

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 463**

51 Int. Cl.:

**H02M 7/487** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2010 E 10716037 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2013 EP 2415147**

54 Título: **Aparato y método para convertir corriente continua en corriente alterna**

30 Prioridad:

**31.03.2009 IT MO20090080**

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

**01.04.2013**

73 Titular/es:

**BTICINO S.P.A. (100.0%)  
Via Messina, 38  
20154 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**MALDINI, GIORGIO;  
BUONOCUNTO, NICOLA;  
PATSEVITCH, VLADISLAV;  
PETRELLA, ROBERTO;  
REVELANT, ALESSANDRO y  
STOCCO, PIERO**

74 Agente/Representante:

**MONZÓN DE LA FLOR, Luis Miguel**

**ES 2 399 463 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**

Aparato y método para convertir corriente continua en corriente alterna.

**5 ÁMBITO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un dispositivo y método para convertir la corriente continua en corriente alterna.

**10 ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA**

Ha sido común y conocida durante algún tiempo, la utilización de aparatos electrónicos llamados "inversores", capaces de convertir una entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna,

15 Las aplicaciones de los inversores son numerosas y van, por ejemplo, desde el uso en unidades SAI para la conversión de corriente continua desde una batería de abastecimiento para ser utilizada en la industria para la regulación de la velocidad de motores eléctricos o, una vez más, para ser utilizadas en la industria para convertir la electricidad procedente de plantas de producción, antes de la introducción en la red de distribución.

20 Un tipo especial de inversor es el inversor multinivel llamado NPC (inversor fijado en el punto neutro), que es capaz de suministrar más de dos niveles de potencia de salida así como de generar una forma de onda lo más cerca posible de la forma sinusoidal.

A modo de ejemplo, la figura 1 muestra el diagrama general de un inversor NPC de tres niveles de tres fases.

25 El inversor de la figura 1 tiene una rama de entrada compuesta por dos condensadores C en serie uno con el otro y asociada con una fuente de corriente continua  $V_{dc}$  a un terminal de voltaje positivo  $V_{dc+}$ , a un terminal de voltaje negativo  $V_{dc-}$  y a un punto neutro NP entre los dos condensadores C.

30 El inversor incluye tres interruptores electrónicos de encendido, tales como Mosfet, IGBT o dispositivos similares señalados con las referencias  $S_{a1}$ - $S_{d1}$ ,  $S_{d2}$   $S_{a2}$  y  $S_{a3}$ - $S_{d3}$ , convenientemente conectados juntos en tres ramas, una para cada fase f1, f2 y f3.

35 El inversor consta también de tres pares de diodos, indicados en la figura 1, con las referencias  $D_{a1}$  y  $D_{b1}$ ,  $D_{a2}$  y  $D_{b2}$ ,  $D_{a3}$  y  $D_{b3}$  respectivamente.

Con referencia a la rama relativa a la fase f1, por ejemplo, los diodos  $D_{a1}$  y  $D_{b1}$  están dispuestos en serie uno con el otro y conectan el punto neutro NP, respectivamente, al punto conexión entre los interruptores  $S_{a1}$  y  $S_{b1}$  y al punto de conexión conexión entre interruptores  $S_{c1}$  y  $S_{d1}$ .

40 Los diodos  $D_{a2}$ ,  $D_{b2}$ ,  $D_{a3}$  y  $D_{b3}$  están conectados de forma similar con las ramas relativas a las fases f2 y f3.

Mediante el control de cierre de los interruptores  $S_{a1}$ - $S_{d1}$ ,  $S_{a2}$ - $S_{d2}$  y  $S_{a3}$ - $S_{d3}$  es posible conectar cada una de las fases al positivo del voltaje  $V_{dc+}$ , al negativo del voltaje  $V_{dc-}$  y al nodo NP (Punto Neutro) donde la tensión es igual a cero si toma como referencia.

45 La conmutación rápida de los interruptores entre las posibles configuraciones se realiza mediante técnicas de modulación adecuadas, con el fin de obtener un corriente alterna y voltaje de salida en las tres fases, comenzando con corriente continua  $V_{dc}$ .

50 Una de estas técnicas de modulación es la llamada modulación unipolar de las ramas del inversor, en la que los interruptores de cada rama están activados o desactivados según la variación de una tensión periódica de referencia.

En particular, con referencia a modo de ejemplo a la rama de la fase f1, se muestra a continuación la configuración de los interruptores  $S_{a1}$ ,  $S_{b1}$ ,  $S_{c1}$  y  $S_{d1}$ .

55 Durante la media onda positiva de la tensión de referencia:

- la conmutación del interruptor  $S_{a1}$  se efectúa a una frecuencia de conmutación preestablecida;
- el interruptor  $S_{b1}$  está siempre encendido;
- los interruptores  $S_{c1}$  y  $S_{d1}$  están siempre apagados.

Durante la media onda negativa de la tensión de referencia:

- la conmutación del interruptor  $S_{d1}$  se efectúa a una frecuencia de conmutación preestablecida;

- el interruptor  $S_{c1}$  está siempre encendido;
- los interruptores  $S_{a1}$  y  $S_{b1}$  están siempre apagados.

Sin embargo, la técnica de modulación unipolar tiene un número de inconvenientes.

De hecho, cerca del punto cero de la corriente de salida, como el instante en que la corriente ideal en la salida de la rama es igual a cero, sucede una distorsión en la tensión real de salida.

Esto es debido a la operación en DCM (modo de conducción discontinua) de la corriente de la rama.

En particular, cuando el valor promedio de la corriente en la inductancia de carga está cercano a la cancelación por sí misma, un componente oscilatorio espurio sobrepuesto (ondulación) no puede cruzar el cero, causando una variación instantánea del gradiente de corriente que fluye en la inductancia y causando de esta manera una variación de tensión en las cabezas de la inductancia propia.

Para una mayor claridad y solamente a modo de ejemplo, la figura 2 y la figura 3 muestran, respectivamente, los modelos de tensión y corriente  $V_u$  y  $I_u$  que salen de una de las ramas en el caso de modulación unipolar, lo que hace clara la presencia de las distorsiones de las señales cerca del punto cero.

En particular, la figura 3 muestra el modelo de la corriente de salida  $I_u$  cerca del punto de cero en comparación con el modelo de una corriente de salida ideal  $I_{rif}$ .

La modulación de tipo unipolar, además, tiene aún más inconvenientes en el caso de la tensión de referencia y la corriente de salida, teniendo, en un instante específico de intervalo de tiempo, señales opuestas, por ejemplo, en el caso de la tensión de referencia sea senoide y en avance con respecto a la corriente de salida  $I_u$ .

En este caso, en el cambio de señal de la tensión de referencia, la corriente ya no puede continuar circulando en la misma dirección y se ve obligada a cero.

Tales modelos de la tensión de referencia y de la corriente de salida  $I_u$  se muestran a modo de ejemplo en la figura 4, en la que es la corriente de referencia se indican mediante la fórmula  $U_{rif}$ .

Son conocidas técnicas alternativas para superar los inconvenientes de la modulación unipolar, tal como la llamada modulación complementaria de las ramas del inversor.

Se muestra a continuación, de manera específica, a modo de ejemplo, la configuración de los interruptores  $S_{a1}$ ,  $S_{b1}$ ,  $S_{c1}$  y  $S_{d1}$ , con referencia para la rama de la fase  $f_1$ .

Durante la media onda positiva de la tensión de referencia:

- la conmutación de los interruptores  $S_{a1}$  y  $S_{c1}$  se efectúa a una frecuencia preestablecida de interrupción;
- el interruptor  $S_{b1}$  está siempre encendido;
- el interruptor  $S_{d1}$  está siempre apagado.

Durante la media onda negativa de la tensión de referencia:

- la conmutación de los interruptores  $S_{d1}$  y  $S_{b1}$  se realiza a una frecuencia preestablecida de interrupción;
- el interruptor  $S_{c1}$  está siempre encendido
- el interruptor  $S_{a1}$  está siempre apagado.

Sin embargo, la técnica de modulación complementaria tiene también una serie de inconvenientes.

En particular, los interruptores centrales que interrumpen a la frecuencia de conmutación no están cubiertos por la corriente y, en consecuencia, cuando la corriente de salida no está cerca del punto cero se hacen numerosos interruptores inútiles.

Esto implica un inevitable aumento de pérdidas de energía unido al circuito de piloto de los interruptores centrales de cada rama y pérdidas adicionales en los diodos unidos a las corrientes de respectivas de dispersión.

Además, el funcionamiento correcto del inversor requiere el dimensionamiento adecuado del circuito piloto de los interruptores centrales.

**OBJETO DE LA INVENCION**

El objetivo principal de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método para convertir la corriente continua en corriente alterna que permita eliminar las perturbaciones presentes en el punto cero de la corriente de salida y que, al mismo tiempo, permita el corte al máximo de las pérdidas de energía.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un método para convertir la corriente continua en corriente alterna que permitan superar los inconvenientes mencionados por la Técnica conocida, en el ámbito de una solución simple, racional, eficaz para utilizarlo y de bajo costo.

Los objetivos anteriores son conseguidos por el presente dispositivo para convertir la corriente continua en corriente alterna, comprendiendo al menos un convertidor multinivel asociado con al menos una fuente de corriente continua y al menos una unidad de modulación que incluya medios de control para controlar dicho convertidor para la conversión de dicha corriente continua en una corriente alterna de salida, caracterizado por el hecho que dicha unidad de modulación incluye medios de comparación para comparar el valor de dicha corriente de salida con al menos un valor umbral positivo preestablecido y al menos un valor umbral negativo preestablecido, siendo dichos medios de control convenientes para controlar el mencionado convertidor con una modulación por impulsos del tipo unipolar, en el caso de dicho valor corriente de salida esté por encima del valor umbral positivo o por debajo de dicho valor umbral negativo y, con una modulación por impulsos de tipo complementario en el de que el mencionado valor de la corriente de salida esté por debajo de dicho valor umbral positivo y por encima del mencionado más arriba, valor umbral negativo.

Los objetivos anteriores son alcanzados por el método presente para convertir la corriente continua en corriente alterna incluyendo al menos una fase de control de un convertidor multinivel para la conversión de una tensión continua en la tensión de una corriente alterna de salida, caracterizado por el hecho que ello comprende al menos una fase de comparación del mencionado valor de la corriente de salida con al menos un valor umbral positivo predeterminado y al menos un valor umbral negativo predeterminado siendo, la mencionada fase de control, conveniente para controlar el mencionado convertidor con una modulación por impulsos del tipo unipolar en el caso que dicho valor de la corriente de salida esté por encima del mencionado valor umbral positivo o por debajo de dicho valor umbral negativo y con una modulación por impulsos del tipo complementario en el caso que el mencionado valor de la corriente de salida esté por debajo del mencionado valor umbral positivo y por encima del arriba citado valor umbral negativo.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Otras características y ventajas de la presente invención serán más evidentes en la descripción de una preferida, pero no única, Realización de un dispositivo y un método para convertir la corriente continua en corriente alterna, mostrado puramente como un ejemplo, sin embargo, no limitado, a los dibujos anexos en los que:

La figura 5 es un diagrama de bloques general del dispositivo según la invención;  
 La figura 6 es un esquema que muestra una posible realización de un convertidor multinivel del dispositivo según la invención;  
 La figura 7 es un gráfico que muestra esquemáticamente una posible conexión entre el modelo de la corriente de salida del dispositivo según la invención y el funcionamiento del propio dispositivo;  
 Las figuras 8 y 9 son diagramas gráficos y funcionales que muestran las configuraciones posibles del convertidor multinivel del dispositivo según la invención, en el caso de modulación unipolar;  
 Las figuras 10 y 11 son diagramas gráficos y funcionales que muestran las configuraciones posibles del convertidor multinivel del dispositivo según la invención, en el caso de modulación complementaria;  
 La figura 12 es un gráfico que muestra los modelos de una tensión de referencia en la entrada a la unidad de modulación del dispositivo según la invención y de la corriente de salida del convertidor multinivel del punto del dispositivo alrededor del punto cero de la propia corriente de salida;  
 Las figuras 13 y 14 son gráficos que muestran los modelos de la corriente de salida y la tensión del dispositivo según la invención, alrededor del punto cero de la propia corriente de salida.

**REALIZACIONES DE LA INVENCION**

Con especial referencia a las figuras de la 5 a la 14, D es un dispositivo para convertir corriente continua en corriente alterna indicado de manera general, del tipo utilizable en numerosas aplicaciones de tipo común, como, por ejemplo, dentro de unidades de UPS para la conversión de la corriente continua generada por una batería, para la conversión de la corriente producida por los módulos fotovoltaicos o, una vez más, para regular la velocidad de motores eléctricos.

El dispositivo D, mostrado generalmente y esquemáticamente en la figura 5, se compone de un convertidor multinivel, del tipo NPC (inversor sujeto al punto neutro) convertidor o inversor, genéricamente indicado por la referencia  $C_{NPC}$ .

5 El dispositivo D se compone de una unidad de modulación, genéricamente indicada en la figura 5 con la referencia M, que tiene medios para controlar el convertidor  $C_{NPC}$  para la conversión de una corriente continua  $V_{dc}$  entrante en el propio convertidor en una corriente de salida alterna  $I_u$ .

10 El dispositivo D comprende también una fuente conveniente para generar una corriente de referencia  $I_{rif}$  para ser seguida y medios para calcular la diferencia entre esa corriente de referencia  $I_{rif}$  y la corriente de salida  $I_u$  generada mediante el convertidor  $C_{NPC}$ .

15 En particular, estos medios de cálculo están esquematizados en la Figura 5 por medio de un control de respuesta negativa que detecta la corriente de salida  $I_u$  generada por el convertidor  $C_{NPC}$  y lo resta de la corriente de referencia  $I_{rif}$  en el dispositivo D.

20 El dispositivo D se compone de una unidad de control de corriente, que se indica genéricamente, en la figura 5, por la referencia A, dispuesta después de los medios de cálculo mencionados más arriba (en el sentido de la corriente) y antes (en el sentido de la corriente) de la unidad de modulación M, y que está asociada operativamente con la unidad de modulación M y está provista de medios para generar una tensión de referencia  $U_{rif}$ , generada según la diferencia calculada entre la corriente de referencia  $I_{rif}$  y la corriente de salida  $I_u$ .

25 Los medios de control de la unidad de modulación M son adecuados, ventajosamente, para controlar el convertidor  $C_{NPC}$  según la tensión de referencia  $U_{rif}$  y la corriente de salida  $I_u$ .

Además, el dispositivo D incluye, una unidad de filtrado, indicada de manera genérica en la figura 5 mediante la referencia F y que está colocada después (en el sentido de la corriente) del convertidor  $C_{NPC}$  y que es adecuada para filtrar la corriente de salida  $I_u$ .

30 En particular, esta unidad de filtrado F puede ser hecha con un filtro del tipo LC (resonante), LCL o similares.

35 Con especial referencia a la Realización descrita e ilustrada en la figura 6, el convertidor  $C_{NPC}$  es del tipo de un inversor monofásico NPC con tres niveles de tensión. Sin embargo, las diferentes realizaciones no descartan que el convertidor  $C_{NPC}$  utilizado sea un inversor con más de tres niveles y/o de tipo multifase.

En particular, el convertidor  $C_{NPC}$  comprende al menos una rama de entrada  $R_i$  formada por dos condensadores C conectados el uno al otro en serie y teniendo un terminal conectado al polo positivo  $V_{dc+}$  de la fuente de corriente continua  $V_{dc}$  y un terminal opuesto conectado al polo negativo  $V_{dc-}$  de la fuente de corriente continua  $V_{dc}$ .

40 Pueden ser utilizados dos generadores independientes, como alternativa a la fuente de corriente continua  $V_{dc}$ , siendo adecuado, cada uno de ellos, para generar una tensión en las cabezas de los respectivos condensadores C o de los grupos de condensadores C.

45 Además, es importante destacar que los condensadores C mostrados en la figura 6 pueden ser representantes de la serie y/o del paralelo de varios condensadores físicamente realizados para conseguir la capacidad total necesaria.

El punto de conexión entre los dos condensadores C, indicado en la figura 6 por la referencia NP, es el punto neutro de tensión cero del convertidor  $C_{NPC}$ .

50 El convertidor  $C_{NPC}$  tiene una rama de salida  $R_u$  que comprende un primer y un segundo interruptor electrónico  $S_b$  y  $S_a$  conectados en serie el uno al otro entre el polo positivo  $V_{dc+}$  de la fuente de corriente continua  $V_{dc}$  y un terminal de salida y un tercer y un cuarto interruptor electrónico  $S_c$  y  $S_d$  conectados en serie entre el polo negativo  $V_{dc-}$  de la fuente de corriente continua  $V_{dc}$  y el terminal de salida.

55 Cada interruptor  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$  está asociado operativamente con la unidad de modulación M.

En particular, los medios de control de la unidad de modulación M, incluyen los medios para generar cuatro señales distintas de control  $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_c$ ,  $P_d$ , moduladas por ancho de impulsos (PWM) y convenientes para el control, respectivamente, del primer, el segundo, el tercero y el cuarto interruptores  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$ .

60 Sin embargo, no puede ser descartada la utilización de las señales de control de los interruptores  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$  modulada por medio de técnicas diferentes de modulación de impulsos.

Usualmente, esos interruptores  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$ , pueden ser Mosfet, IGBT u otros dispositivos de conmutación estática.

Además, la rama de salida  $R_u$  tiene un primer diodo  $D_a$  y un segundo diodo  $D_b$ .

El primer diodo  $D_a$  tiene el ánodo conectado a la rama de entrada  $R_i$ , en el punto neutro NP y el cátodo conectado al punto de conexión entre el primer interruptor  $S_a$  y el segundo interruptor  $S_b$ , mientras que el segundo diodo  $D_b$  tiene el cátodo conectado a la rama de entrada  $R_i$ , en el punto neutro NP y el ánodo conectado al punto de conexión entre el tercer interruptor  $S_c$  y el cuarto interruptor  $S_d$ .

Usualmente, el primero y el segundo diodo  $D_a$  y  $D_b$  y los diodos asociados en anti-paralelo con los interruptores  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$ , no mostrados en la figura 6, son de tipo conocido, pueden ser diodos con silicio o sustrato SiC (Carburo de silicio), que permiten una reducción de pérdidas debidas a la conmutación.

Debe señalarse el hecho de que, no obstante lo dispuesto en la Realización particular del dispositivo ilustrado y descrito D que prevé la utilización de un convertidor  $C_{NPC}$  de una sola fase, teniendo por lo tanto, sólo una rama de salida  $R_u$ , sin embargo otras Realizaciones alternativas no pueden descartar que el convertidor  $C_{NPC}$  utilizado sea del tipo multi-fase y por lo tanto tenga varias ramas de salida  $R_u$ , una por cada fase de la corriente alterna de salida/tensión que sea generada.

Ventajosamente, la unidad de modulación M incluye medios de comparación para comparar el valor de la corriente de salida  $I_u$  del convertidor  $C_{NPC}$  con un valor umbral positivo preestablecido  $I_p$  y con un valor umbral negativo preestablecido  $I_n$ .

Esquemáticamente, como se muestra en el gráfico de la figura 7, los medios de control de la unidad de modulación M son adecuados para controlar el convertidor  $C_{NPC}$ , en particular los interruptores  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  y  $S_d$ , con una modulación de tipo unipolar de las señales  $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_c$ ,  $P_d$ , en el caso del valor de la corriente de salida  $I_u$  esté por encima con un valor umbral positivo preestablecido  $I_p$  o por debajo del valor umbral negativo preestablecido  $I_n$  y con una modulación de tipo complementario de las señales  $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_c$ ,  $P_d$ , en el caso del valor de la corriente de salida  $I_u$  esté por debajo del valor umbral positivo  $I_p$  y por encima del valor umbral negativo  $I_n$ .

En detalle, en el caso de que el valor de la corriente de salida  $I_u$  esté por encima del valor umbral positivo  $I_p$  y de que la tensión de referencia  $U_{rif}$  esté por encima de cero, los medios de control de la unidad de modulación M son convenientes para controlar el convertidor  $C_{NPC}$  con una modulación de anchura de impulsos del tipo unipolar en que, como se muestra en la figura 8:

- el primer interruptor  $S_a$  se conmuta periódicamente a una frecuencia preestablecida mediante la señal  $P_a$ ;
- el segundo interruptor  $S_b$  está siempre encendido;
- los interruptores terceros y cuarto,  $S_c$  y  $S_d$  están siempre apagados.

En el caso de que valor de corriente de salida  $I_u$  esté por debajo del valor umbral negativo  $I_n$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea inferior a cero, los medios de control de la unidad de modulación M son adecuados para controlar el convertidor  $C_{NPC}$  con una modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en el que, como se muestra en la figura 9:

- el cuarto interruptor  $S_d$  se conmuta periódicamente a una frecuencia preestablecida por medio de la señal  $P_d$ ;
- el tercer interruptor  $S_c$  está siempre encendido;
- los interruptores primeros y segundo  $S_a$  y  $S_b$  están siempre apagados.

En el caso de que valor de corriente de salida  $I_u$  esté por debajo del valor umbral positivo  $I_p$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea superior a cero, los medios de control de la unidad de modulación M son adecuados para controlar, el convertidor  $C_{NPC}$  con una modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en el que, como se muestra en la figura 10:

- el primer interruptor  $S_a$  y el tercer interruptor  $S_c$  están periódicamente conmutados a una frecuencia preestablecida y en un manera complementaria entre sí por medio de las señales  $P_a$  y  $P_c$ ;
- el segundo interruptor  $S_b$  está siempre encendido;
- el cuarto interruptor  $S_d$  siempre está apagado.

En el caso de que valor de la corriente de salida  $I_u$  esté por encima del valor umbral positivo preestablecido  $I_n$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea inferior a cero, los medios de control de la unidad de modulación M son adecuados para controlar el convertidor  $C_{NPC}$  con una modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en que, como se muestra en la figura 11:

- el segundo interruptor  $S_b$  y el cuarto interruptor  $S_d$  están periódicamente conmutados a una frecuencia preestablecida y en una manera complementaria entre sí por medio de las señales  $P_b$  y  $P_d$ ;
- el tercer interruptor  $S_c$  está siempre encendido;
- el primer interruptor  $S_a$  siempre está apagado.

5 El uso combinado de la modulación unipolar y de la modulación complementaria permite, en particular, mantener la corriente de salida  $I_u$  en CCM (Modo Corriente Continua) alrededor del punto cero de corriente y asegura el correcto funcionamiento del convertidor  $C_{NPC}$  incluso en el caso en que el voltaje de salida en rama  $R_u$  tenga, en algunos instantes o períodos de tiempo, un signo opuesto respecto al de la corriente de salida  $I_u$ .

10 De esta manera son eliminadas las distorsiones de la tensión de salida  $V_u$  generada por el convertidor  $C_{NPC}$  en el punto cero de la corriente de salida  $I_u$ .

15 Para mostrar el funcionamiento correcto del dispositivo D, la figura 12 muestra los modelos de la tensión de referencia  $U_{rif}$  (deducida por un factor de 10) en la entrada a la unidad de modulación M y de la tensión de salida  $I_u$  del convertidor  $C_{NPC}$  alrededor del punto cero.

20 Finalmente, la figura 13 y la figura 14 muestran los modelos de la tensión  $V_u'$  y de la salida corriente de salida  $I_u'$  del dispositivo D, según la invención, alrededor del punto cero de la corriente de salida y en el caso de la carga sea la normal de la red de distribución de energía.

25 El método según la invención incluye una fase de comparación del valor de la corriente de salida  $I_u$  con un valor umbral positivo preestablecido  $I_p$  y con un valor umbral negativo preestablecido  $I_n$  y una fase de control del convertidor  $C_{NPC}$  para la conversión de la corriente continua  $V_{dc}$  de entrada en la corriente alterna de salida  $I_u$ , en que el convertidor  $C_{NPC}$  es controlado con una modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar cuando el valor de la corriente de salida  $I_u$  está por encima del valor umbral positivo  $I_p$  o por debajo del valor umbral negativo  $I_n$  y con una modulación por ancho de impulsos de tipo complementario cuando el valor de la corriente de salida  $I_u$  está por debajo del valor umbral positivo  $I_p$  y por encima del valor umbral negativo  $I_n$ .

30 En particular, la fase de control comprende una fase de generación de la primera, segunda, tercera y cuarta señal de control  $P_a, P_b, P_c, P_d$ , modulada por ancho de impulsos y conveniente para el control del primer, segundo, tercero y cuarto interruptores  $S_a, S_b, S_c$  y  $S_d$ .

35 Ventajosamente, el método según la invención, comprende una fase de generación de la señal de referencia  $U_{rif}$  y la fase de control del convertidor  $C_{NPC}$  es realizada de acuerdo con tal tensión de referencia  $U_{rif}$  y de acuerdo a la corriente de salida  $I_u$ .

40 En particular, en el caso de que el valor de la corriente de salida  $I_u$  esté por encima del valor umbral positivo  $I_p$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea mayor que cero, el método contempla el control del convertidor  $C_{NPC}$  con una modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en el que, como se muestra en la figura 8:

- el primer interruptor  $S_a$  está conmutado periódicamente a un frecuencia preestablecida, por medio de la señal  $P_a$ ;
- el segundo interruptor  $S_b$  está siempre encendido;
- los interruptores tercero y cuarto,  $S_c$  y  $S_d$  están siempre apagados.

50 En el caso de que el valor corriente de salida  $I_u$  esté por debajo el valor umbral negativo  $I_n$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea inferior a cero, el método contempla el control del convertidor  $C_{NPC}$  mediante modulación por ancho de impulsos del tipo unipolar en el que, como se muestra en la figura 9:

- el cuarto interruptor  $S_d$  se conecta periódicamente a un frecuencia preestablecida, mediante la señal  $P_d$ ;
- el tercer interruptor  $S_c$  está siempre encendido;
- los interruptores primero y segundo  $S_a$  y  $S_b$  están siempre apagados.

55 En el caso de que el valor corriente de salida  $I_u$  esté por debajo el valor umbral positivo  $I_p$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea superior a cero, el método contempla el control del convertidor  $C_{NPC}$  mediante modulación por ancho de impulsos del tipo complementario en el que, como se muestra en la figura 10:

- el primer interruptor  $S_a$  y el tercer interruptor  $S_c$  están periódicamente conmutados a una frecuencia preestablecida y en una manera complementaria entre sí, mediante las señales  $P_a$  y  $P_d$ ;
- el segundo interruptor  $S_b$  está siempre encendido;
- el cuarto interruptor  $S_d$  siempre está apagado.

En el caso de que el valor corriente de salida  $I_u$  esté por encima del valor umbral negativo preestablecido  $I_n$  y la tensión de referencia  $U_{rif}$  sea inferior a cero, el método contempla el control del convertidor  $C_{NPC}$  mediante modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en el que, como se muestra en la figura 11:

- 5 -el segundo interruptor  $S_b$  y el cuarto interruptor  $S_d$  están periódicamente conmutados a una frecuencia preestablecida y en una manera complementaria entre sí, mediante las señales  $P_b$  y  $P_d$ ;
- el tercer interruptor  $S_c$  está siempre encendido;
- el primer interruptor  $S_a$  siempre está apagado.

10 Usualmente, el método también proporciona un fase de generación de una corriente de referencia  $U_{rif}$  y una fase de cálculo de la diferencia entre tal corriente  $I_{rif}$  de referencia y la corriente de salida  $I_u$ .

La tensión de referencia  $U_{rif}$  que será generada en la entrada de la unidad de modulación  $M$  está por lo tanto determinada de acuerdo a la diferencia calculada entre la corriente de referencia  $I_{rif}$  y la corriente de salida  $I_u$ .

15 Por último, el método comprende una fase de filtrado de la corriente de salida  $I_u$  por medio de la unidad de filtración  $F$ .

20 De hecho, se ha comprobado, cómo la invención descrita alcanza los objetivos propuestos y en particular, se subraya el hecho que el dispositivo y el método para convertir la corriente continua en corriente alterna según la invención, en particular la utilización combinada de la modulación de tipo unipolar y de la modulación de tipo complementario, permiten eliminar las perturbaciones de la corriente de salida presentes en el punto cero y, al mismo tiempo, permiten reducir a lo indispensable la cantidad de conmutación de los interruptores del inversor.

25 Además de una reducción de las perturbaciones con respecto solamente a la modulación de tipo unipolar, esto también incluye una reducción de pérdidas de energía en comparación con la modulación de tipo complementario.

30 De hecho, en comparación con la modulación complementaria, la invención descrita permite reducir las pérdidas unidas a la conmutación mediante el circuito de control de los interruptores centrales del inversor y permite además, reducir los requisitos de tamaño de ese circuito de control, en tanto que los interruptores centrales sólo se utilizan para un pequeño porcentaje del período de la corriente de salida.

La invención descrita también permite eliminar las pérdidas adicionales en los diodos del inversor unidos a las respectivas corrientes de dispersión.

35 Una ventaja adicional está representada por el hecho que la invención descrita permite una menor distorsión de la tensión de salida en el área de modulación unipolar debido en particular a la ausencia de tiempos muertos que reducen la tensión útil en la carga, el ciclo de trabajo de referencia se mantiene igual.



## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo (D) para convertir la corriente continua en corriente alterna, que comprende al menos un convertidor multinivel ( $C_{NPC}$ ) asociado con al menos una fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ), por lo menos una unidad de modulación (M) teniendo medios de control para el control del mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) para la conversión de dicha corriente continua ( $V_{dc}$ ) en una corriente alterna ( $I_u$ ) y al menos una unidad de control de corriente (A) operativamente asociados con la mencionada unidad de modulación (M), **caracterizado por** el hecho de que incluye al menos una fuente de corriente de referencia ( $I_{rif}$ ) y medio de cálculo para el cálculo de la diferencia entre dicha corriente de referencia actual ( $I_{rif}$ ) y la mencionada corriente de salida ( $I_u$ ), en donde la mencionada unidad de control de corriente (A) incluye medios de generación para la generación de una tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) y medios de determinación para determinar dicha tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) que sea generada según la diferencia calculada entre dicha corriente de referencia ( $I_{rif}$ ) y dicha corriente de salida ( $I_u$ ) y en donde la mencionada unidad de modulación (M) incluye medios de comparación para comparar el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) con al menos un valor umbral positivo preestablecido ( $I_p$ ) y al menos un valor de umbral negativo predeterminado ( $I_n$ ), siendo convenientes dichos medios de control, para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con una modulación de impulsos de tipo unipolar en caso de salida de que dicho valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) esté por encima de dicho valor umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) esté por encima de cero o en el caso de que el mencionado valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) esté por debajo de dicho valor umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea menor que cero y con una modulación por impulsos del tipo complementario en el caso de que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea menor que el mencionado valor umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) esté por encima de cero y en el caso de que dicho valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) esté por encima de dicho valor umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea inferior a cero.
- 10 2. Un dispositivo (D) según la Reivindicación 1, **caracterizado por** el hecho que dicho convertidor ( $C_{NPC}$ ) incluye al menos una rama de salida ( $R_u$ ) teniendo al menos un interruptor electrónico primero y segundo ( $S_a$  y  $S_b$ ) asociados en serie el uno con el otro entre el polo positivo ( $V_{dc+}$ ) de dicha fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ) y al menos un terminal de salida y teniendo al menos un tercer y un cuarto interruptor electrónico ( $S_c$  y  $S_d$ ) asociados en serie el uno con el otro entre el polo negativo ( $V_{dc-}$ ) de la mencionada fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ) y el mencionado terminal de salida, los mencionados interruptores electrónicos ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ) asociados operativamente con los mencionados medios de control de la unidad de modulación (M).
- 15 3. Un dispositivo (D) según la Reivindicación 2, **caracterizado por** el hecho que dicho convertidor ( $C_{NPC}$ ) incluye al menos una rama de entrada ( $R_i$ ) teniendo por lo menos dos condensadores (C) asociados en serie el uno con el otro y teniendo al menos un terminal asociado con el polo positivo ( $V_{dc}$ ) de dicha fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ) y al menos un terminal opuesto asociado con el polo negativo ( $V_{dc-}$ ) de dicha fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ), donde la mencionada rama de salida ( $R_u$ ) incluye al menos un primer diodo ( $D_a$ ) con el ánodo asociado con la mencionada rama de entrada ( $R_i$ ), y un punto de conexión (NP) entre los mencionados condensadores (C), y con el cátodo asociado con la mencionada rama de salida ( $R_u$ ), en un punto de conexión entre dicho primer y segundo interruptor ( $S_a$  y  $S_b$ ) y al menos un segundo diodo ( $D_b$ ) con el cátodo asociado a dicha rama de entrada ( $R_i$ ), en el mencionado punto de conexión (NP) entre los mencionados dos condensadores (C) y con el ánodo asociado con la mencionada rama de salida ( $R_u$ ), en un punto de conexión entre los mencionados interruptores tercero y cuarto ( $S_c$  y  $S_d$ ).
- 20 4. El dispositivo (D) según una o más de las Reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** el hecho de que, en el caso de que el valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) esté por encima del mencionado valor de umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea superior a cero, dichos medios de control son convenientes para el control del mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en el que:
- 25 -el mencionado primer interruptor ( $S_a$ ) está periódicamente conmutado a una frecuencia predeterminada;
- 30 -el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) está siempre encendido;
- 35 -los mencionados interruptores tercero y cuarto ( $S_c$  y  $S_d$ ) están siempre apagados.
- 40 5. Un Dispositivo (D) según una o más de las Reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** el hecho de que, en el caso de que el valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) esté por debajo del mencionado valor de umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea inferior a cero, dichos medios de control son convenientes para el control del mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en el que:
- 45
- 50
- 55
- 60

- el mencionado cuarto interruptor ( $S_d$ ) está periódicamente conmutado a una frecuencia predeterminada;
- el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) está siempre encendido;
- los mencionados interruptores primero y segundo ( $S_a$  y  $S_b$ ) están siempre apagados.

5  
6. Un Dispositivo (D) según una o más de las Reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** el hecho de que, en el caso de que el valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) esté por debajo del mencionado valor de umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea superior a cero, dichos medios de control son convenientes para el control del mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en el que:

- el mencionado cuarto interruptor ( $S_d$ ) y el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) están periódicamente conmutados a una frecuencia predeterminada y en una manera complementaria el uno con el otro;
- el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) está siempre encendido;
- el mencionado interruptor cuarto ( $S_d$ ) está siempre apagado.

15  
7. Un Dispositivo (D) según una o más de las Reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** el hecho de que, en el caso de que el valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) esté por debajo del mencionado valor de umbral negativo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea inferior a cero, dichos medios de control son convenientes para el control del mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en el que:

- el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) y el mencionado cuarto interruptor ( $S_d$ ) están periódicamente conmutados a una frecuencia predeterminada y en una manera complementaria el uno con el otro.
- el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) está siempre encendido;
- el mencionado interruptor primero ( $S_a$ ) está siempre apagado.

20  
25  
30  
35  
40  
45  
8. Un método para convertir la corriente continua en corriente alterna, que comprende al menos una fase de control de un convertidor multinivel ( $C_{NPC}$ ) para la conversión de una tensión continua ( $V_{dc}$ ) en una corriente alterna de salida ( $I_u$ ), **caracterizado por** el hecho de que comprende al menos una fase de generación de una corriente de referencia ( $I_{rif}$ ) y al menos una fase de cálculo de la diferencia entre la mencionada corriente de referencia ( $I_{rif}$ ) y la mencionada corriente de salida ( $I_u$ ), al menos una fase de determinación para determinar una tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) que será generada según la diferencia calculada entre, la mencionada corriente de referencia ( $I_{rif}$ ) y la mencionada corriente de salida ( $I_u$ ), al menos una fase de generación de la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) y al menos una fase de comparación del valor de dicha corriente de salida ( $I_u$ ) con al menos un valor umbral positivo preestablecido ( $I_p$ ) y al menos un valor umbral negativo preestablecido ( $I_n$ ), siendo la mencionada fase de control, conveniente para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por impulsos del tipo unipolar en el caso de que dicho valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea superior al mencionado valor umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) esté por encima de cero o en el caso que dicho valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) esté por debajo del valor umbral negativo mencionado ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea menor que cero y con una modulación de impulsos de tipo complementario en el caso de que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea menor que el mencionado valor umbral positivo ( $I_p$ ) y dicho voltaje de referencia ( $U_{rif}$ ) esté por encima de cero y en el caso que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) esté por encima del mencionado valor umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea menor que cero.

50  
55  
9. El método según la Reivindicación 8, **caracterizado por** el hecho que el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) incluye al menos una rama de salida ( $R_u$ ) que tiene por lo menos un primer y un segundo interruptor electrónico ( $S_a$  y  $S_b$ ) asociados en serie uno con el otro entre el polo positivo ( $V_{dc+}$ ) de una fuente de la mencionada tensión continua ( $V_{dc}$ ) y al menos un terminal de salida, y por tener al menos un tercero y un cuarto interruptor electrónico ( $S_c$  y  $S_d$ ) asociados en serie el uno con el otro entre el polo negativo ( $V_{dc-}$ ) de dicha fuente de corriente continua ( $V_{dc}$ ) y el mencionado terminal de salida.

60  
10. Método según la Reivindicación 9, **caracterizado por** el hecho que, el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) comprende al menos una rama de entrada ( $R_i$ ) por tener por lo menos dos condensadores (C) en serie el uno con el otro y teniendo al menos un terminal asociado con el polo positivo ( $V_{dc+}$ ) de dicha fuente de tensión continua ( $V_{dc}$ ) y al menos un terminal opuesto asociado con el polo negativo ( $V_{dc-}$ ) de dicha fuente de tensión continua ( $V_{dc}$ ), donde dicha rama de salida ( $R_u$ ) incluye al menos un primer diodo ( $D_a$ ) con el ánodo asociado con la mencionada rama de entrada ( $R_i$ ), en un punto de conexión (NP) entre los mencionados dos condensadores (C) y con el cátodo asociado con la mencionada rama de salida ( $R_u$ ), en un punto de conexión entre los mencionados primer y segundo interruptores ( $S_a$  y  $S_b$ ), y al menos un segundo diodo ( $D_b$ ) con el cátodo asociado con la mencionada rama de entrada ( $R_i$ ), en el mencionado

punto de conexión (NP) entre los mencionados dos condensadores (C), y con el ánodo asociado con dicha rama de salida ( $R_u$ ), en un punto de conexión entre los mencionados tercer y cuarto interruptores ( $S_c$  y  $S_d$ ).

- 5 11. El método según cualquiera de las Reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado por** el hecho de que, en caso de que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) esté por encima de dicho valor umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea superior a cero, la mencionada fase de control es adecuada para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con un modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en que:
- 10                    -el mencionado primer interruptor ( $S_a$ ) está conmutado periódicamente a una frecuencia preestablecida;  
                       -el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) está siempre encendido;  
                       - los mencionados tercer y cuarto interruptores ( $S_c$  y  $S_d$ ) están siempre apagados.
- 15 12. El método según cualquiera de las Reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado por** el hecho, que en caso de que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea inferior al mencionado valor umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea inferior a cero, dicha fase de control es conveniente para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) mediante modulación por ancho de impulsos de tipo unipolar en el que:
- 20                    -el mencionado cuarto interruptor ( $S_d$ ) está periódicamente conmutado a una frecuencia preestablecida;  
                       -el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) está siempre encendido;  
                       -los mencionados primer y segundo interruptores ( $S_a$  y  $S_b$ ) están siempre apagados.
- 25 13. El método según cualquiera de las Reivindicaciones de 8 a 12, **caracterizado porque**, en caso de que el mencionado valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea inferior al mencionado valor umbral positivo ( $I_p$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea superior a cero, dicha fase de control es conveniente para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en la que:
- 30                    -el mencionado primer interruptor ( $S_a$ ) y el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) conmutan periódicamente a una frecuencia preestablecida de manera complementaria entre sí;  
                       -el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) está siempre encendido;  
                       - el mencionado interruptor cuarto ( $S_d$ ) está siempre apagado.
- 35 14. El método según cualquiera de las Reivindicaciones 8 a 13, **caracterizado porque**, en caso de que dicho valor de la corriente de salida ( $I_u$ ) sea superior al valor umbral negativo ( $I_n$ ) y la mencionada tensión de referencia ( $U_{rif}$ ) sea inferior a cero, dicha fase de control es conveniente para controlar el mencionado convertidor ( $C_{NPC}$ ) con una modulación por ancho de impulsos de tipo complementario en que:
- 40                    -el mencionado segundo interruptor ( $S_b$ ) y el mencionado interruptor cuarto ( $S_d$ ) conmutan periódicamente a una frecuencia preestablecida de manera complementaria a uno al otro;  
                       - el mencionado tercer interruptor ( $S_c$ ) está siempre encendido;  
                       - el mencionado primer interruptor ( $S_a$ ) siempre está siempre apagado.

Fig. 1

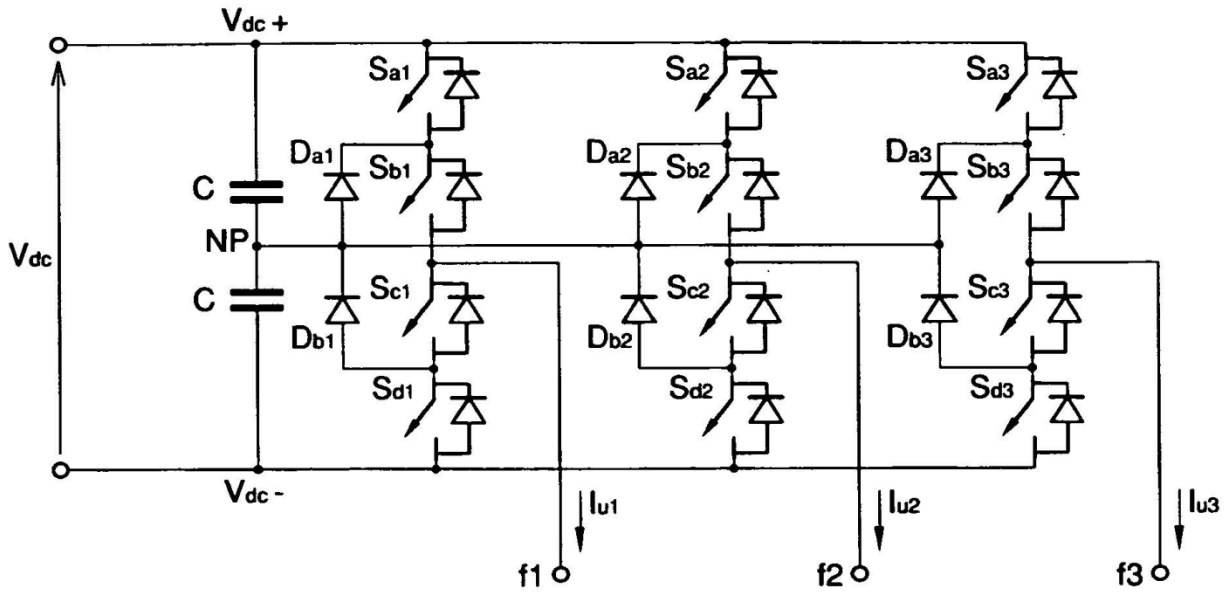


Fig. 2

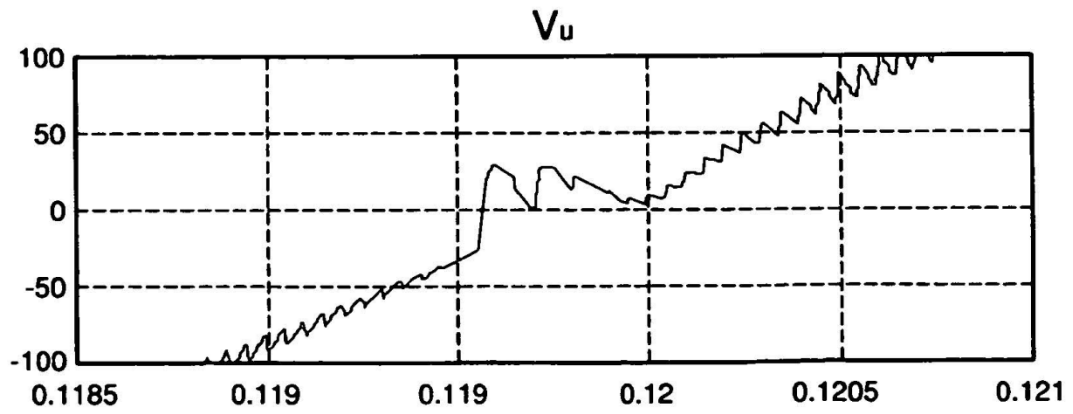


Fig. 3

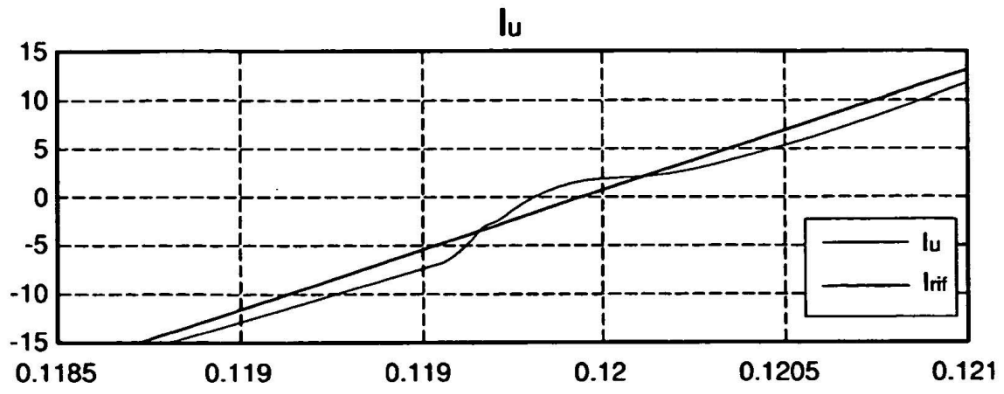


Fig. 4

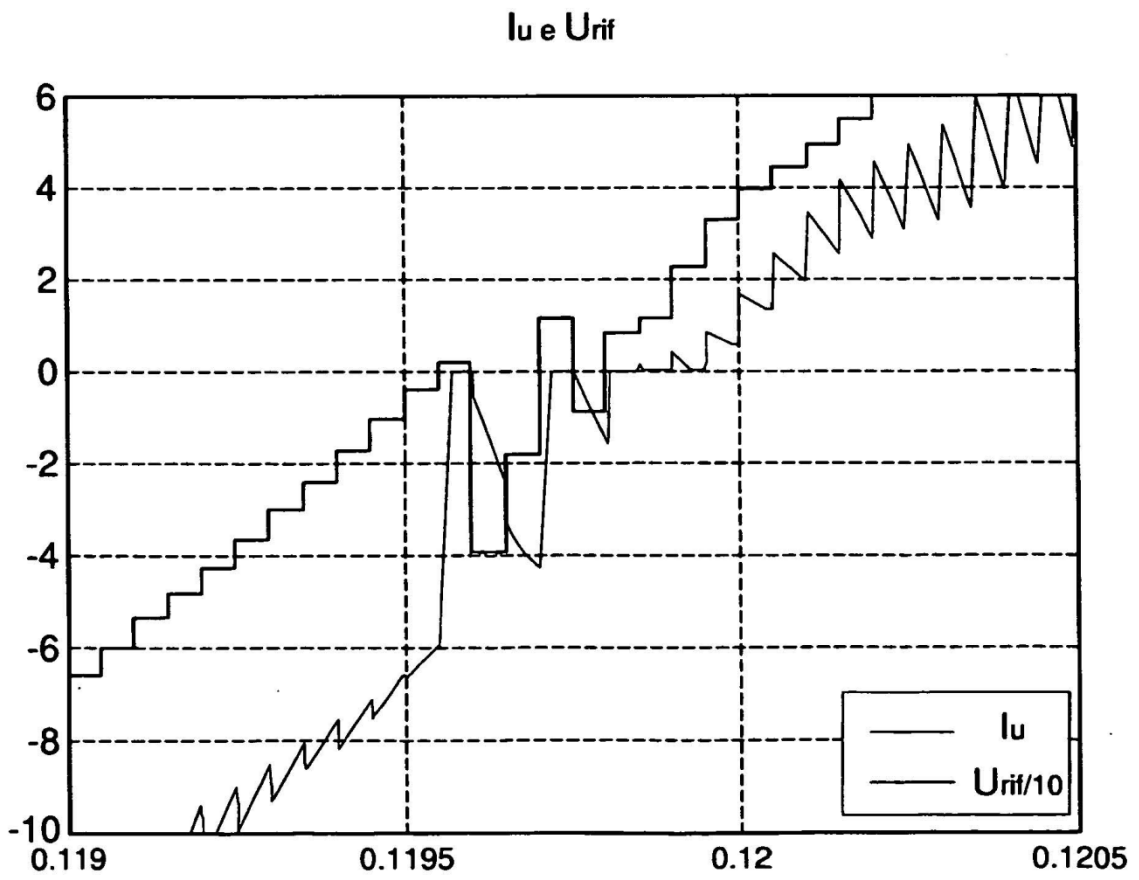


Fig. 5

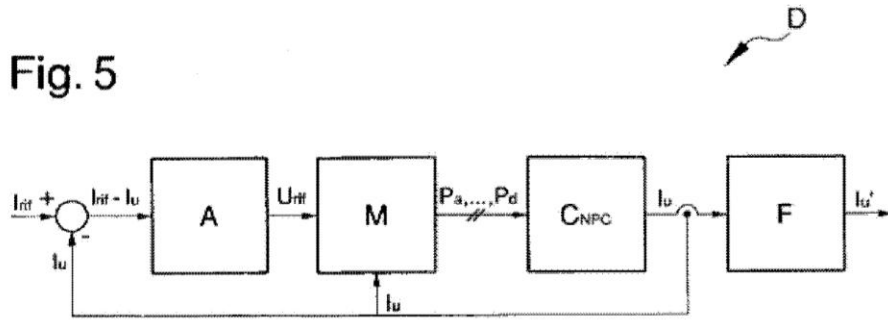


Fig. 6

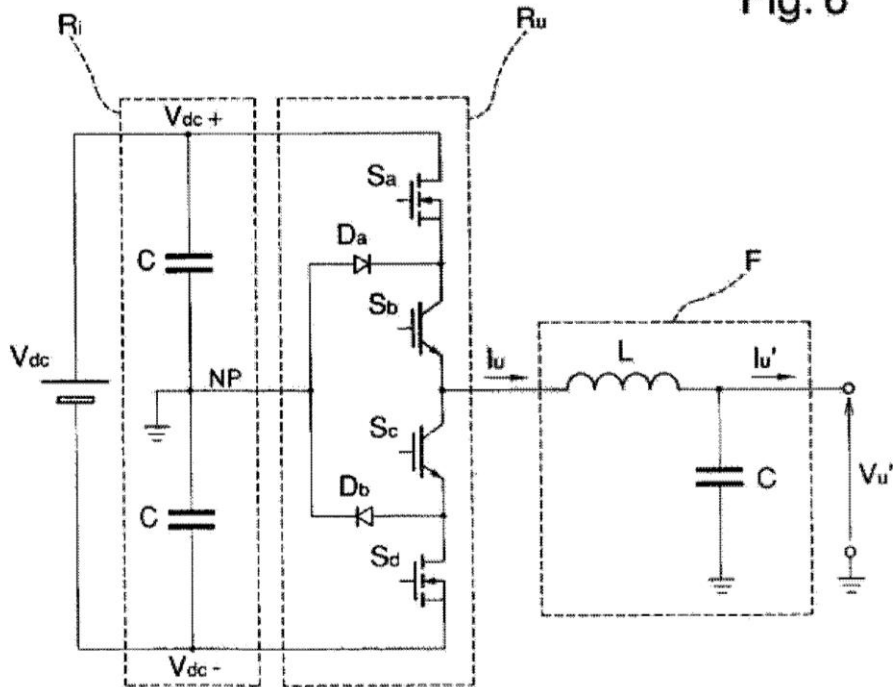


Fig. 7

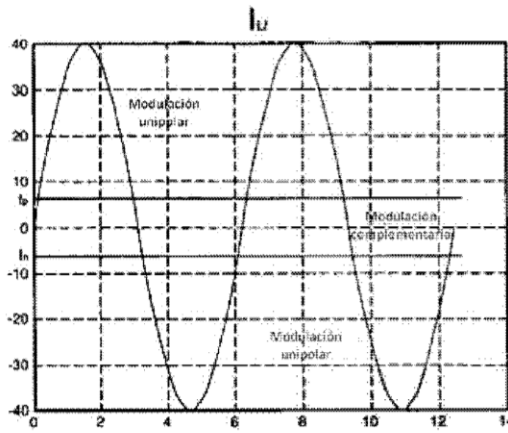


Fig. 8

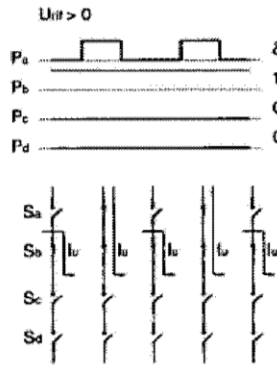


Fig. 9

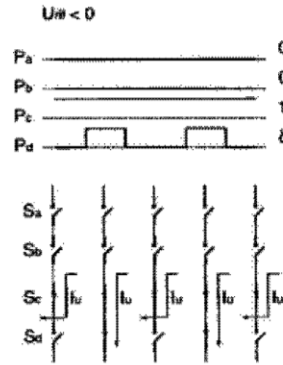


Fig. 10

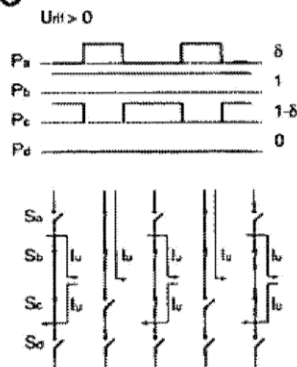


Fig. 11

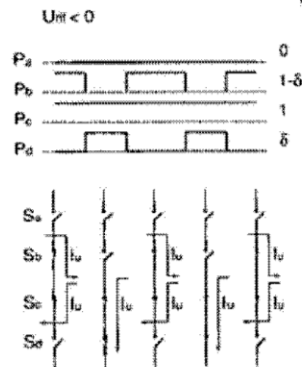


Fig. 12

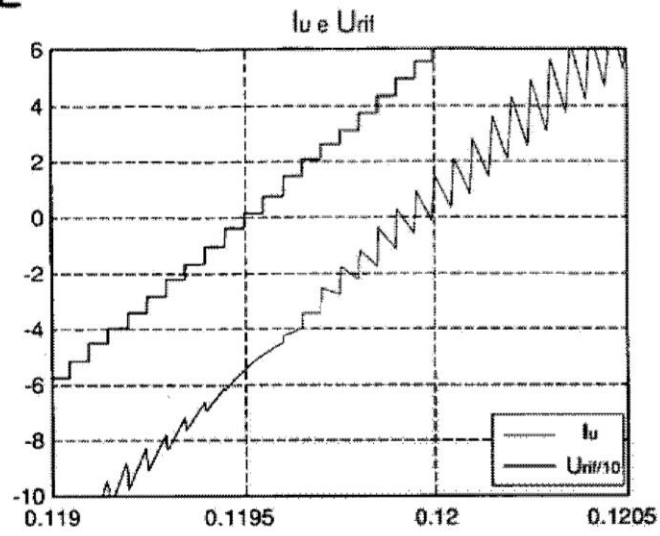


Fig. 13

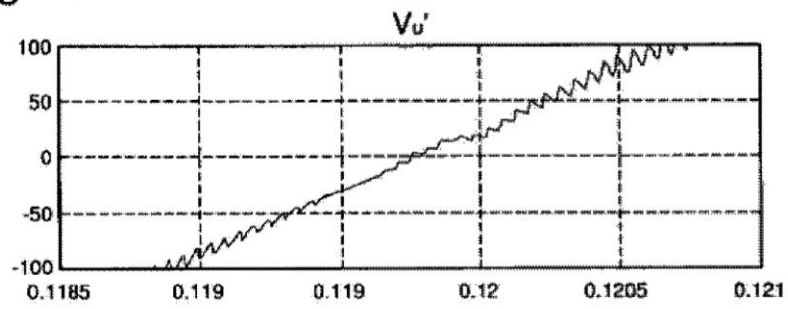


Fig. 14

