

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 598**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/50** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.09.2011** E 11007123 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019** EP 2448080

54 Título: **Sistema de control de un convertidor**

30 Prioridad:

**09.09.2010 ES 201001164**

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

**12.11.2019**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L. (100.0%)  
Avenida de la Innovación 9-11  
31621 Sarriguren (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

**LAFORGA GALLO, ROSA;  
SANTAMARIA ISLA, RAMON y  
SOTO APERRIBAY, MARTA**

ES 2 730 598 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

Sistema de control de un convertidor.

### 5 Objeto de la invención

El objeto de la invención está relacionado con el campo de la generación de energía eléctrica de una turbina eólica conectada a una red de suministro eléctrico, y específicamente con las turbinas eólicas y los sistemas de conversión de energía eléctrica que incluyen módulos convertidores para suministrar energía eléctrica a la red de suministro eléctrico.

### Antecedentes de la invención

Los aerogeneradores con velocidad de rotor variable se conectan a la red de distribución eléctrica a través de un convertidor de potencia que transforma la corriente alterna producida en un generador (que por regla general se encuentra acoplado a las palas a través de un multiplicador de velocidad) en corriente directa con de frecuencia y amplitud ajustables.

Para aplicaciones de alta potencia, es habitual implementar convertidores comprendidos en diferentes módulos interconectados en paralelo, los cuales permiten una mayor controlabilidad de la entrega de potencia en la red. Para lograr la mayor potencia posible, los elementos de dichos módulos convertidores se encuentran sobredimensionados; por lo que, dado que dicha potencia máxima únicamente puede ser entregada a la red en ocasiones muy puntuales, se hace necesaria la optimización de los diferentes módulos para asegurar una correcta gestión de cada punto de operación del convertidor.

Concretamente, en el caso de los aerogeneradores de velocidad variable en los que la potencia producida por el generador depende directamente de la velocidad del viento, la entrega de una energía eléctrica de alta calidad a la red de distribución eléctrica resulta compleja. Por otro lado, la propia conexión del inversor de red a la red de distribución eléctrica produce armónicos que deben ser eliminados, ya que, en caso contrario, pueden provocar un fallo en el aerogenerador con la consecuente parada de la máquina.

Se conocen en el Estado de la Técnica diferentes estrategias de activación y desactivación de los módulos convertidores de un convertidor de potencia, que tratan de solventar la aparición de armónicos con el objetivo de lograr una mayor eficacia y fiabilidad de dichos convertidores.

Un ejemplo de estrategia de conmutación de convertidores modulares conectados en paralelo, se muestra en la patente US 2008/0031024 que describe un convertidor modular comprendido por al menos dos módulos acoplados en paralelo y controlados mediante un medio de control. La invención mejora la influencia de los armónicos en la red, ocasionados por la conexión del convertidor a la red, mediante la conexión de tantos módulos convertidores como sean necesarios en un tiempo determinado, es decir, en función del viento y la potencia a obtener, activa o desactiva los módulos convertidores para entregar a la red la potencia requerida.

Otra estrategia de control es la descrita por el solicitante de la presente invención en la Patente Europea EP1768223, que describe un método para la utilización de un sistema convertidor de turbina eólica, que incluye módulos convertidores conectados en paralelo y capaces de convertir la energía eléctrica generada por un generador en energía eléctrica aplicable a una red de suministro eléctrico. El método determina la activación/desactivación de los módulos convertidores en respuesta a parámetros relacionados con la cantidad variable de energía eléctrica que produce el generador, como por ejemplo, temperaturas de los componentes del módulo convertidor, potencia aparente de referencia y potencia activa de referencia para el sistema convertidor, una referencia de corriente al sistema convertidor, un valor medido de la

energía aparente producida por el generador o la energía aparente suministrada a la red, un valor medido de la energía activa producida por el generador o la energía activa suministrada a la red, y un valor medido de la corriente producida por el generador o la corriente suministrada a la red.

5 W02007/003183 reivindica una turbina eólica con velocidad de rotor variable que transmite energía eléctrica AC a la red de suministro eléctrico, dicha turbina eólica comprende al menos un generador AC (7), y al menos una unidad de convertidor electrónico de potencia caracterizado por que en dicha turbina eólica además comprende al menos un transformador  
10 de valor de salida nominal para transformar al menos un valor de salida nominal de dicho generador a al menos un valor de entrada nominal diferente de dicha al menos una unidad de convertidor electrónico de potencia. Nada en W02007/003183 enseñaría o sugeriría que el sistema de control de conversión varía el número de módulos de convertidor habilitados por medio de un patrón de modulación PWM que modifica la diferencia de fase de conmutación  
15 para que se alcancen los módulos de conversión, y asegura el cambio a través de la variación gradual de la diferencia de fase entre los módulos, tal como se indica en la presente solicitud.

Así mismo, el Estado de la Técnica también contempla la posibilidad de desconexión de  
20 módulos de forma breve o forma prolongada y propone la activación/desactivación de los módulos convertidores mediante patrones de modulación por ancho de pulsos (PWM), de manera que dos o más convertidores se desfasen entre sí, reduciendo los componentes armónicos procedentes de la PWM y, por lo tanto, mejorando la calidad de la señal de tensión que se aplica a la red de suministro eléctrico.

25 Sin embargo, esta solución tiene un inconveniente: cuando es necesario variar el número de convertidores conectados y por lo tanto, el desfase de conmutación marcado en los patrones PWM, se hace necesario parar dicha conmutación, se deben reconfigurar los diferentes módulos con el nuevo desfase y después se tienen que volver a conectar. Es decir, hay que  
30 parar la entrega de energía eléctrica a la red, ya que si se activa o desactiva un nuevo módulo convertidor, se producen picos de corriente que hacen saltar las alarmas de sobrecorriente y el aerogenerador entra en parada de emergencia. Estas paradas originan cuantiosas pérdidas de producción.

### 35 Descripción de la invención

De acuerdo con la presente invención se propone un sistema de control de un convertidor de  
40 turbina eólica, que incluye al menos dos módulos convertidores conectados en paralelo y capaces de convertir la energía eléctrica generada por un generador en energía eléctrica aplicable a una red de suministro eléctrico, y que permite aumentar o disminuir el número de convertidores activados en función de la velocidad del viento.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar un método de control que mediante una  
45 conexión PWM sincronizada de módulos convertidores, garantice el nivel mínimo de armónicos en la red de distribución.

Es otro objeto de la invención garantizar una conmutación dinámica entre módulos  
50 convertidores, durante la entrega de energía eléctrica a la red de distribución, sin que salten las protecciones de sobrecorriente y sin que se produzcan picos de tensión por la conexión o desconexión de diferentes módulos según las necesidades de la red.

Para ello la invención comprende un sistema de control conectado al convertidor y al generador  
del aerogenerador.

El sistema de control calcula el número de convertidores que deben estar conectados para obtener una potencia dada, en función de la velocidad de viento y unos parámetros de potencia previamente establecidos, garantizando la máxima eficiencia y fiabilidad del convertidor.

5 Posteriormente, en función del número de módulos activados, se determina el número de módulos convertidores a activar/desactivar, calculando por otro lado el nuevo offset de conmutación de los módulos convertidores que deben permanecer activados.

10 El sistema de control reconfigura los módulos de control activados modificando sus offsets (desfases) de conmutación de forma gradual y continua, garantizando que no se producen picos de corriente en la red de distribución.

Estos y otros aspectos de la invención se describirán de una forma más detallada con ayuda de los dibujos e implementaciones que se describen a continuación.

15

### **Breve descripción de los dibujos**

20 La Figura 1 muestra un ejemplo de implementación de un sistema de control según la invención, conectado a un convertidor de un aerogenerador.

20

La Figura 2A muestra una gráfica de la señal de corriente de red sin el sistema de control de la invención, y la Figura 2B muestra una gráfica de la señal de corriente de red con el sistema de control de la invención.

25 La Figura 3A muestra una gráfica de la señal de la corriente del lado de red para un cambio de offset correspondiente a una variación en los números de módulos convertidores conectados.

La Figura 3B muestra una gráfica de la señal de la corriente del lado del generador en correspondencia con la figura anterior.

30

### **Descripción de una realización preferencial**

35 La Figura 1 ilustra un convertidor (1) que comprende al menos dos módulos convertidores (2) convencionales conectados en paralelo y que se encuentra conectado a un generador (3) de un aerogenerador, un transformador (4) que conecta la señal del sistema convertidor (1) a la red de suministro eléctrico (5) y un interruptor automático (6).

40 Cada módulo convertidor (2) del convertidor (1) incluye un contactor de generador (kgen) para desconectar el generador (3) de los mecanismos electrónicos del módulo convertidor (2), un inductor (2.1) para suavizar la corriente del generador, un inversor del generador (2.2) para transformar la señal CA del generador (3) en una señal CC, un condensador del bus CC (2.3) para filtrar las variaciones de la señal CC, un freno de chopper (2.4) para disipar la tensión residual, un inversor del lado de la red (2.5) para transformar la señal CC en una señal CA, y una inductancia (2.6) que, en combinación con condensadores, reduce los armónicos de la señal de tensión que se aplica a la red de suministro eléctrico (5).

45

El módulo convertidor (2) también incluye un contactor de red (kgrid) para desconectar la red de suministro eléctrico (5) de la electrónica del módulo convertidor (2) y un interruptor automático (2.8) para desconectar la red de suministro eléctrico (5) del módulo convertidor (2) en caso de sobretensión o sobrecorriente.

50

Según la invención, tal y como se muestra en la Figura 1, el convertidor (1) se encuentra conectado a un sistema de control (7) que a su vez está conectado al generador (3) del

aerogenerador, que garantiza la eficacia de funcionamiento del convertidor (1) así como la calidad de la señal de tensión que se aplica a la red de suministro eléctrico (5).

5 Antes de que los módulos convertidores (2) puedan suministrar energía eléctrica a la red de suministro eléctrico (5), deben activarse por transición desde un estado de desconexión inicial a un estado final, totalmente operativo que se controla mediante dicho sistema de control (7).

10 El inversor del lado del generador (2.2) y el inversor del lado de la red (2.5) de cada módulo convertidor (2) se activan aplicando señales eléctricas de activación, como señales de tensión con modulación por ancho de pulsos (PWM), y se desactivan aplicando señales eléctricas de desactivación, como señales con tensión cero, a la puerta de los transistores del inversor del lado del generador (2.2) y del inversor del lado de la red (2.5); siendo estos transistores de tipo IGBT.

15 La duración de una transición del estado activo al estado de desactivación del módulo convertidor (2), o la duración de la transición opuesta, del estado de desactivación al estado activo, puede estar entre 1 y 10 segundos.

20 Para conseguir la mejor eficacia del convertidor (1), el número de módulos convertidores (2) activos debe adaptarse a la cantidad real de energía eléctrica producida por el generador (3). Para ello, el sistema de control (7) calcula una corriente de conmutación dinámica en función de la diferencia entre la corriente a producir  $I_{\text{producible}}$  y la corriente real del convertidor  $I_{\text{conv\_real}}$  (siendo esta la suma de todas las corrientes reales de los diferentes módulos convertidores) La interpolación entre dicha corriente de conmutación dinámica  $I_{\text{DS}}$  y una tabla de parámetros relacionados con la velocidad del viento determinará el número de convertidores que deben activarse.

30 De cara a evitar que siempre se activen y/o desactiven los mismos módulos (2), el sistema de control (7) dispone de al menos una secuencia de activación que determina el orden en el que los módulos convertidores (2) se activarán y/o desactivarán. Así mismo, si según la secuencia de activación prefijada es necesario activar el siguiente módulo convertidor (2), y éste no esté listo, el sistema de control (7) activará el siguiente módulo convertidor (2) según dicha secuencia de activación.

35 Por otro lado, el sistema de control (7) de la invención conmuta el inversor del lado de la red (2.3) en función de una modulación por ancho de pulsos (PWM), mediante la cual se reducen los armónicos generados por la técnica de PWM, garantizando que los patrones de modulación por ancho de pulsos (PWM) de dos o más módulos convertidores (2) se desfazan entre sí. Dicho desfase dependerá del número de módulos convertidores (2) que deban estar conectados para garantizar la eficacia del convertidor (1) en función de la cantidad de energía producida por el generador (1).

45 El sistema de control (7) regula de forma dinámica el paso de un desfase X, para un número determinado de módulos convertidores (2) activados, a otro desfase Y, en relación a un número mayor o menor de módulos convertidores (2) conectados; para ello, antes de activar o desactivar el módulo convertidor correspondiente, aumenta o disminuye gradualmente el desfase existente entre los módulos convertidores conectados, garantizando la continuación de la conmutación durante esta variación gradual del desfase, evitando de esta manera tener que dejar de entregar potencia a la red de suministro eléctrico (5), así como la aparición de picos de corriente que provoquen una alarma que haga detener el aerogenerador.

Las Figuras 2A y 2B muestran la señal de corriente de red, con y sin el sistema de control respectivamente, para una variación de offset (desfase) de  $90^\circ$  a  $180^\circ$ , es decir, para una variación de 4 a 2 módulos convertidores. Tal y como se observa en la gráfica de la figura 2A,

5 en la señal de corriente de red sin el sistema de control de la invención, cuando se produce una variación en el número de módulos convertidores conectados, se producen unos picos de corriente que provocan sobrecorrientes que generan unas alarmas que hacen detener la producción de energía eléctrica. En la Figura 2B se muestra la señal de corriente entregada a la red por un convertidor provisto del sistema de control de la invención; en dicha señal de corriente no se observa la existencia de picos de corriente.

10 Como ya se ha indicado anteriormente, el sistema de control (7) comprueba la cantidad real de energía eléctrica producida por el generador (3) y en función de unos parámetros de potencia preestablecidos relacionados con la velocidad del viento existente, determina (7.1) el número de módulos convertidores (2) que deben estar activados, fijando (7.2) a su vez el patrón de desfase de modulación por ancho de pulsos (PWM) entre los módulos convertidores (2) que deben estar activados y variando (7.3) de forma gradual, mediante una señal de rampa, los desfases entre los módulos convertidores (2) activados hasta alcanzar el desfase del patrón de modulación determinado en los cálculos realizados (ver figuras 3A y 3B).

15

## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Sistema de control de un convertidor (1) acoplado entre un generador de un aerogenerador y la red de distribución de energía eléctrica, que dispone de al menos dos módulos convertidores conectados en paralelo cuya activación/desactivación por patrones desfasados de modulación por ancho de pulsos (PWM), caracterizado porque el sistema de control (7) determina el número de módulos convertidores a ser activados/desactivados basados en la cantidad real de energía eléctrica producida por dicho generador (3) de aerogenerador y de un número de parámetros de potencia preestablecidos en relación con la velocidad del viento
- 10 existente, antes de activar o desactivar un módulo convertidor, gradualmente se modifica el desfase existente entre los módulos convertidores conectados, entonces dinámicamente se activa o desactiva al menos un módulo convertidor (2) sin desconectar el sistema de control del convertidor (1) de la red de distribución eléctrica (5), manteniendo la energía eléctrica entregada a la red de distribución (5) constante y sin alteraciones significativas, y variando el
- 15 número de módulos convertidores (2) activados mediante un patrón de modulación PWM que modifica los desfases de conmutación de los módulos activados de forma gradual y continua, hasta que el nuevo desfase de conmutación de los módulos convertidores (2) es alcanzado, y garantiza la conmutación a lo largo de toda la variación gradual del desfase entre módulos (2).
- 20 2.- Sistema de control de un convertidor, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho sistema de control de convertidor determina al menos una secuencia de activación/desactivación de los módulos convertidores que marca el orden en el que los módulos convertidores (2) se activarán y/o desactivarán.
- 25 3.- Sistema de control de un convertidor, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho sistema de control de convertidor se conecta entre dicho generador (3) y dicho convertidor (1) de un aerogenerador.

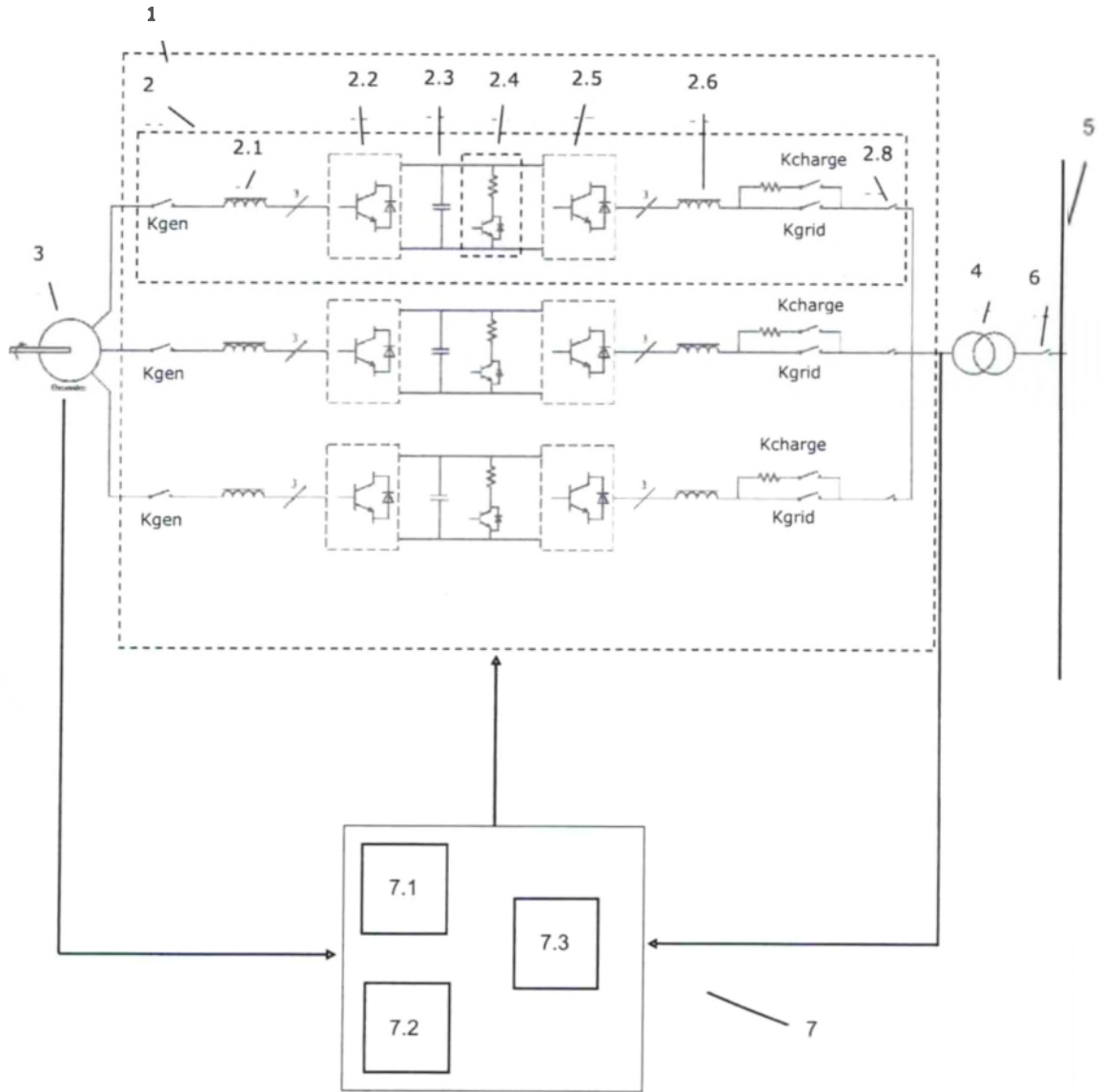


Figura 1



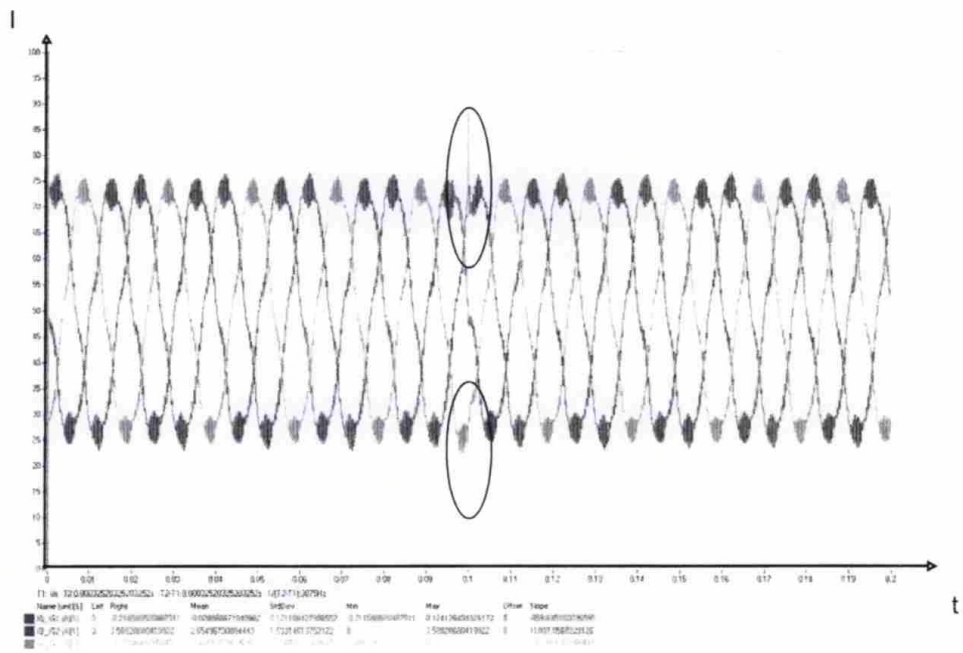


Figura 2A

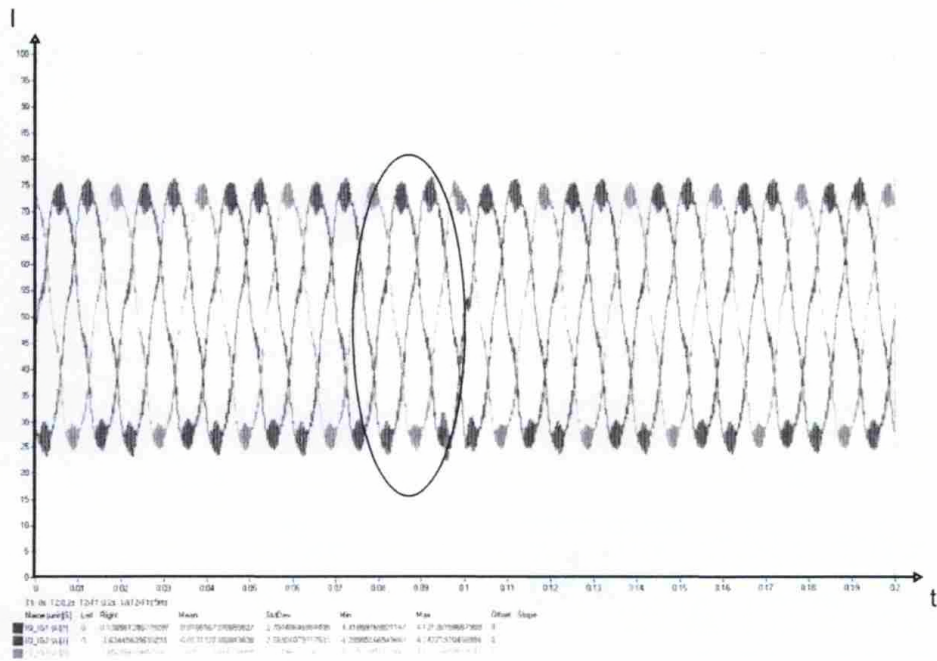


Figura 2B

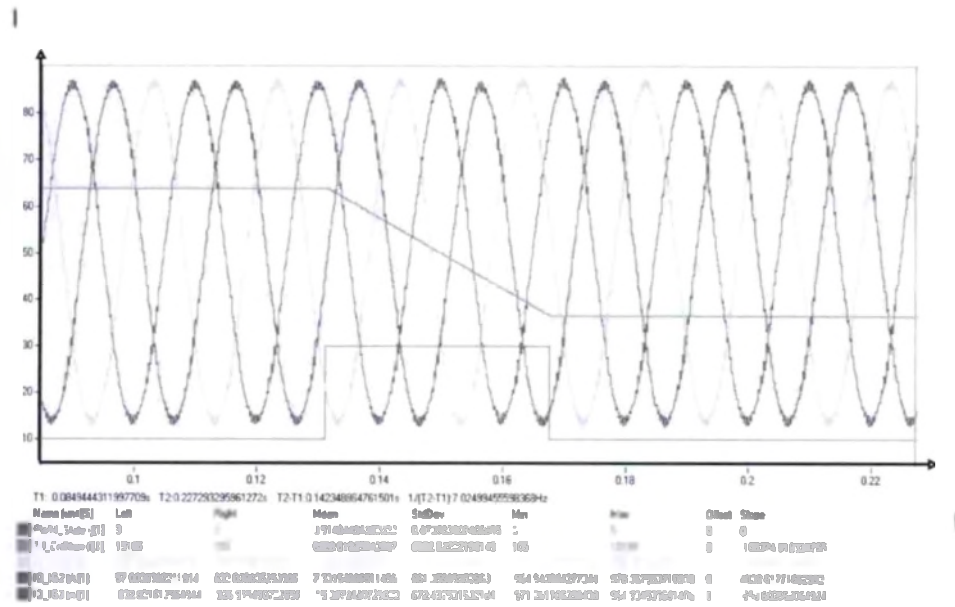


Figura 3A

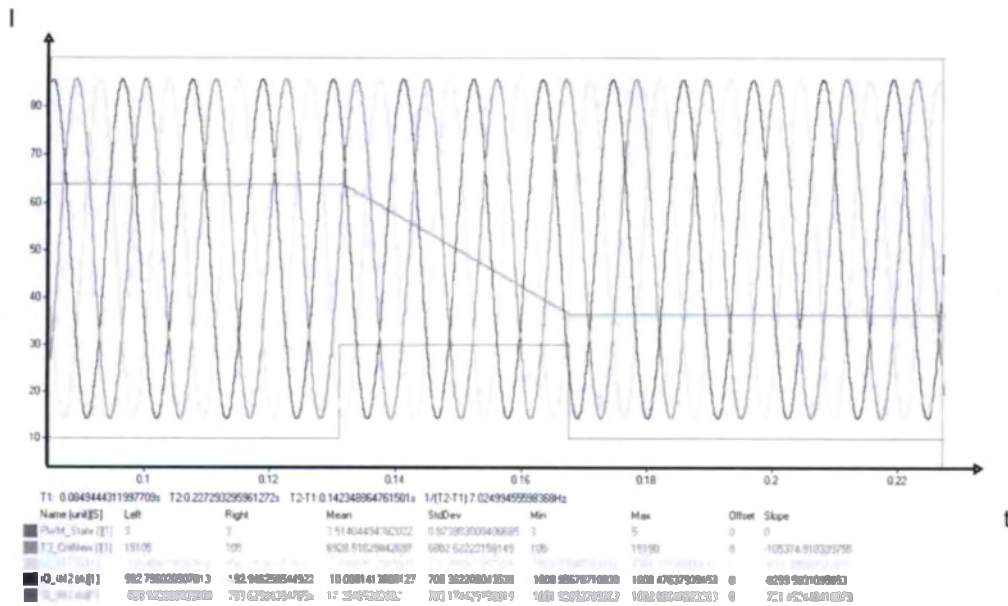


Figura 3B