06$
6	1,33	$1,04 \leq V < 1,05$
7	2,00	$1,03 \leq V < 1,04$
8	4,00	$1,02 \leq V < 1,01$

30 En el ejemplo se ha considerado un chopper (201) con cuatro ramas (201) con los siguientes valores de resistencias $R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$, $R_3=R_4=4\Omega$. A partir de estos valores de resistencias, se obtienen 8 valores de resistencias equivalentes distintos (R_{eq}):

$$R_{eq} = \frac{1}{\sum_{x=1}^n \frac{1}{R_x}}$$

35 Por otro lado en la tabla 2 mostrada a continuación, se representan las activaciones y desactivaciones (305) de las ramas ($1...n$) de un chopper (201), donde 1 es rama activada y 0 es rama desactivada. En dicha tabla 2 se muestran los diferentes estados obtenidos para cuatro ramas ($n=4$), con los valores de resistencias indicados anteriormente. El estado 9 se corresponde con la desactivación de todas las ramas ($1...n$) del chopper (201).

Tabla 2

R1 (1Ω)	R2 (2Ω)	R3 (4Ω)	R4 (4Ω)	ESTADO
1	1	1	1	1
1	1	1	0	2
1	1	0	1	2
1	1	0	0	3
1	0	1	1	3
1	0	1	0	4
1	0	0	1	4
1	0	0	0	5
0	1	1	1	5
0	1	1	0	6
0	1	0	1	6
0	1	0	0	7
0	0	1	1	7
0	0	1	0	8
0	0	0	1	8
0	0	0	0	9

5 En otra realización preferida, además del nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301), se tendrá en cuenta también la corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$) para determinar la activación del chopper (201). De este modo, se dota al sistema de una mayor observabilidad que permite anticiparse a la brusca variación de la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) en caso de un transitorio en la red o en el generador.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento de control de un convertidor de potencia asociado a un generador, comprendiendo dicho convertidor de potencia un bus de CC, un convertidor del lado del generador y un convertidor del lado de red, estando conectados ambos convertidores por medio del bus de CC, comprendiendo además el convertidor de potencia un chopper (201) en el bus de de CC, incluyendo dicho chopper (201) al menos una rama (1...n), en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas:
- 5
- detectar que la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) supera el umbral que determina la activación del chopper (201),
 - habilitar permiso de activación del chopper (201),
- caracterizado porque** el procedimiento comprende además las etapas de
- 10
- activación de una o más ramas (1...n) del chopper (201) de acuerdo con el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) y de la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) desde el generador o desde la red,
 - detectar que el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) es inferior al umbral que determina la desactivación del chopper (201),
 - habilitar permiso de desactivación del chopper (201),
- 15
- desactivación de la una o más ramas (1...n) del chopper (201) de acuerdo con el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) y de la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) desde el generador o desde la red.
- 2.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) se obtiene a partir de un valor seleccionado entre:
- 20
- la corriente medida en el generador
 - la corriente medida en el convertidor del lado de red,
 - la corriente medida en el convertidor del lado del generador, y
 - la corriente medida en el bus de CC.
- 3.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se activa y desactiva un chopper (201) que comprende varias ramas (1...n).
- 25
- 4.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** los diferentes niveles de resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) se consiguen a partir de la activación o desactivación ($p_1...p_n$) de las ramas (1...n) del chopper (201).
- 5.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) supera un porcentaje determinado de la corriente nominal, se determina el valor de resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) a conectar en base al nivel de tensión del bus (V_{bus}) (301) alcanzado.
- 30
- 6.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) está por debajo de un porcentaje determinado de la corriente nominal, se determina el valor de resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) a conectar en base al nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) alcanzado y se establece un valor de resistencia mínimo.
- 35
- 7.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) supera un porcentaje determinado de la corriente nominal se obliga a pasar de un estado de resistencia equivalente al siguiente mayor estado secuencialmente, para que se almacene el valor de resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) (402).
- 40
- 8.- Procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 4 **caracterizado porque** si la corriente entrante al bus de CC ($I_{in,bus}$) está por debajo de un porcentaje determinado de la corriente nominal, o el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) es lo suficientemente bajo, se permite el salto de una resistencia equivalente ($Req_1...Req_m$) a otra no consecutiva.
- 45
- 9.- Generador de turbina eólica asociado con un convertidor de potencia, en el que el convertidor de potencia comprende: un bus de CC, un convertidor del lado del generador y un convertidor del lado de red, estando conectados ambos convertidores por medio del bus de CC, comprendiendo además el convertidor de potencia un chopper (201) en el bus de de CC, incluyendo dicho chopper (201) al menos una rama (1...n), y medios de control para el control de la operación del convertidor de potencia, estando adaptados dichos medios de control para:
- detectar que la tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) supera un umbral que determina la activación del chopper (201),

– habilitar permiso de activación del chopper (201),

caracterizado porque los medios de control están adicionalmente adaptados para:

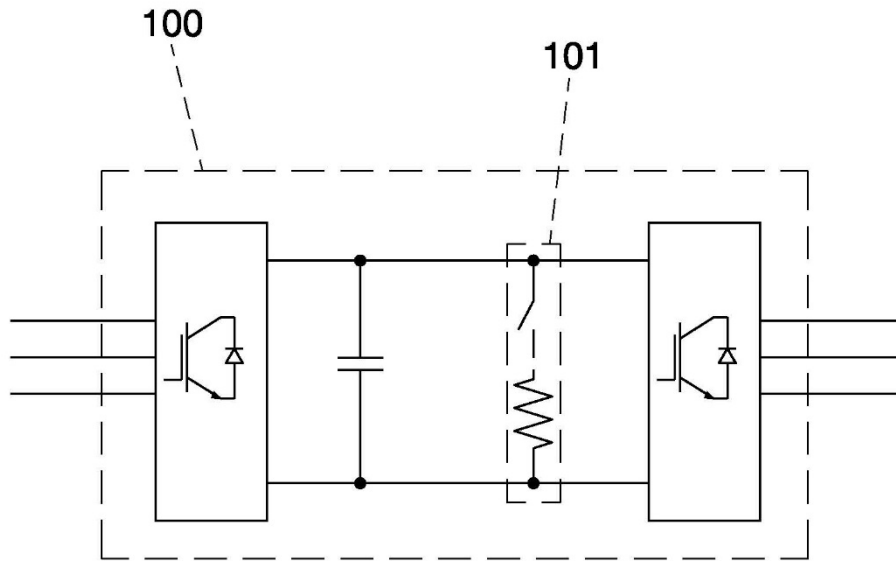
– activar una o más ramas (1...n) del chopper (201) de acuerdo con el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) y de la corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$) desde el generador o desde la red,

5 – detectar que el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) es inferior al umbral que determina la desactivación del chopper (201),

– habilitar permiso de desactivación del chopper (201),

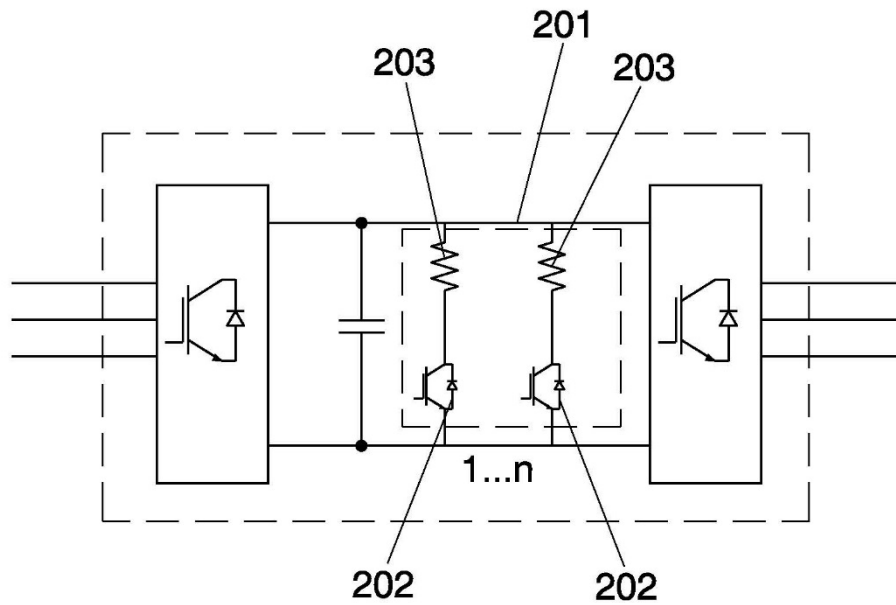
– desactivar la una o más ramas (1...n) del chopper (201) de acuerdo con el nivel de tensión del bus de CC (V_{bus}) (301) y de la corriente entrante al bus de CC ($I_{in, bus}$) desde el generador o desde la red.

10



ESTADO DE LA TÉCNICA

FIG. 1



ESTADO DE LA TÉCNICA

FIG. 2

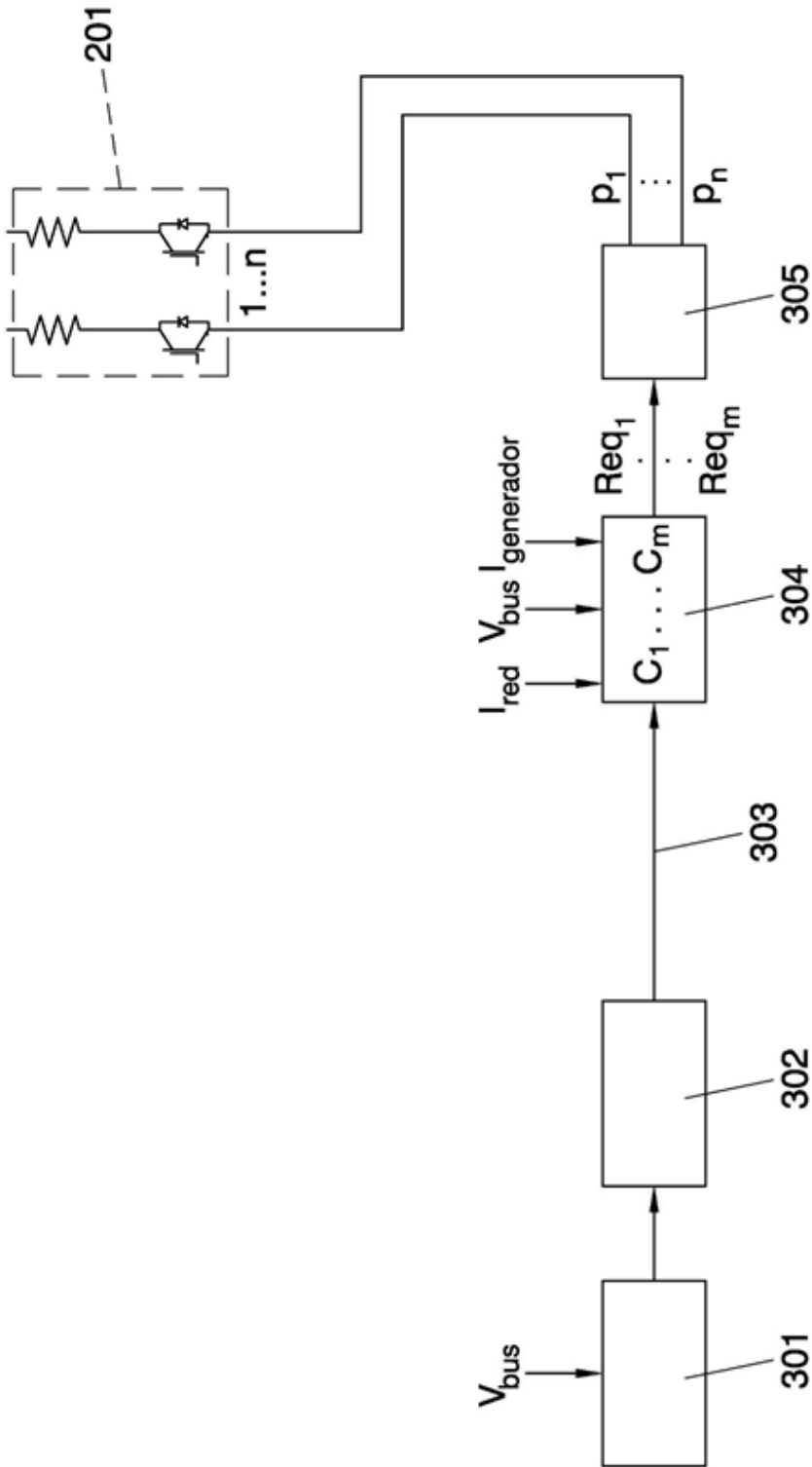


FIG. 3

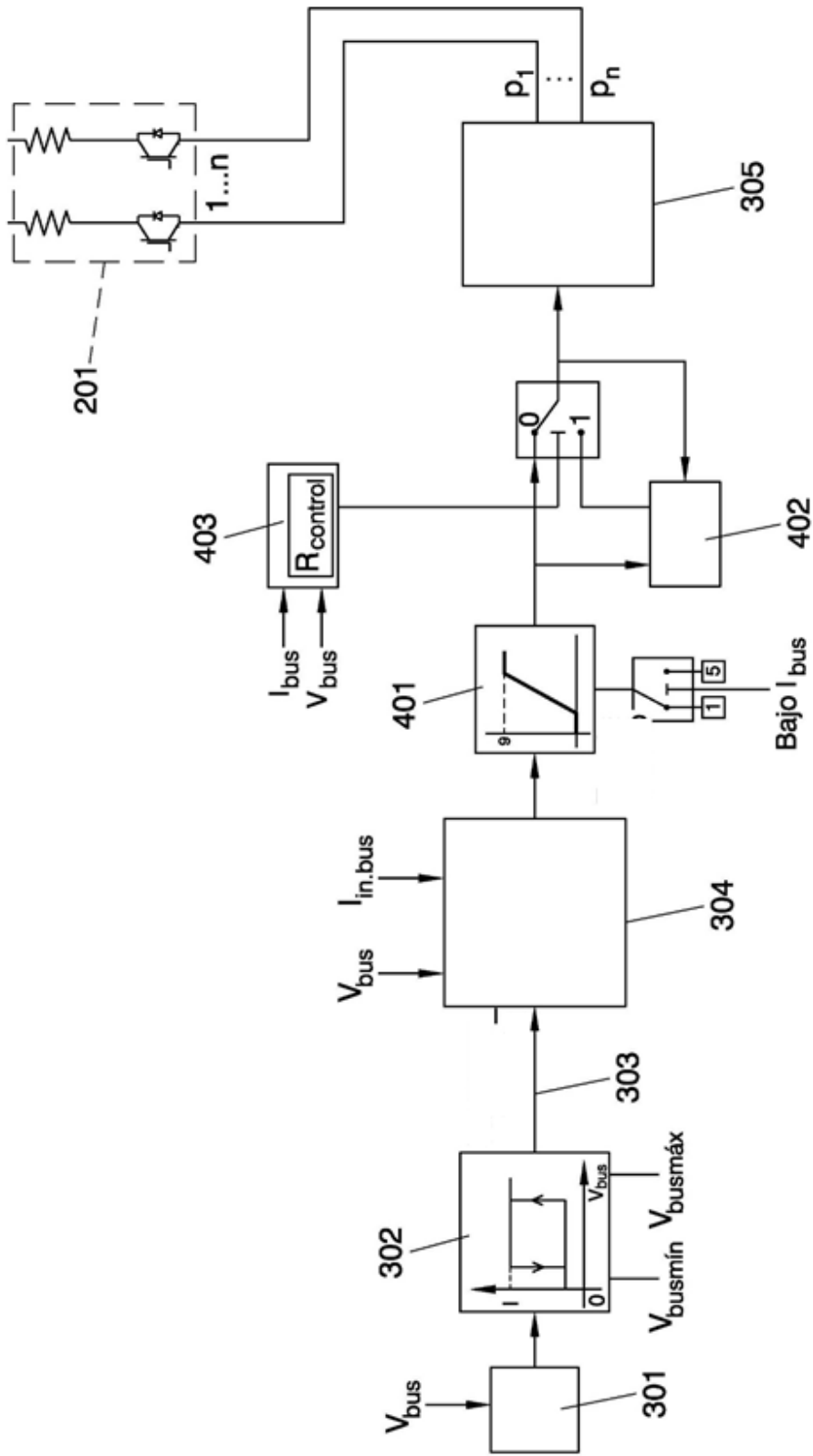


FIG. 4