

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 469 594**

51 Int. Cl.:

H02M 7/48 (2007.01)

H02M 7/5395 (2006.01)

H02M 7/538 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2008 E 08787613 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.05.2014 EP 2320552**

54 Título: **Método de control para un aparato que convierte corriente continua en corriente alterna**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.06.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

COLOMA CALAHORRA, JAVIER;
GONZÁLEZ SENOSIAN, ROBERTO;
ANCIN JIMÉNEZ, FRANCISCO JAVIER y
MARROYO PALOMO, LUIS

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 469 594 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 control para un aparato que convierte corriente continua en corriente alterna

5 Objeto de la invención

La invención proporciona un método de control aplicable a estructuras de conversión dc/ac (corriente continua / corriente alterna), especialmente diseñado para sistemas fotovoltaicos, que tiene por objeto mejorar la eficacia de la estructura de conversión. La invención también puede ser aplicable en otros campos de generación de energía, como la generación de energía mediante células electroquímicas o energía eólica.

Antecedentes de la invención

Los sistemas fotovoltaicos gozan hoy en día de un amplio reconocimiento en nuestra sociedad. Se trata de instalaciones formadas por un conjunto de paneles fotovoltaicos (campo fotovoltaico) y un convertidor electrónico, que acondiciona la energía producida por los paneles para su inyección a la red eléctrica o para alimentación de cargas, según se trate de instalaciones conectadas a la red eléctrica o de sistemas aislados.

Los diferentes paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado y las características particulares de cada instalación hacen que, para una misma potencia, las tensiones del campo fotovoltaico resultante tomen valores muy diferentes. Por ello, resulta interesante el uso de convertidores que presenten un amplio rango de tensión de entrada. Debido al carácter reductor de las estructuras de conversión dc/ac, habitualmente a la entrada de los convertidores fotovoltaicos se incluyen una o varias etapas dc/dc elevadoras. La figura 1 muestra de manera esquemática un convertidor fotovoltaico formado por la unión de una etapa dc/dc y otra dc/ac. Entre ambas etapas, en el denominado bus de continua, se coloca una capacidad (C_{bus}) para estabilizar la tensión de salida de la etapa dc/dc. Dicha tensión se denomina tensión de bus (V_{bus}).

Tanto la etapa dc/dc como la dc/ac se controlan mediante lazos de control cuyo funcionamiento varía según se trate de una instalación aislada o conectada a red:

- En instalaciones de conexión a red, la etapa dc/dc controla la tensión de entrada del convertidor para extraer la máxima potencia del campo fotovoltaico, mientras que la etapa dc/ac regula la tensión de bus por medio del control de la amplitud de la corriente inyectada a la red.
- En instalaciones aisladas la etapa dc/dc regula la tensión de bus y la etapa dc/ac se encarga del control de la tensión de salida proporcionada por el convertidor a las cargas.

En ambos casos, los respectivos lazos de control determinarán las consignas que se introducen en el modulador de cada etapa para establecer los órdenes de encendido y apagado de los diferentes transistores que constituyen la etapa. Los moduladores utilizados suelen ser del tipo PWM (Pulse Width Modulation / Modulación por ancho de pulsos) o vectorial.

El valor de la tensión de bus requerida queda determinado por: el tipo de estructura de conversión dc/ac utilizada, el valor de la tensión de red o tensión senoidal de salida en el caso de sistemas aislados, y la tensión que cae en la inductancia del convertidor. Para un correcto funcionamiento, la tensión mínima aplicada por la etapa dc/ac inversora a su salida ($V_{inv,min}$) debe ser superior a la suma del valor de pico de la tensión de red (o tensión senoidal de salida en sistemas aislados) (\widehat{V}_{red}), y la tensión que cae en la inductancia del convertidor (V_L), tal y como puede verse en la figura 2. La tensión aplicada a la salida de la etapa dc/ac depende de la topología utilizada. Así, por ejemplo, para una etapa dc/ac de puente en H (figura 3), la tensión aplicada por la etapa dc/ac coincide con la tensión de bus. En este caso:

$$V_{busref,min} = V_{inv,min} = \sqrt{\widehat{V}_{red}^2 + V_L^2}$$

De forma genérica la tensión de bus de referencia mínima ($V_{busref,min}$) se puede expresar como:

$$V_{busref,min} = K \cdot \sqrt{\widehat{V}_{red}^2 + V_L^2}$$

donde K es una constante que depende de la topología de conversión utilizada. Así, para etapas dc/ac del tipo puente en H $K=1$ y para etapas dc/ac de la familia del medio puente $K=2$.

En el caso de instalaciones conectadas a red, la variación del valor eficaz de la tensión de red en el tiempo plantea dos opciones a la hora de determinar el valor de referencia de la tensión de bus:

1. Utilizar un valor constante, calculado a partir del valor de pico de la máxima tensión de red admisible ($\widehat{V}_{red,max}$).

$$V_{busref,min} = K \cdot \sqrt{\widehat{V}_{red,max}^2 + V_L^2}$$

5 2. Variar el valor de la referencia de la tensión de bus en función del valor de pico de la tensión de red en cada instante.

$$V_{busref,min} = K \cdot \sqrt{\widehat{V}_{red}^2 + V_L^2}$$

10 En esta última técnica del estado de la técnica, la tensión de bus disminuye cuando se trabaja con tensiones de red bajas, lo que reduce las pérdidas de conmutación de los semiconductores.

15 En el estado de la técnica, el valor de referencia de la tensión de bus se suele incrementar respecto al valor mínimo señalado en los casos anteriores. Así, se permite un margen de maniobra durante posibles transitorios y se mejora al mismo tiempo la calidad de la corriente inyectada a la red. La calidad de la corriente inyectada a la red se evalúa mediante el THD (Distorsión Armónica Total), factor que mide la amplitud de los armónicos frente al armónico fundamental.

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1} \cdot 100$$

20 Según lo anterior, los convertidores del estado de la técnica permiten obtener valores de THD de corriente muy inferiores a los límites marcados por las diferentes normativas. La figura 4 muestra, a modo de ejemplo, la evolución de la corriente en la bobina (L/2) y la tensión de salida de una etapa dc/ac monofásica de puente en H, funcionando según el método del estado de la técnica explicado anteriormente, para una referencia de tensión de bus de un 10 % superior al valor de pico de la tensión de red.

25 Si la tensión de bus es menor que $V_{busref,min}$, el modulador entra en saturación, perdiéndose el control de la corriente en los máximos de la tensión de red, lo que conllevará un aumento en el THD de corriente. Por ello, los convertidores del estado de la técnica evitan esta saturación.

30 Por otra parte, la importancia de maximizar la energía producida por la instalación requiere el uso de elementos de gran eficacia. Para mejorar la eficacia del convertidor, es necesario reducir las pérdidas del mismo. Las pérdidas de un convertidor electrónico pueden agruparse en tres grandes grupos:

1. Pérdidas asociadas a los semiconductores de potencia. Estas pérdidas se dividen a su vez en:

- 35
- Pérdidas de conducción: proporcionales a la corriente y a la tensión de saturación de los semiconductores.
 - Pérdidas de conmutación: proporcionales a la corriente, la tensión que soportan los semiconductores en corte y la frecuencia de conmutación.

40 2. Pérdidas en los componentes inductivos. Son las pérdidas que aparecen en elementos como las bobinas o el transformador de salida del convertidor.

3. Pérdidas asociadas a la electrónica de control. En este grupo se engloban las pérdidas de la fuente de alimentación y pérdidas del sistema de circuitos de control (circuitos integrados, resistencias, microprocesadores, etc).

45 El uso de componentes más eficientes mejora la eficacia del convertidor. Sin embargo, se debe llegar a un compromiso eficacia-precio, que limita la eficacia del convertidor.

50 Las pérdidas asociadas a los semiconductores y a las bobinas, dependen de la topología de conversión utilizada. Una estructura dc/ac comúnmente utilizada en convertidores fotovoltaicos es el puente en H (figura 3) con modulación PWM unipolar, estructura que ha demostrado una buena relación eficacia-complejidad. Sin embargo, con el fin de mejorar las prestaciones del puente en H, se han desarrollado topologías de conversión dc/ac que presentan menores pérdidas, como las descritas en los documentos EP1369985, US2005286281, o WO2008015298A1. Estas topologías mejoran la eficacia de la estructura dc/ac, pero aumentan la complejidad de la estructura de conversión. Se divulga un método para controlar una estructura de conversión para convertir corriente continua en corriente alterna en NISHIDA Y ET AL.: "A NOVEL TYPE OF UTILITY-INTERACTIVE INVERTER FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM". En: "Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. Conference Proceedings. IPEMC 2004. La cuarta Internacional de Xi'an, China, 14-16 de agosto, 2004" 2004, ISBN: 978-7-5605-18 volumen 3, páginas 1785-1790.

Descripción de la invención

La presente invención corresponde a un método de control aplicable a estructuras de conversión dc/ac, especialmente aplicable a convertidores electrónicos para sistemas fotovoltaicos y, más concretamente, a estructuras de conversión formadas por la combinación de una o varias etapas dc/dc con una o varias etapas dc/ac. El método de control propuesto permite reducir las pérdidas de conmutación de los semiconductores, mejorando la eficacia de la estructura de conversión. La invención también puede ser aplicable a otros campos de generación de energía en los que se utilicen estructuras de conversión dc/ac, como la generación de energía mediante células electroquímicas o energía eólica.

La presente invención propone implementar un nuevo método de control en el convertidor electrónico formado por al menos una etapa dc/ac con sus respectivos lazos de control. Dicho método de control comprende las siguientes fases:

- Calcular un valor de referencia de la tensión de entrada de cada etapa dc/ac (también denominada tensión de bus), mediante un regulador para que cada etapa funcione en saturación durante un tiempo controlado.
- Mantener sin conmutar durante el tiempo de saturación los transistores de cada etapa dc/ac.

De esta manera, un nuevo lazo de control regula el valor de referencia de la tensión de bus. Este lazo se encargará de calcular el valor de dicha tensión a partir de la distorsión armónica de corriente preestablecida. Estableciendo un valor de distorsión mayor al obtenido sin que el modulador entre en saturación, este nuevo lazo hará que el modulador entre en saturación controlada durante los máximos de la tensión de red.

De esta manera, se obtienen dos mejoras en lo que a eficiencia se refiere:

1. Se reduce la tensión de bus, con la consiguiente disminución de las energías de conmutación.
2. Se logra que los transistores de la estructura dc/ac dejen de conmutar durante los instantes en los que la corriente es máxima, reduciendo significativamente las pérdidas de conmutación.

La entrada en saturación del modulador produce una deformación de la corriente de salida y por tanto un aumento del THD de corriente con respecto al estado de la técnica. Con el método de control propuesto se controla el valor del THD, garantizando en todo momento un valor preestablecido.

La relación existente entre el THD de corriente y el tiempo que permanece saturado el modulador, permite calcular el valor de referencia de la tensión de bus, mediante un regulador que controla el tiempo de saturación de cada etapa dc/ac durante un determinado periodo de tiempo. Este periodo de tiempo puede ser un múltiplo o submúltiplo de la tensión de red.

Tras determinar la tensión de entrada de referencia de cada etapa dc/ac, un lazo de control de tensión determina la amplitud de la corriente de salida de cada etapa dc/ac. Posteriormente, al menos un lazo de control de corriente de cada etapa dc/ac determina la referencia que se introduce al modulador de cada etapa dc/ac.

En la invención se contempla el caso en el que existe al menos una etapa dc/dc a la entrada, controlando la tensión de bus a través de dicha etapa. En este caso, un lazo de control de tensión determina la amplitud de la corriente de las etapas dc/dc. Posteriormente, al menos un lazo de control de corriente de cada etapa dc/dc determina la referencia que se introduce al modulador de cada etapa dc/ac.

Las etapas dc/ac referidas anteriormente podrán ser del tipo monofásicas o trifásicas. Además, podrán ser del tipo multinivel.

La invención también puede ser aplicable a otros campos de generación de energía, como la generación de energía mediante células electroquímicas o energía eólica.

Para completar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se adjunta, como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha presentado lo siguiente:

Descripción de las figuras

- La Figura 1 muestra un esquema de un convertidor fotovoltaico genérico del estado de la técnica.
 La Figura 2 muestra la relación entre la tensión aplicada por la etapa dc/ac inversora a su salida ($V_{inv,min}$), el valor de pico de la tensión de red (\hat{V}_{red}) y la tensión que cae en la inductancia del convertidor (V_L).
 La Figura 3 muestra una etapa dc/ac inversora de puente en H del estado de la técnica.
 La Figura 4 muestra la evolución de la corriente en la bobina y la tensión de salida de una etapa dc/ac monofásica de puente en H de la figura anterior, y funcionando según el método del estado de la técnica

explicado anteriormente, para una referencia de tensión de bus de 350V y una tensión de red de 230V.

La Figura 5 muestra una realización preferente de la invención propuesta.

La Figura 6 muestra una segunda realización preferente de la invención propuesta.

5 La Figura 7 muestra a modo de ejemplo la evolución de la corriente en la bobina y la tensión de salida de una etapa dc/ac monofásica de puente en H con modulación PWM unipolar tras aplicar el método de control propuesto.

Descripción de uno o varios ejemplos de realización de la invención

10 Tal como se describió anteriormente, en las figuras 1, 2, 3 y 4 se muestran ejemplos del estado de la técnica.

La figura 5 muestra una realización preferente del método de control propuesto. En ella el valor de referencia de la tensión de bus ($V_{bus\ ref}$) se calcula a partir del error en el THD de corriente y el valor de la tensión de red. Para ello:

- 15
- Se calcula el error de THD a partir de un valor de THD de referencia (THD_{ref}) y del THD de corriente medido (THD).
 - Dicho error de THD se introduce en el regulador (Reg).
 - El valor de salida del regulador (Reg) se resta al valor de pico de la tensión de red (\hat{V}_{red}) obteniendo así la tensión de bus de referencia ($V_{bus\ ref}$).
- 20

En la figura 6 se muestra una segunda realización preferente del método de control propuesto, basada en la relación existente entre el THD de corriente y el tiempo que permanece saturado el modulador. En este caso, el valor de referencia de la tensión de bus ($V_{bus\ ref}$) se obtiene a partir de un regulador (Reg) que controla el tiempo de saturación del modulador por periodo de red, teniendo en cuenta el error en los tiempos de saturación y el valor de la

25

- Se calcula el error del tiempo de saturación del modulador a partir de un valor de referencia ($t_{sat\ ref}$) y del tiempo de saturación medido (t_{sat}).
- Dicho error del tiempo de saturación se introduce en el regulador (Reg).
- 30 - El valor de salida del regulador (Reg) se resta al valor de pico de la tensión de red (\hat{V}_{red}) obteniendo así la tensión de bus de referencia ($V_{bus\ ref}$).

La figura 7 muestra a modo de ejemplo la evolución de la corriente $I(L)$ en la bobina (L) y la tensión de salida (VAB) de una etapa dc/ac monofásica de puente en H con modulación PWM unipolar tras aplicar el método de control propuesto. El método de control propuesto permite mejorar la eficacia del convertidor gracias a la reducción de la

35

En una realización preferente de la invención, se incorpora un lazo de control de la tensión de bus que determina la amplitud de cada corriente de salida de cada etapa dc/ac.

40

Otra realización preferente se caracteriza por incorporar al menos un lazo de control de corriente que determina cada referencia que se introduce en el modulador.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna formada por al menos una etapa dc/ac con sus respectivos lazos de control y su respectivo modulador, **caracterizado por que** comprende:
- calcular una tensión de bus de referencia ($V_{bus\ ref}$) de cada etapa dc/ac mediante un regulador (Reg) para que cada etapa dc/ac trabaje en saturación durante un tiempo controlado, donde la tensión de entrada de cada etapa dc/ac es menor que una mínima tensión de bus de referencia ($V_{busref,min}$);
 - mantener sin conmutar, durante el periodo de saturación, los transistores de cada etapa dc/ac.
- 10 2. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la tensión de bus de referencia ($V_{bus\ ref}$) de cada etapa dc/ac se obtiene mediante dicho regulador (Reg) que controla la distorsión armónica total (THD) de la corriente de salida de cada etapa dc/ac.
- 15 3. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la tensión de bus de referencia ($V_{bus\ ref}$) de cada etapa dc/ac se obtiene mediante dicho regulador (Reg) que controla un tiempo de saturación (t_{sat}) de cada etapa dc/ac durante un determinado periodo de tiempo.
- 20 4. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** el periodo de tiempo se selecciona entre un múltiplo y un submúltiplo del periodo de la tensión de red.
- 25 5. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende determinar la amplitud de la corriente de salida de cada etapa dc/ac mediante un lazo de control de la tensión de entrada de cada etapa dc/ac.
- 30 6. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** comprende determinar una referencia que se introduce en el modulador de cada etapa dc/ac mediante al menos un lazo de control de corriente de cada etapa dc/ac.
- 35 7. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la tensión de bus de referencia de cada etapa dc/ac se controla mediante al menos una etapa de entrada dc/dc.
- 40 8. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con reivindicación 7, **caracterizado por que** comprende determinar la amplitud de la corriente de cada etapa dc/dc mediante un lazo de control de la tensión de cada etapa dc/ac.
- 45 9. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** comprende determinar una referencia que se introduce en el modulador de cada etapa dc/ac mediante un lazo de control de corriente.
- 50 10. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las etapas dc/ac son monofásicas.
- 55 11. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las etapas dc/ac son trifásicas.
12. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las etapas dc/ac son multinivel.
13. Método de control para estructura de conversión de corriente continua a corriente alterna de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** está especialmente diseñado para su uso en instalaciones fotovoltaicas.

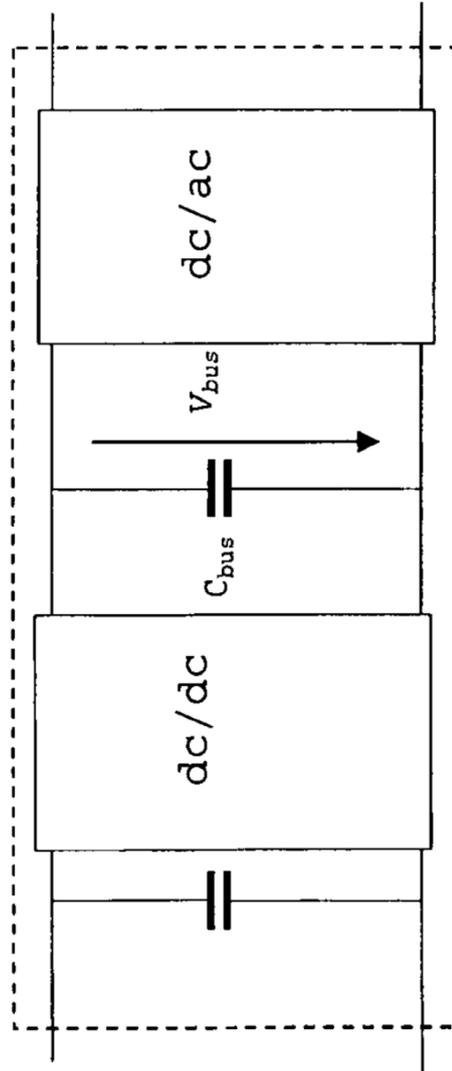


FIG 1

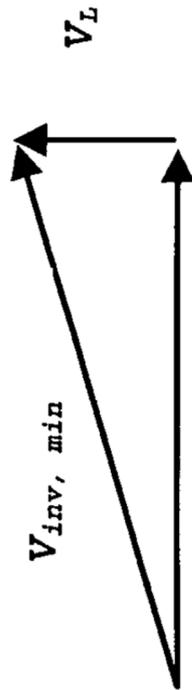


FIG 2

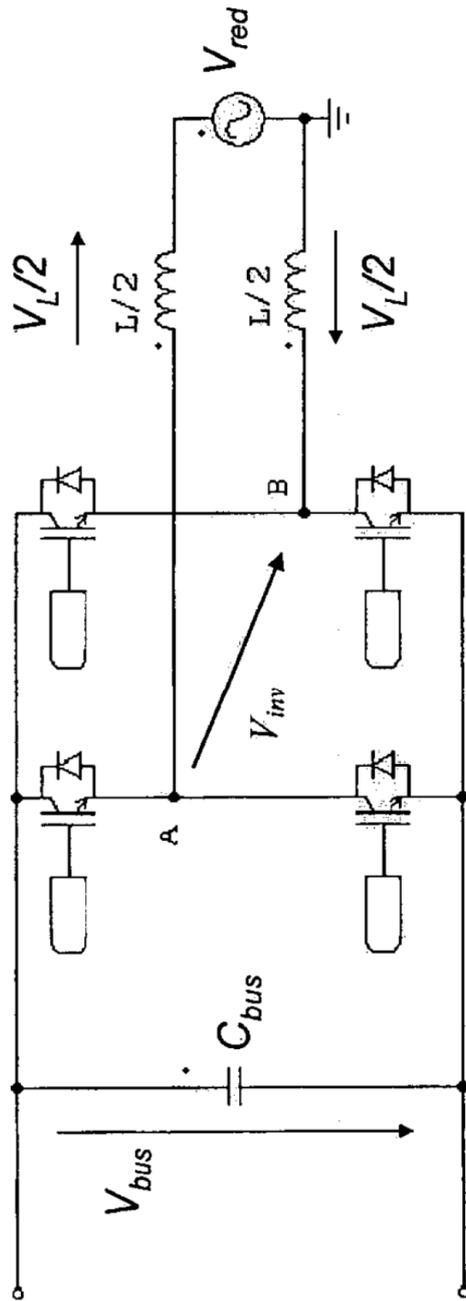


FIG 3

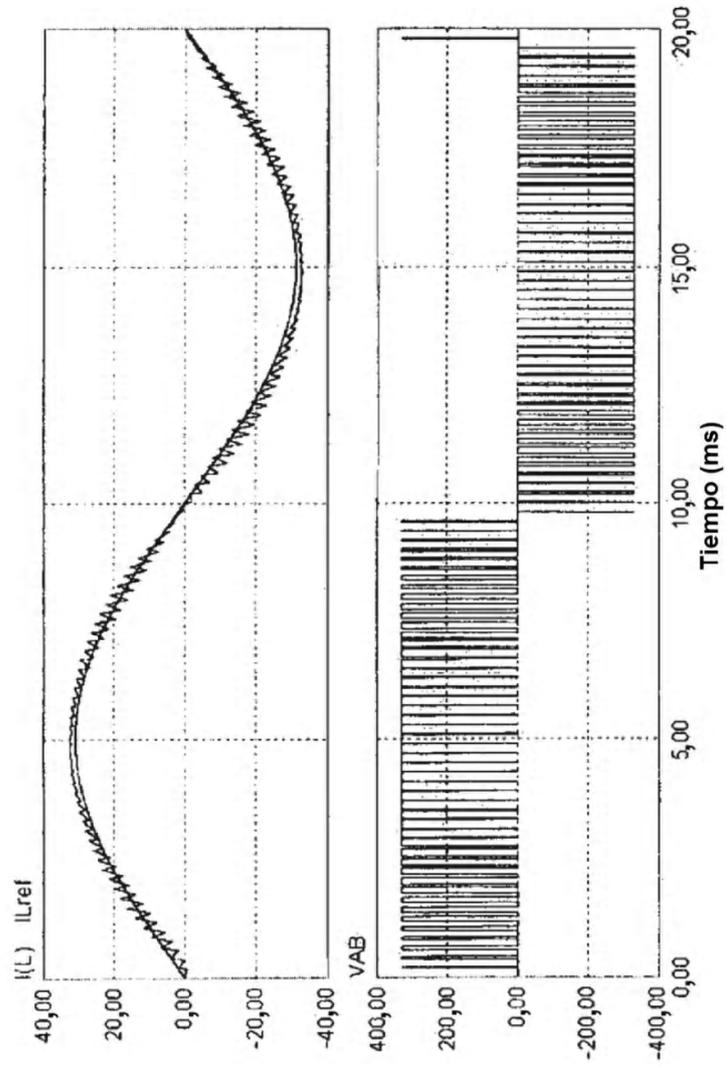


FIG 4

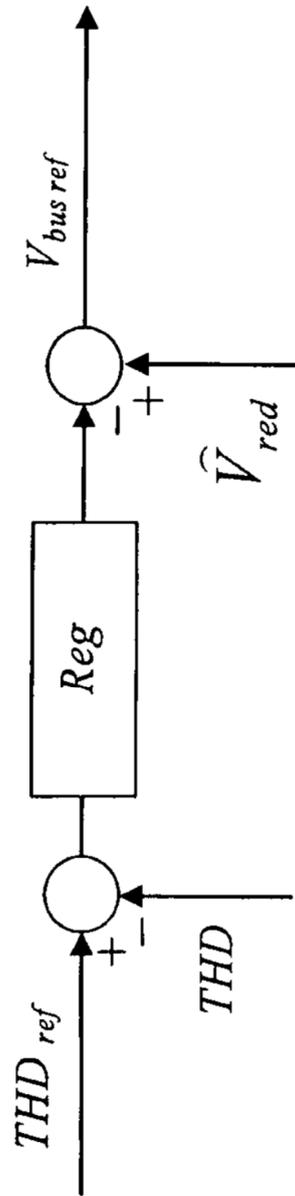


FIG 5

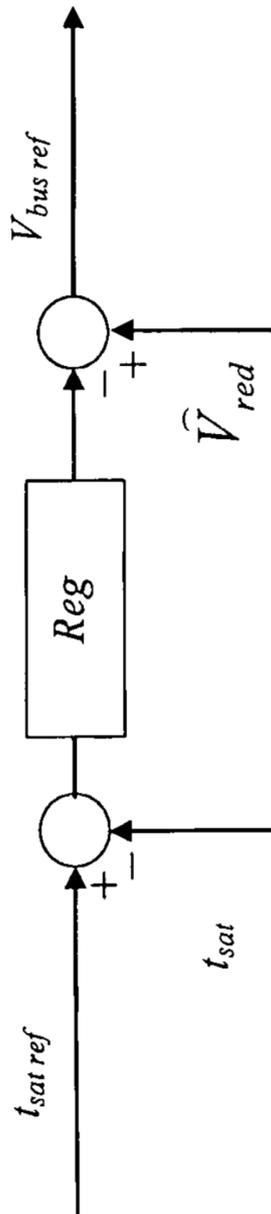


FIG 6

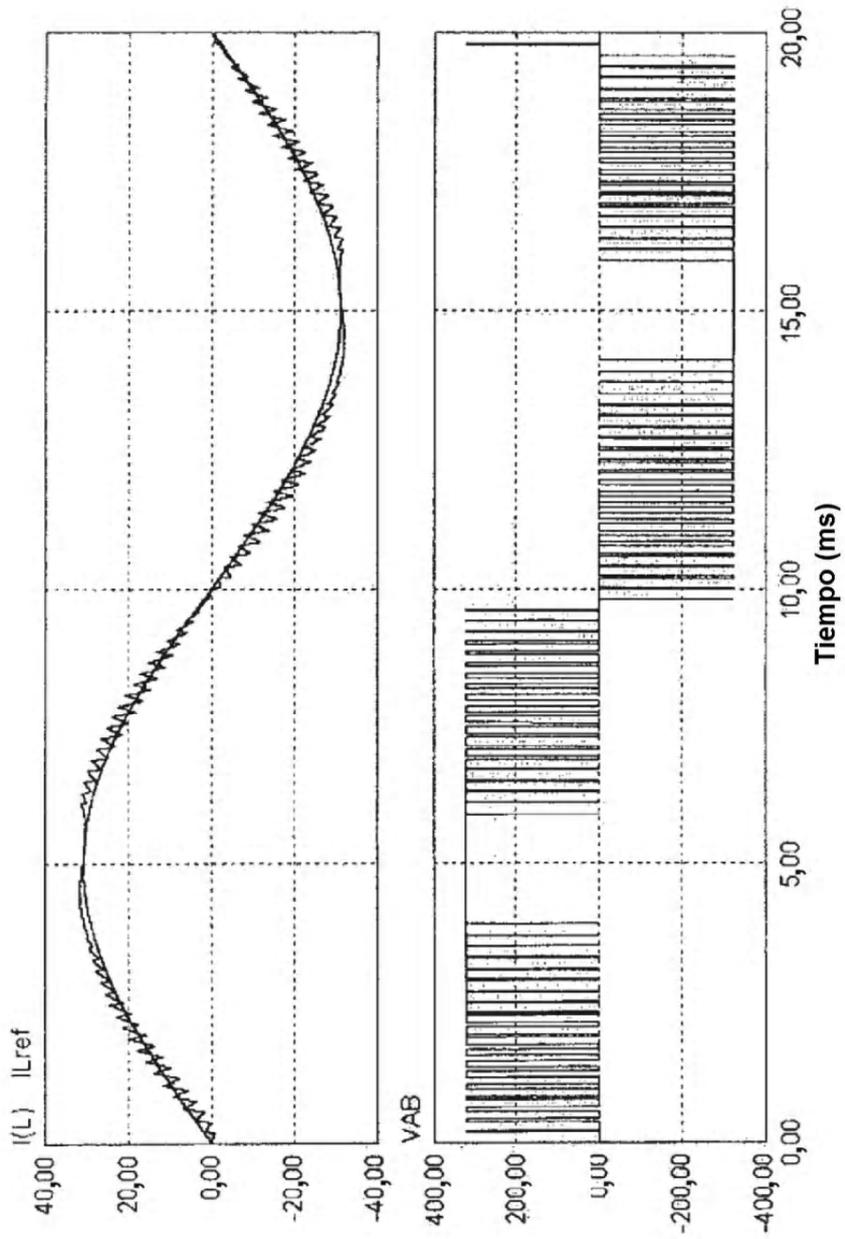


FIG 7