

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 810 816**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2016** **E 16177856 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 3125398**

54 Título: **Control de demanda interna para un aerogenerador**

30 Prioridad:

**31.07.2015 DE 102015009742**

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

**09.03.2021**

73 Titular/es:

**SENVION DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)**  
**Überseering 10**  
**22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**LETAS, HEINZ-HERMANN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 810 816 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Control de demanda interna para un aerogenerador

5 La invención se refiere a un aerogenerador que comprende una red de demanda interna para suministrar componentes accionados por electricidad del aerogenerador con un control de demanda interna para regular el voltaje en la red de demanda interna. La invención también se extiende a un procedimiento para accionar el control de demanda interna para el aerogenerador. Además, la invención se refiere a un parque eólico adecuadamente equipado y a un producto de programa informático para llevar a cabo el procedimiento.

10 Los aerogeneradores de tipo moderno tienen una gran cantidad de componentes eléctricos que son necesarios para el correcto funcionamiento del aerogenerador. Estos incluyen, por ejemplo, un dispositivo de ajuste de azimut que rastrea la orientación de la góndola con respecto al viento para que un rotor eólico del aerogenerador esté siempre orientado en la dirección del viento y, por ejemplo, el calentamiento de la pala para proteger al aerogenerador contra la formación de hielo dañino incluso en funcionamiento en invierno, así como el control de funcionamiento, que monitoriza los componentes del aerogenerador y controla su funcionamiento y, si es necesario, lleva a cabo la comunicación necesaria con unidades de nivel superior, tal como un jefe de parque eólico o un centro de control del  
15 operador de la red de transmisión. La energía eléctrica requerida para suministrar los componentes se conoce como demanda interna.

20 Se sabe que la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de estos componentes se deriva del circuito de energía del aerogenerador, a través del cual alimenta la energía generada por él a una red. Con el fin de garantizar el suministro de sus propios componentes con un nivel de voltaje lo más predeterminado posible, se proporciona un control de demanda interna. Para este propósito, se sabe que se proporciona un transformador para transmitir energía eléctrica desde el circuito de energía a la red para demanda interna. Como es bien sabido, los transformadores tienen una relación de transformación de voltaje fija. Esto es desfavorable, ya que los componentes de los aerogeneradores que se suministrarán con energía de demanda interna generalmente tienen una tolerancia de voltaje más baja que la tolerancia para la red de suministro. Por lo tanto, es necesario limitar las fluctuaciones de voltaje, como pueden ocurrir  
25 debido a las grandes tolerancias en el circuito de alimentación de la red de suministro, en menor medida. Se sabe usar, por ejemplo, un transformador variable para este propósito, con el fin de adaptarse gradualmente al voltaje de red.

30 Sin embargo, dicho control, que se conoce de la técnica anterior y es convencional en este sentido, tiene la desventaja de que tiene un tiempo de reacción muy largo. Esto significa que no puede reaccionar lo suficientemente rápido a los cambios dinámicos de voltaje. Esto se aplica en particular con respecto a sobrevoltajes repentinos que se producen en la red, con lo que el aerogenerador permanece conectado a la red al menos temporalmente según sea necesario (OVRT - Over Voltage Ride Through). En el caso de los aerogeneradores conocidos de la técnica anterior, existe el riesgo de que el sistema convencional de control de demanda interna no pueda reaccionar con la suficiente rapidez, de modo que puede producirse un sobrevoltaje inadmisibles en la red de demanda interna, lo que provocará cargas críticas y posiblemente incluso daños a los componentes suministrados del aerogenerador.  
35

El objetivo de la invención es mejorar el control de demanda interna para aerogeneradores del tipo mencionado al principio y proporcionar un procedimiento operativo correspondiente.

40 En el caso de un aerogenerador con un rotor eólico, un generador accionado por este último para generar energía eléctrica y una línea de conexión para suministrar la energía eléctrica a una red, que comprende además una red de demanda interna para suministrar componentes accionados por electricidad del aerogenerador, que se alimenta desde la línea de conexión a través de una línea de alimentación y con un control de demanda interna para controlar el voltaje en la red de demanda interna, la invención proporciona un módulo de resistencia en la línea de alimentación, que está realizado con múltiples vías y comprende una vía de resistencia con una resistencia en serie y una vía de conmutación en paralelo con un interruptor electrónico controlable, que está diseñado para actuar en un estado de  
45 sobrevoltaje y para puentear la resistencia en serie en estado inactivo. El documento WO2011/023238 A1 muestra un circuito para proteger un aerogenerador contra sobrevoltajes. El documento EP2 644 885 A2 muestra un aerogenerador que también proporciona protección contra sobrevoltajes.

Algunos términos usados se explican a continuación:

Se entiende que una resistencia en serie significa una resistencia en bucle en una línea.

50 Se entiende que un interruptor electrónico significa un interruptor no mecánico, preferentemente un interruptor semiconductor, como tiristores, GTO, IGCT, IGBT, etc. Tales interruptores electrónicos tienen velocidades de conmutación que son considerablemente más cortas que 10 ms, típicamente 1 ms o menos.

La esencia de la invención se basa en el uso del módulo de resistencia para reducir, de manera controlada, un sobrevoltaje que se produce, como puede producirse repentinamente en el caso de un denominado OVRT, hasta el punto de que el voltaje en la red de demanda interna permanezca dentro del intervalo tolerable. Al proporcionar un interruptor electrónico para el módulo de resistencia, se pueden lograr tiempos de respuesta muy rápidos. Los tiempos de subida resultantes son más cortos que un período en la red (más cortos que 20 ms para una red de 50 Hz),  
55

típicamente son considerablemente más cortos y son aproximadamente de 1 ms o menos. En estado inactivo, el interruptor está cerrado, de modo que la resistencia en serie se puentea y el flujo de corriente para suministrar la red de demanda interna no se ve afectado. A este respecto, se aplica que el voltaje en la red de demanda interna sigue al de la línea de alimentación. Sin embargo, si el interruptor electrónico se activa para abrirse, la resistencia en serie actúa como una resistencia adicional, a través de la cual se produce una caída de voltaje. Su altura depende del valor de resistencia por un lado y del flujo de corriente por el otro. El voltaje excesivamente alto presente en la línea de alimentación se reduce por esta caída de voltaje, de modo que solo un voltaje más bajo está presente en la red de demanda interna. En el caso de un sobrevoltaje (fuera de la banda de tolerancia para la red de demanda interna), el interruptor solo necesita ser activado, lo que lo abre y actúa la resistencia adicional. De esta manera, es extremadamente fácil y al mismo tiempo efectivo proteger la red de demanda interna contra sobrevoltajes dañinos.

Al proporcionar el interruptor electrónico en combinación con la resistencia adicional, no solo se logra una reducción de sobrevoltaje rápida y efectiva, sino que también es extremadamente fiable y resistente al desgaste. Esto se debe a que el interruptor electrónico provisto permite un número casi ilimitado de operaciones de conmutación en comparación con los interruptores mecánicos usados anteriormente. Esto puede usarse, preferentemente, para un circuito de control para accionar el interruptor electrónico de manera modulada. En particular, esto se puede hacer usando un modulador de ancho de pulso (PWM). De esta manera, la resistencia eficaz efectiva del módulo de resistencia se puede establecer de forma prácticamente continua cambiando el ciclo de trabajo, de un efecto de resistencia nula continuamente al valor de resistencia real de la resistencia en serie. El módulo de resistencia se convierte así en un módulo de resistencia variable. Esto permite una reacción particularmente sensible a sobrevoltajes, con lo que la situación de carga actual que actúa en la red de demanda interna y, por lo tanto, la corriente que fluye a través de la línea de alimentación también se pueden tener en cuenta. Para este propósito, se proporciona convenientemente un regulador de limitación de voltaje, que está conectado aguas arriba del circuito de control. En el regulador de limitación de voltaje, la señal de medición se puede alimentar a un dispositivo de medición de voltaje en la línea de conexión como una señal de entrada. Posteriormente, el regulador de limitación de voltaje acciona el circuito de control de modo que se produce una caída de voltaje de tal magnitud a través del módulo de resistencia variable que el voltaje en la red de demanda interna permanece dentro del intervalo permitido.

Con la invención se logra en particular que, durante el tiempo de sobrevoltaje, el voltaje de salida en el extremo del módulo de resistencia variable y, por lo tanto, el voltaje en la red de demanda interna puede ser limitado. En funcionamiento normal, sin embargo, el módulo de resistencia no tiene efectos adversos gracias al puenteo del interruptor. Si es necesario, gracias al interruptor electrónico, puede reaccionar muy rápidamente, preferentemente en el intervalo de un milisegundo o menos. Esto proporciona una protección muy eficaz contra sobrevoltajes dañinos.

En sistemas multifásicos, se puede proporcionar un módulo de resistencia separado, preferentemente variable, para cada fase. Si es necesario, cada fase también se puede controlar individualmente. El valor límite al que se puede aumentar el voltaje en la red de demanda interna se puede seleccionar libremente. Una ventaja práctica adicional del modo de realización según la invención es que la resistencia en serie del módulo de resistencia solo se carga durante un período de sobrevoltaje y que no se carga térmicamente en absoluto en estado inactivo. Esto significa que sus reservas térmicas completas están disponibles para sobrevoltaje.

El módulo de resistencia tiene convenientemente una vía paralela adicional con un filtro de suavizado LC. El filtro LC sirve como depósito de energía y suaviza los efectos conmutando rápidamente el interruptor electrónico. Se logra que un valor medio temporal de la resistencia correspondiente al ciclo de trabajo del interruptor electrónico sea eficaz a la salida del módulo de resistencia variable. De esta manera, la caída de voltaje, que puede seleccionarse libremente mediante la selección del ciclo de trabajo, se suaviza.

El regulador de voltaje tiene convenientemente una regulación rápida, cuya constante de tiempo es más corta que un período de la frecuencia de red. Por lo tanto, una regulación de acción muy rápida puede implementarse casi instantáneamente. Sin embargo, también se puede proporcionar una regulación lenta con control piloto para el regulador de voltaje. Una señal para un flujo de corriente en la red de demanda interna se aplica en su entrada. Por lo tanto, se calcula un valor de control piloto basado en el valor para la demanda de potencia actual de la red de demanda interna y la resistencia del módulo de resistencia variable, y en consecuencia se emite como una señal de salida desde el regulador de voltaje al circuito de control, que controla el interruptor electrónico con una señal PWM correspondiente. En esta realización, se tiene en cuenta la carga actual en la red de demanda interna, por lo que no es necesaria una regulación extremadamente rápida. Una regulación de voltaje de acción lenta con una constante de tiempo que puede ser más larga que un período de la frecuencia de la red es suficiente.

Si se proporciona un módulo de resistencia separado, preferentemente variable, para cada fase en un sistema multifásico, es conveniente que estos sean controlados globalmente por un regulador de limitación de voltaje común. Es conveniente un modo de realización con un módulo de medición de voltaje multifásico, que está diseñado para formar un fasor de voltaje giratorio.

El regulador de limitación de voltaje tiene, preferentemente, un filtro armónico. De esta forma, los armónicos no se compensan, de modo que los armónicos en la corriente de demanda interna pueden causar armónicos correspondientes en el voltaje de salida. De esta manera, se aligera la regulación.

La invención también se extiende a un control de demanda interna del aerogenerador para suministrar la red de demanda interna de aerogeneradores. Para una explicación más detallada, se hace referencia a la descripción anterior.

5 La invención se extiende además a un procedimiento para regular el voltaje en una red de demanda interna de un aerogenerador. Para una explicación más detallada, se hace referencia a la descripción anterior.

La invención se define en las reivindicaciones independientes 1, 11 y 13. La invención se explica con más detalle a continuación con referencia al dibujo adjunto, en el que se muestra un modo de realización ventajosa. Muestran:

La figura 1: una representación esquemática simplificada de un aerogenerador según la invención;

La figura 2: una representación esquemática simplificada de un suministro a una red de demanda interna;

10 Las figuras 3 a-b: diferentes modos de realización para un módulo de resistencia para suministro;

Las figuras 4 a-d: diferentes modos de realización para un interruptor electrónico controlable;

La figura 5: un diagrama de bloques que ilustra el circuito de control y el regulador de limitación de voltaje para el módulo de resistencia;

La figura 6: diagramas para mostrar las magnitudes eléctricas;

15 La figura 7: un diagrama de bloques adicional para un modo de realización trifásico;

Las figuras 8 a-g: diagramas para mostrar el modo de acción en una avería simétrica; y

Las figuras 9 a-g: diagramas para mostrar el modo de acción en una avería asimétrica.

20 Un aerogenerador, designado en su totalidad por el número de referencia 1, de acuerdo con un modo de realización ejemplar de la invención, comprende una torre 10 con una góndola 11 dispuesta de forma pivotante en la dirección acimutal en su extremo superior. Un rotor eólico 12 con palas ajustables 13 está dispuesto en una cara frontal de la góndola 11 y, a través de un eje de rotor, no mostrado, acciona un generador 14 con un convertidor conectado 15 para generar energía eléctrica. Esta energía eléctrica generada se suministra a una red 19 (red interna del parque o red de transmisión eléctrica) por medio de una línea de conexión 17 a través de un transformador 18 dispuesto en la base de la torre del aerogenerador 1.

25 Para llevar a cabo el funcionamiento, el aerogenerador comprende una pluralidad de componentes 2, tales como, por ejemplo, un control operativo 20 en la góndola 11, una batería de emergencia 21 y una unidad de ajuste de la pala del rotor 22 y un calentador de la pala del rotor 23 en el cubo del rotor eólico 12. Estos componentes 2 están conectados a su red de demanda interna 3 para su suministro. La red de demanda interna 3 se suministra a su vez desde la línea de alimentación 16 por medio de un control de demanda interna 6, que comprende un módulo de resistencia 4, un  
30 circuito de control 7 y un regulador de limitación de voltaje 8 (véase la figura 5).

La conexión eléctrica del módulo de resistencia 4 se visualiza en un diagrama de circuito equivalente en la figura 2. En una entrada del módulo de resistencia 4, se conecta la línea de alimentación 16, que se conecta a la línea de conexión 17 y se alimenta desde allí con un voltaje U1. En la salida del módulo de resistencia 4, la red de demanda interna 3 para suministrar los componentes eléctricos 2 está conectada, estando esto último simbolizado aquí por sus  
35 cargas óhmicas e inductivas. En la red de demanda interna, el voltaje U2, cuyo nivel se determina en función del nivel del voltaje de entrada U1, se rige por la relación del módulo de resistencia 4, por un lado, y las impedancias de los componentes 2, por otro lado.

En las figuras 3a, b se muestran modos de realización diferentes para el módulo de resistencia 4. En la figura 3a se muestra una variante simple 4' para un módulo de resistencia variable. Está realizado con dos vías, con lo que una  
40 resistencia en serie 40 está dispuesta en una vía de resistencia superior en la ilustración. La resistencia en serie 40 está realizada, preferentemente, como una resistencia con un valor fijo (resistencia fija). Una vía de conmutación, en la que está dispuesto un interruptor electrónico controlable 5, está conectada en paralelo como una vía inferior a la vía de resistencia. La resistencia en serie 40 se puede puentear accionando el interruptor. De este modo, la resistencia total del módulo de resistencia 4' puede variarse, dependiendo de del accionamiento del interruptor electrónico 5. Si,  
45 por ejemplo, el interruptor electrónico se acciona con una señal de onda cuadrada, el perfil a lo largo del tiempo se muestra en el segundo diagrama de la figura 3b. La línea discontinua muestra el valor medio resultante a lo largo del tiempo. Al diseñar la señal de onda cuadrada activada como una señal de ancho de pulso (PWM), la resistencia general del módulo de resistencia variable 4' se puede ajustar continuamente entre un valor de resistencia de 0  $\Omega$  (con un ciclo de trabajo del 100 %) hasta una resistencia máxima, a la que corresponde el valor nominal de la resistencia  
50 en serie 40 (con un ciclo de trabajo del 0 %, es decir, por lo tanto, el interruptor no se activa).

En la figura 3b se muestra el módulo de resistencia en una variante variable adicional, que se basa en la variante 4' mostrada en la figura 3a y además proporciona un filtro LC 45. Aquí, se proporciona una tercera vía, en la que un condensador 46 del filtro LC está conectado en paralelo. Una inductancia 47 está dispuesta en la conexión entre la

tercera vía y la vía de resistencia. El filtro LC 45 amortigua las vibraciones causadas por el accionamiento del interruptor y, además, funciona como un depósito de energía. Esto da como resultado el perfil de la resistencia a lo largo del tiempo que se muestra en el segundo diagrama. Se puede ver que, cuando se establece el mismo ciclo de trabajo que en el ejemplo mostrado en la figura 3a, se obtiene la misma resistencia promedio (véase la línea discontinua), pero con valores de amplitud considerablemente más bajos de la resistencia instantánea real. El comportamiento de conmutación de este módulo de resistencia variable 4 es, por lo tanto, considerablemente más silencioso. Al igual que con la variante 4', el valor de resistencia se puede establecer entre 0  $\Omega$  (ciclo de trabajo al 100 %) hasta la resistencia nominal de la resistencia en serie 40 (ciclo de trabajo al 0 %) ajustando el ciclo de trabajo.

En la figura 4 se muestran varias configuraciones para el interruptor electrónico 5. En aras de la claridad, la vía de resistencia con la resistencia 40 se muestra adicionalmente en líneas discontinuas. En el modo de realización de acuerdo con la figura 4a, el interruptor electrónico 5 tiene dos válvulas de flujo, tales como GTO o IGBT. Estas están dispuestas en conexión antiparalela. Esta disposición ofrece la ventaja de la simplicidad conceptual. En la figura 4b se muestra un modo de realización que tiene un puente rectificador 53 y solo un elemento de conmutación 54, que se realiza, por ejemplo, como un IGBT. Se asigna un diodo 55 conmutado en sentido contrario al IGBT 54. Debido al puente rectificador 53, este circuito tiene la ventaja de que solo necesita un elemento de conmutación activo. Se puede usar un IGBT para esto, lo que significa que se puede usar el intervalo completo de modulación. Una variante del circuito mostrado en la figura 4b está contenida en la figura 4c. Aquí, se cambia la disposición de la resistencia 40. Aquí, el puente rectificador 53 ya no está dispuesto entre la resistencia 40 y el IGBT 54, sino que el puente rectificador 53 está conectado aguas arriba de la resistencia 40 y, por lo tanto, también el elemento de conmutación 54. Por lo tanto, el flujo de corriente a través de la resistencia 40 es solo en una dirección.

En la figura 4d se muestra una variante en la que se proporcionan dos IGBT 56, 57 en una conexión antiparalela. La corriente fluye en cada caso a través de uno de los IGBT 56, 57 y en cada caso el diodo diagonalmente opuesto 55, 55', que en consecuencia también están dispuestos en direcciones opuestas. Este circuito tiene la ventaja de que no necesita un puente rectificador y, por lo tanto, es de construcción simple, pero a diferencia del circuito mostrado en la figura 4a, tiene el intervalo de modulación completo.

Un circuito de control 7 y un regulador de limitación de voltaje 8 para generar la señal de control PWM para el interruptor electrónico 5 se muestran en la figura 5. El regulador de limitación de voltaje 8 tiene un elemento diferencial 81 en su entrada, al que se aplican señales para un voltaje de referencia Uref y para el voltaje real medido Uist en la red de demanda interna 3. El voltaje máximo permitido en la red de demanda interna 3 se usa como valor para el voltaje de referencia Uref, que suele ser el 115 % del voltaje nominal. En el caso de un sobrevoltaje, el voltaje en la red de demanda interna 3 debe ajustarse a este valor de referencia como valor máximo. La diferencia de regulación calculada por el elemento diferencial 81 se alimenta a la entrada de un núcleo de regulación 82, que está diseñado como un regulador PI. Le sigue un elemento limitador 83 que limita la señal de salida del elemento PI. La señal se conecta luego a un amplificador de salida 84, que en consecuencia emite una variable manipulada desde el regulador 8. La variable manipulada se aplica a una entrada del circuito de control 7. De esta entrada es conducida a un elemento sumador 71. Una conexión de un generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72 está conectada a su otra entrada. El generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72 está diseñado para suministrar un voltaje alterno, preferentemente, en forma de diente de sierra en un intervalo de unos pocos kilohercios, por ejemplo 5 kHz. La otra conexión del generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72 está conectada a una conexión negativa de un amplificador operacional 73. La señal de suma calculada por el elemento sumador 71 está conectada a una conexión positiva del amplificador operacional 72. El amplificador operacional 72 amplifica así la señal generada por el generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72, en la que se añade un desplazamiento a través del elemento sumador 71 en función de la señal de salida del regulador de voltaje 8. La señal de salida rectangular, así emitida por el amplificador operacional 73, está conectada a la conexión de control del IGBT 54 del interruptor electrónico 5. El interruptor electrónico 5 se acciona así de manera sincronizada. El control está diseñado de tal manera que el interruptor electrónico 5 está cerrado en la posición de reposo y, por lo tanto, puentea la resistencia 40. Además, se proporciona una línea de retorno 74, que conduce de regreso desde una conexión del IGBT a esa entrada del elemento sumador 71, al que está conectado un polo del generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72.

El comportamiento operativo resultante se muestra en la figura 6. En la figura 6a se muestran los voltajes U1 (línea discontinua) y U2 (línea continua). En la figura 6b se muestra el voltaje de referencia máximo permitido Vref (línea discontinua) y nuevamente el voltaje U2 en la red de demanda interna 3 (línea continua). El flujo de corriente I se muestra en la figura 6c. El flujo de corriente a través de la vía de conmutación con el interruptor electrónico 5 se muestra en el diagrama 6d y el flujo de corriente a través de la vía de resistencia con la resistencia 40 se muestra en la figura 6e. En la figura 6f se muestra el voltaje alterno de alta frecuencia (con amplitud constante) generado por el generador de voltaje alterno de alta frecuencia 72 y la variable manipulada emitida por el regulador de limitación de voltaje 8, que se aplica al circuito de control 7. El voltaje a través del IGBT 54 y, por lo tanto, una medida de su comportamiento de encendido se muestra en la figura 6g. Se puede ver que se produce un evento de sobrevoltaje en la red a tiempo  $t = 0,02$  s, lo que causa un aumento repentino en el voltaje U1. Tan pronto como el voltaje U2 en la red de demanda interna 3 excede el valor de referencia U1ref (véase la figura 6b), el regulador de limitación de voltaje 8 responde y cambia su señal aplicada al circuito de control 7 como una variable manipulada (véase en la figura 6f la línea continua que se hunde en el área alrededor de la línea cero). Esto hace que el circuito de control 7 accione el IGBT (véase la figura 6g), que acciona el IGBT y abre la vía de conmutación, para que la corriente fluya a través de la vía de resistencia con la resistencia 40 (véase la figura 6e). La caída de voltaje resultante de esto es suavizada por

el filtro LC 45 del módulo de resistencia variable 4, de modo que finalmente se obtiene el perfil de amplitud reducida para el voltaje U2 en la red de demanda interna, como se muestra en la figura 6a. Se puede ver que el voltaje en la red de demanda interna es significativamente menor que el voltaje excesivo U1 en la red debido al evento de sobrevoltaje. De hecho, como se muestra en la figura 6b, después de un tiempo muy corto de solo 1 a 2 ms, el voltaje U2 en la red de demanda interna se ajusta al valor de referencia previsto.

Mientras que las figuras 5 y 6 muestran un ejemplo de aplicación monofásica, las figuras 7 y 8 muestran un ejemplo de aplicación trifásica. Los elementos del mismo tipo están provistos de los números de referencia correspondientes como en las figuras 5 y 6. Los módulos de resistencia para las tres fases están contenidos en el bloque 4", los circuitos de control para las tres fases en el bloque 7". Además, se proporciona el regulador de limitación de voltaje 8". Difiere del regulador de limitación de voltaje 8 mostrado en la figura 5 esencialmente en que, además tiene, una entrada para un fasor de voltaje. Además, el modo de realización mostrada en la figura 7 comprende un dispositivo de medición de voltaje multifásico 9. Está diseñado para generar un fasor de voltaje circulante basado en valores medidos para corriente y voltaje en las tres fases del sistema trifásico. Para este propósito, se proporcionan sensores de medición de voltaje 91 en las tres fases y también se proporcionan dispositivos de medición de corriente 92 en las tres fases. El primero forma señales para un fasor de voltaje de circuito abierto U\*. Las señales de este último se aplican a una etapa multiplicadora 93, que se multiplica por un factor uniforme k. Esto se elige de modo que forme una medida de una caída de voltaje, de acuerdo con la relación  $\Delta U = R \cdot I$ ; por sustracción (elementos 93'), se forman señales para un fasor de voltaje de carga U\*'. Estas se alimentan a una primera etapa de conversión 94, 94', que lleva a cabo una conversión de coordenadas del sistema trifásico a un sistema de coordenadas polares cartesianas de dos parámetros. Aguas abajo de la conversión de coordenadas hay un módulo de conversión 95, 95' para determinar una representación compleja en coordenadas polares para los fasores de voltaje U\*, U\*'. Estos se emiten como una señal de salida del dispositivo de medición de voltaje multifásico 9. La señal para el fasor de voltaje de circuito abierto U\* se aplica a los elementos diferenciales 81, 81' en la entrada del regulador 8". Al igual que con el regulador mostrado en la figura 6, la señal de salida de un generador de voltaje de referencia 88 Uref está conectada a la otra entrada del elemento diferencial 81. El fasor de voltaje de carga U\*' también está conectado al elemento diferencial adicional 81'. La señal calculada por este elemento diferencial adicional 81' se alimenta a un limitador 86, desde el cual se alimenta a la entrada nominal de un elemento de división 87. La señal de salida del elemento sumador 81 está conectada a la entrada del contador del elemento de división 87. Un elemento de refuerzo 82" está conectado aguas abajo para formar un bloque de regulación P. Se forma así una regulación controlada por carga con un control piloto por el fasor de voltaje de carga U\*'. No tiene un componente I y, por lo tanto, es robusto y rápido. La señal de salida está conectada a una entrada de un elemento sumador 89', a cuya otra entrada está conectada la salida de un módulo de compensación 89. El módulo de compensación 89 está diseñado para cambiar el valor del voltaje de referencia generado por el otro polo del generador de voltaje de referencia 88 en una cantidad de compensación seleccionable Uoff. Otro limitador 83 y un filtro de paso bajo 85 actúan como la etapa de salida del regulador de limitación de voltaje 8". Su salida se emite como una variable manipulada UCRTL y, como en la figura 5, se aplica a la conexión de entrada del circuito de control 7".

Gracias al fasor de voltaje giratorio, los errores simétricos y asimétricos pueden reaccionar de manera óptima. Esto se explica sobre la base de las imágenes en las figuras 8 y 9. En la figura 8 se muestra el comportamiento en el caso de un evento de sobrevoltaje simétrico. Las tres fases de los voltajes de entrada se muestran en la figura 8a. En la figura 8b se muestra el fasor de voltaje resultante U\* para el voltaje de entrada (en líneas discontinuas) y el valor del fasor de voltaje de carga U\*' (línea continua). En la figura 8c se muestra el fasor de voltaje U\* (línea discontinua) y el valor que surge para el voltaje de salida (línea continua). En la figura 8d se muestra el valor de variable manipulada emitida por el regulador de limitación de voltaje 8", en la que el valor superior que se muestra en la mitad izquierda de la figura representa la desactivación (posición de reposo) del interruptor electrónico 5 en el módulo de resistencia variable 4".

Las tres fases del voltaje de salida U2 se muestran en la figura 8e, y la corriente de carga resultante se muestra en la figura 8f para las tres fases. La corriente a través de la resistencia 40 del módulo de resistencia variable 4" como resultado del accionamiento del interruptor electrónico 5 se muestra en la figura 8g. Se produce un evento de sobrevoltaje en el tiempo  $t = 0,02$  s. Se puede ver que los voltajes aumentan significativamente. También se puede ver que, como en la figura 6, el interruptor electrónico se acciona prácticamente de inmediato, como resultado de lo cual el interruptor se abre y, por lo tanto, la corriente fluye a través de la resistencia de carga 40 de forma sincronizada (véase la figura 8g). Esto conduce a una caída de voltaje, de modo que el voltaje de salida (véase la figura 8e) se reduce significativamente en comparación con el voltaje de entrada excesivo (véanse las figuras 8a y 8c).

En la figura 9 se muestra la misma representación para el caso de un evento de sobrevoltaje con una carga asimétrica. Los diagramas 9 a a g corresponden a los diagramas 8 a a g. Se puede ver que las corrientes en las fases individuales son de diferentes alturas debido a la carga asimétrica (véase la figura 9f). Esto también conduce a una actividad diferente de los interruptores electrónicos 5 sobre las fases, controlada por una señal correspondiente que oscila a tres veces la frecuencia de red de la variable manipulada emitida por el regulador de voltaje 8" (véase la figura 9d). El voltaje de salida resultante U2 tiene una ondulación resultante, como se desprende de la figura 9c. Sin embargo, en términos de cantidad, es relativamente pequeño, lo que también se puede ver en la figura 8e, donde la altura de las fases individuales ahora se ajusta entre estas. El modo de realización ejemplar de la invención, por lo tanto, no solo logra que el voltaje en la red de demanda interna 3 permanezca por debajo del valor límite permitido, sino que también compensa la situación de carga asimétrica.

## REIVINDICACIONES

1. Aerogenerador con un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por este último para generar energía eléctrica y una línea de conexión (17) para suministrar la energía eléctrica a una red (19), que comprende además una red de demanda interna (3) que es alimentada a través de una línea de alimentación (16) desde la línea de conexión (17) y tiene un control de demanda interna (6) para controlar el voltaje en la red de demanda interna, así como componentes accionados por electricidad (2) del aerogenerador suministrados por la red de demanda interna, caracterizado por que
- se proporciona un módulo de resistencia (4) en la línea de alimentación (16), que está conectado entre la línea de conexión (17) y la red de demanda interna (3) y está realizado con múltiples vías, así como una vía de resistencia con una resistencia en serie (40) y una vía de conmutación en paralelo con un interruptor electrónico controlable (5), que está diseñado para actuar en un estado de sobrevoltaje y para puentear la resistencia en serie (40) en un estado inactivo.
2. Aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que
- se proporciona un circuito de control (7) que controla el interruptor electrónico (5) de manera modulada, en particular por medio de modulación de ancho de pulso (PWM).
3. Aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que
- un regulador de limitación de voltaje (8) está conectado aguas arriba del circuito de control (7).
4. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que
- el módulo de resistencia (4) tiene una vía adicional conectada en paralelo con un filtro de suavizado LC (45).
5. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 4, caracterizado por que
- el regulador de limitación de voltaje (8) comprende una regulación rápida, que tiene una constante de tiempo más corta que un período de la frecuencia de red.
6. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado por que
- el regulador de limitación de voltaje (8) tiene un control piloto, en cuya entrada se aplica una señal para un flujo de corriente en la red de demanda interna (3).
7. Aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que
- el regulador de limitación de voltaje (8) está realizado con una constante de tiempo grande que es mayor que el período de una oscilación de la red.
8. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que
- se proporciona un módulo de resistencia separado (4) para cada fase de un sistema multifásico, en el que los módulos de resistencia (4) están controlados preferentemente por un regulador de limitación de voltaje común (8).
9. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que
- se proporciona un dispositivo de medición de voltaje multifásico (9), que está diseñado para formar un fasor de voltaje giratorio, que preferentemente comprende un fasor de voltaje de circuito abierto ( $U^*$ ) y un fasor de voltaje dependiente de la carga ( $U''$ ).

10. Aerogenerador de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,  
caracterizado por que  
el regulador de limitación de voltaje (8) tiene un filtro armónico (85).
- 5 11. Control de la demanda interna de aerogenerador para suministrar una red de demanda interna (3) para suministrar componentes eléctricos de un aerogenerador con un rotor eólico (12), un generador (14) accionado por este último para generar energía eléctrica y una línea de conexión (17) para suministrar la energía eléctrica a una red (19) y una línea de alimentación (16) entre la línea de conexión (17) y la red de demanda interna,  
caracterizado por que  
10 el control de la demanda interna de aerogenerador comprende un módulo de resistencia (4) que está diseñado para estar dispuesto en la línea de alimentación (16) y que está realizado con múltiples vías y tiene una vía de resistencia con una resistencia en serie (40) y una vía de conmutación en paralelo con un interruptor electrónico controlable (5), que está diseñado para actuar en un estado de sobrevoltaje y para puentear la resistencia en serie (40) en un estado inactivo.
- 15 12. Control de la demanda interna de aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que se desarrolla de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 10.
- 20 13. Procedimiento para controlar el voltaje en una red de demanda interna de un aerogenerador para suministrar sus componentes eléctricos, en el que el aerogenerador está provisto de un rotor eólico, un generador accionado por este último para generar energía eléctrica, una línea de conexión para suministrar energía eléctrica a una red y una línea de alimentación para suministrar la red de demanda interna,  
caracterizado por  
25 disponer un módulo de resistencia en la línea de alimentación entre la línea de conexión del aerogenerador y la red de demanda interna, en el que el módulo de resistencia está realizado con múltiples vías y tiene una vía de resistencia con una resistencia en serie y una vía de conmutación en paralelo con un interruptor electrónico controlable.  
accionar el interruptor electrónico controlable durante un estado de sobrevoltaje y puentear la resistencia en serie en un estado inactivo.
- 30 14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por la activación modulada del interruptor electrónico controlable.
15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que se desarrolla de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 10.



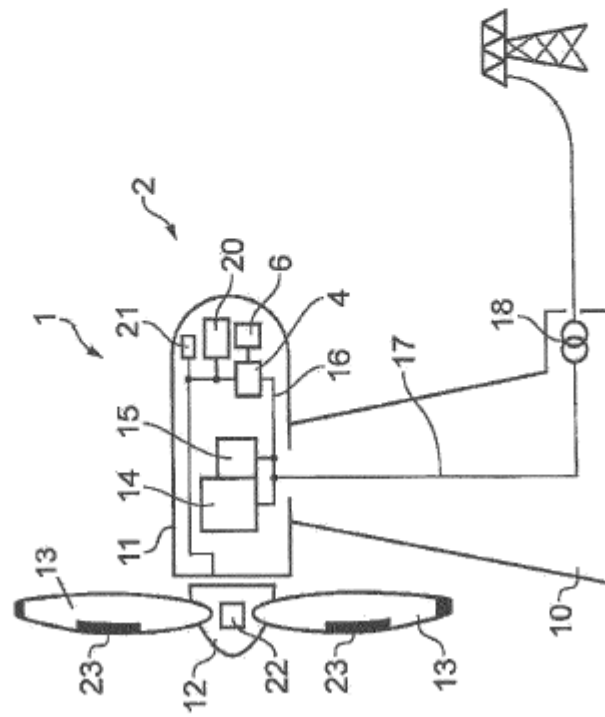


FIG. 1

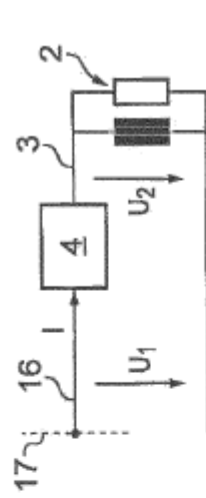


FIG. 2

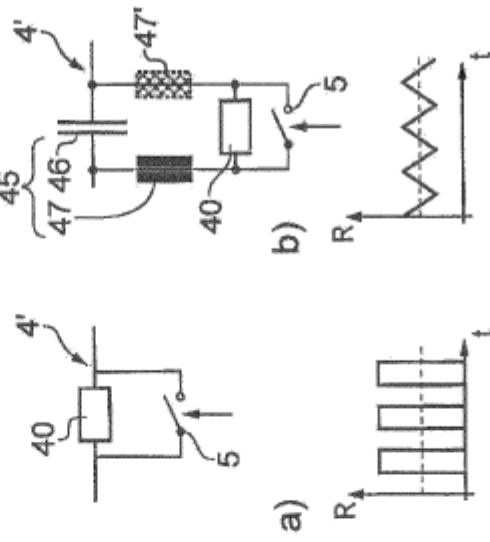


FIG. 3

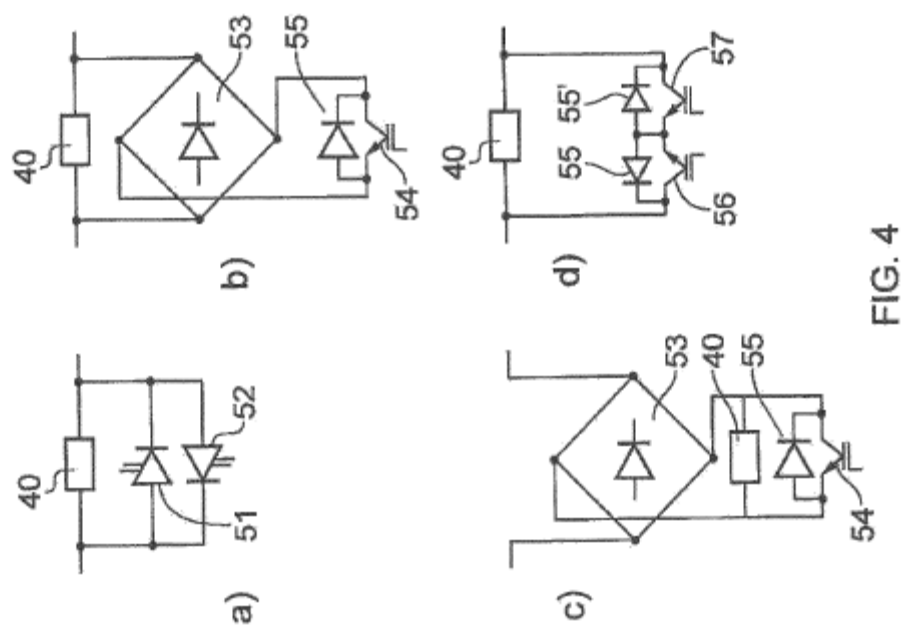


FIG. 4

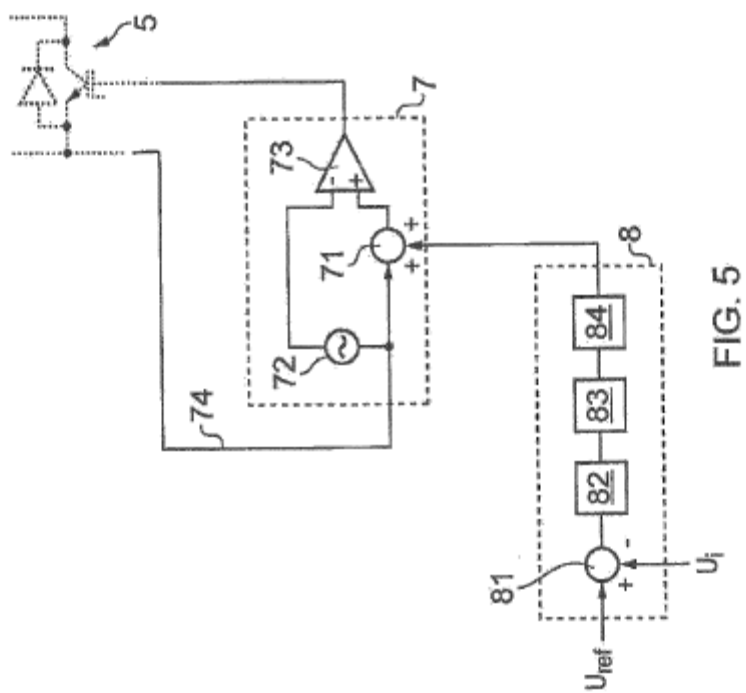


FIG. 5

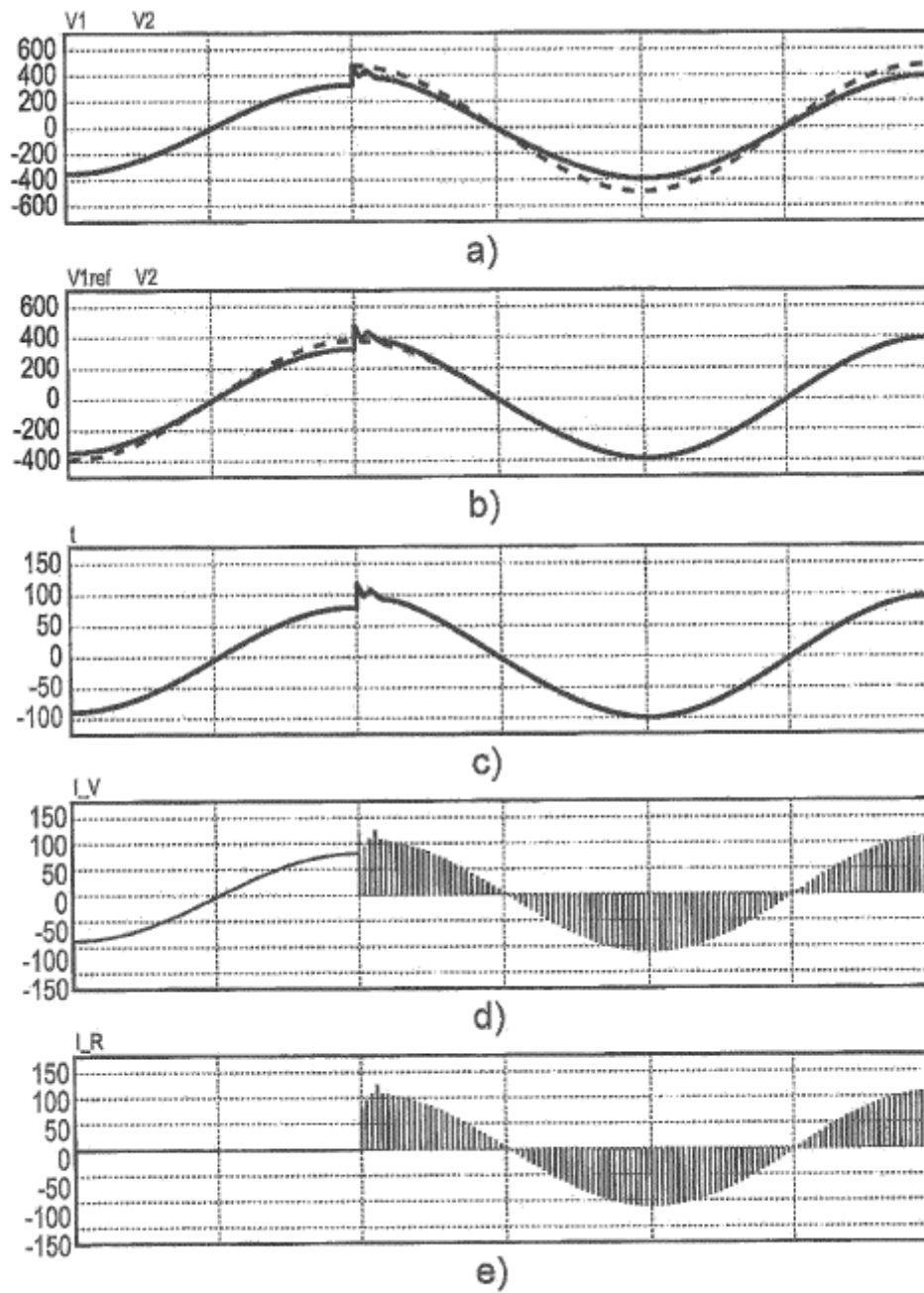


FIG. 6

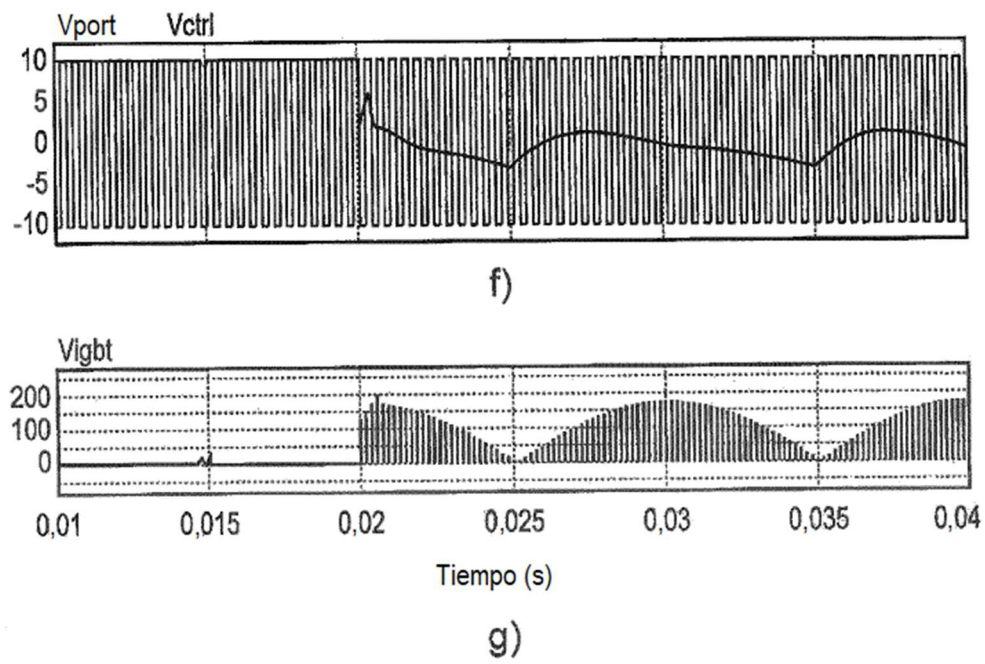


FIG. 6 (continuación)

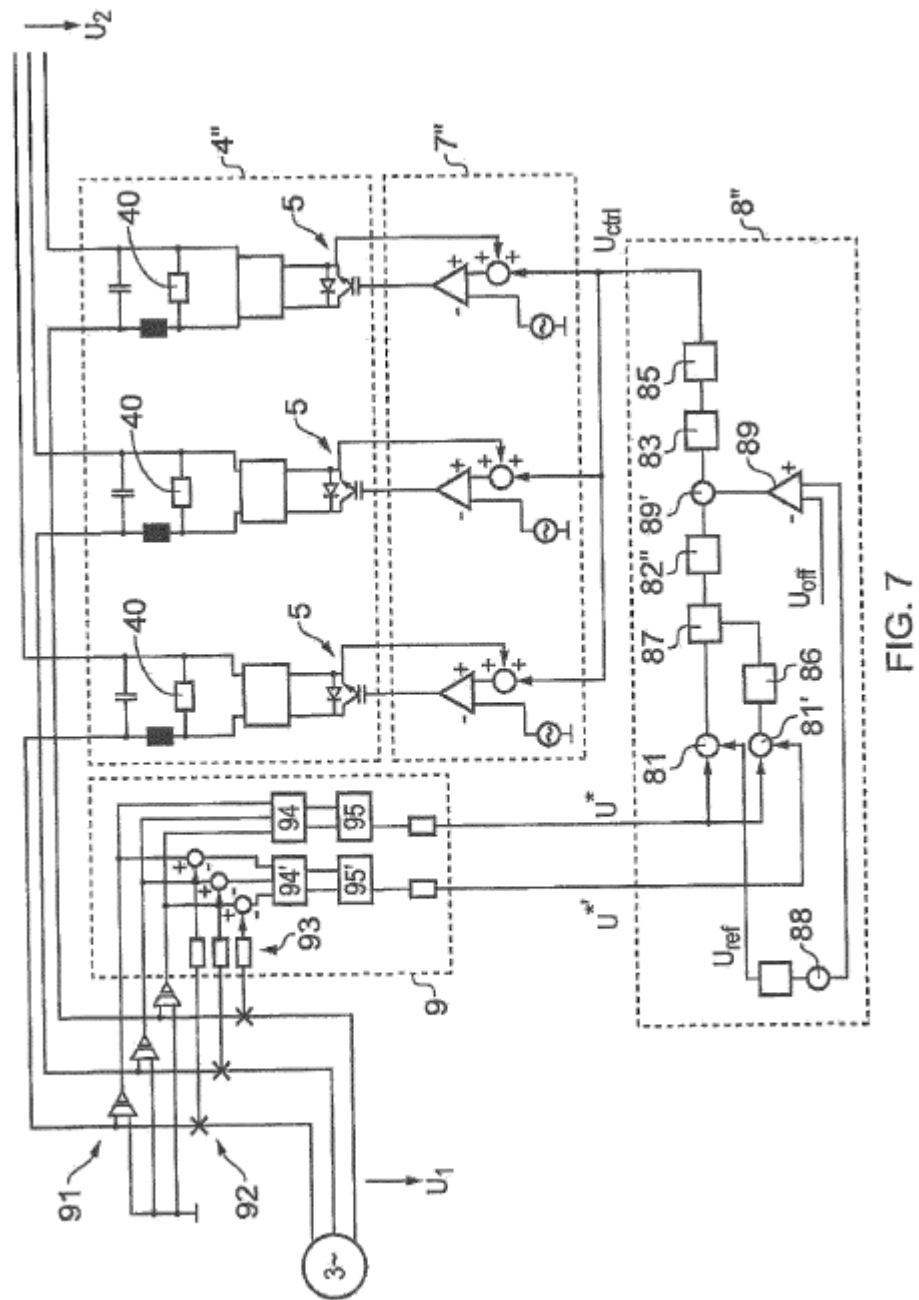


FIG. 7

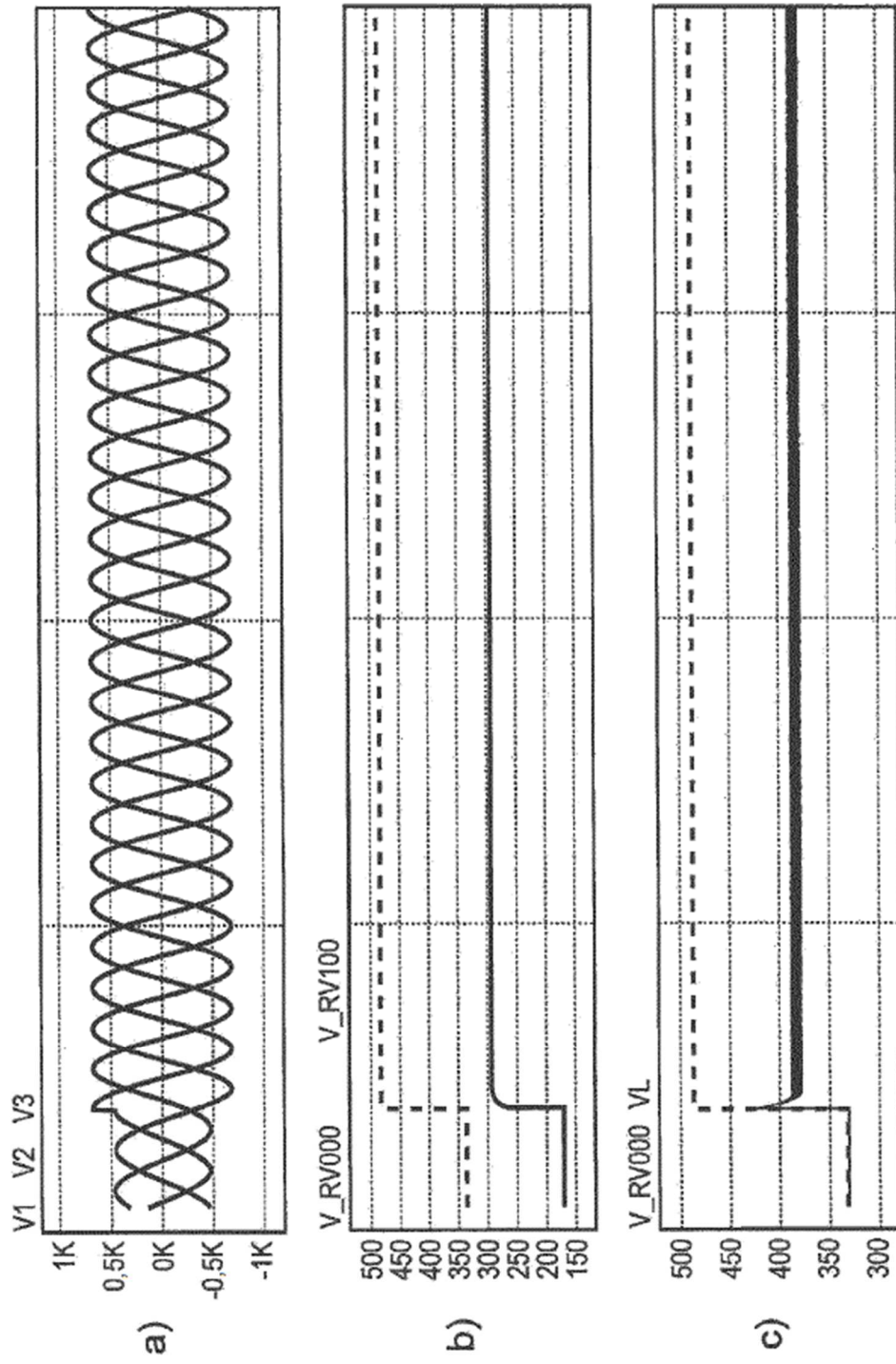


FIG. 8

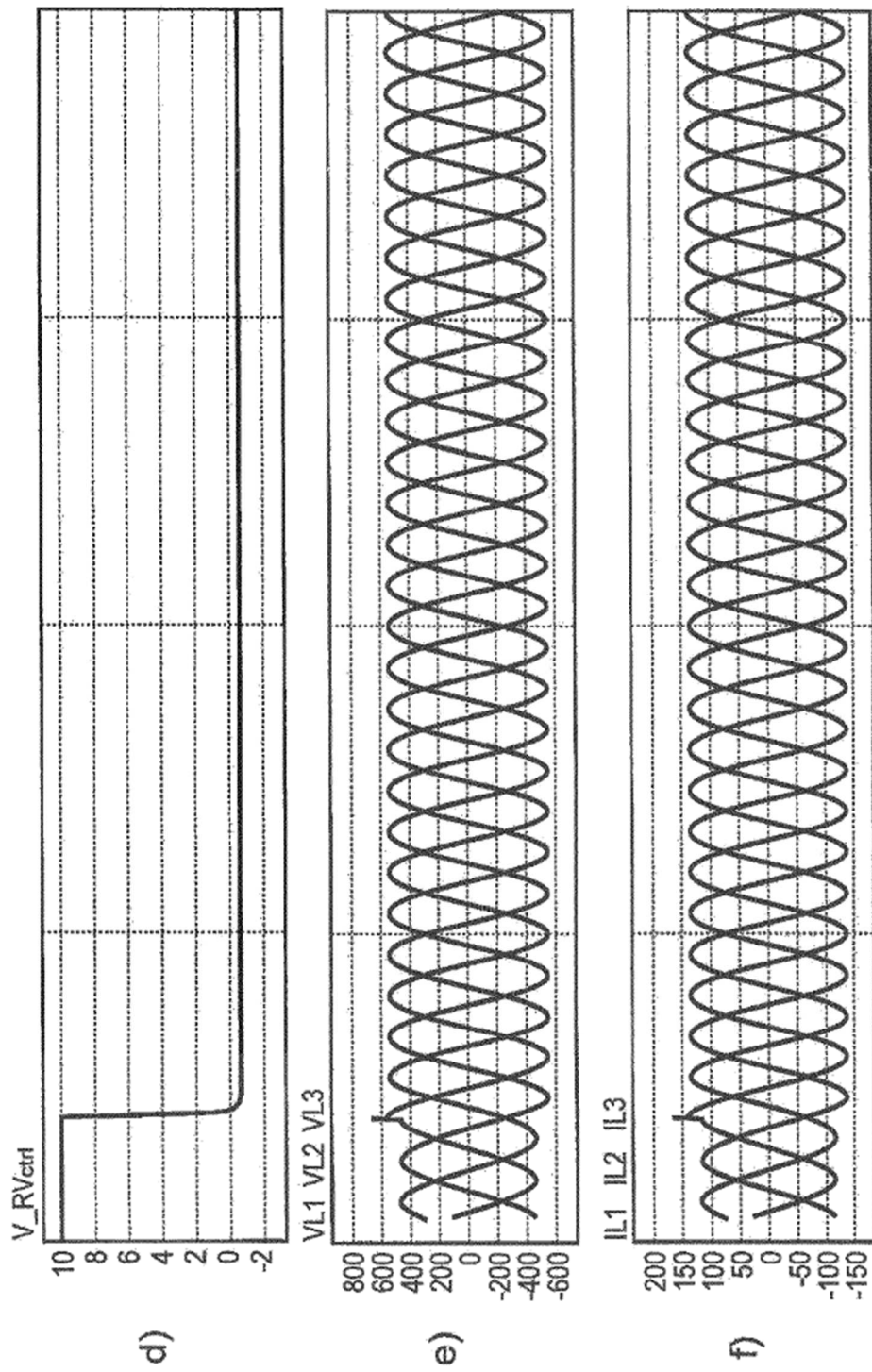


FIG. 8 (continuación)

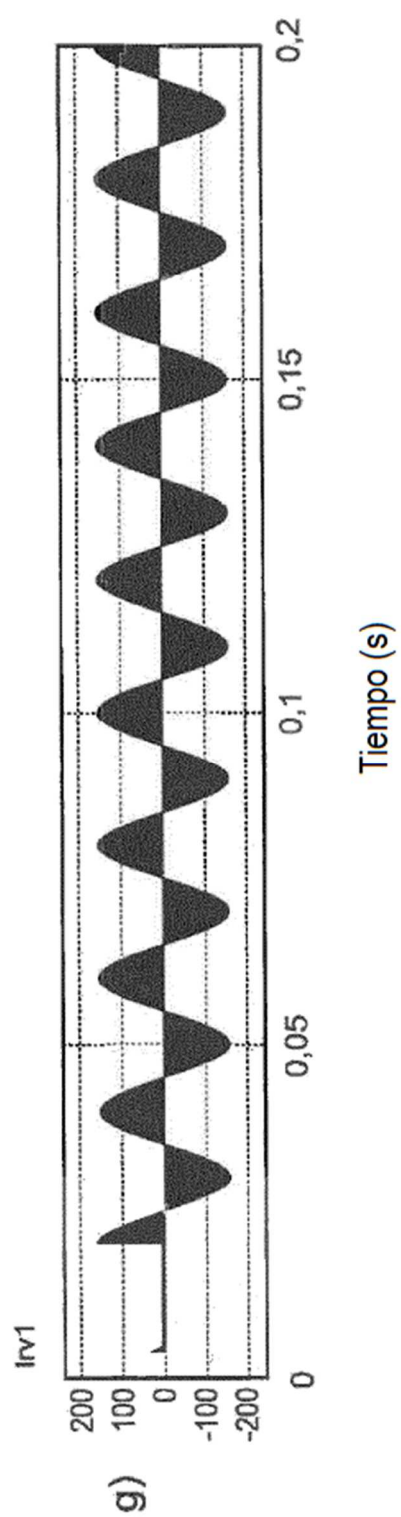


FIG. 8 (continuación)



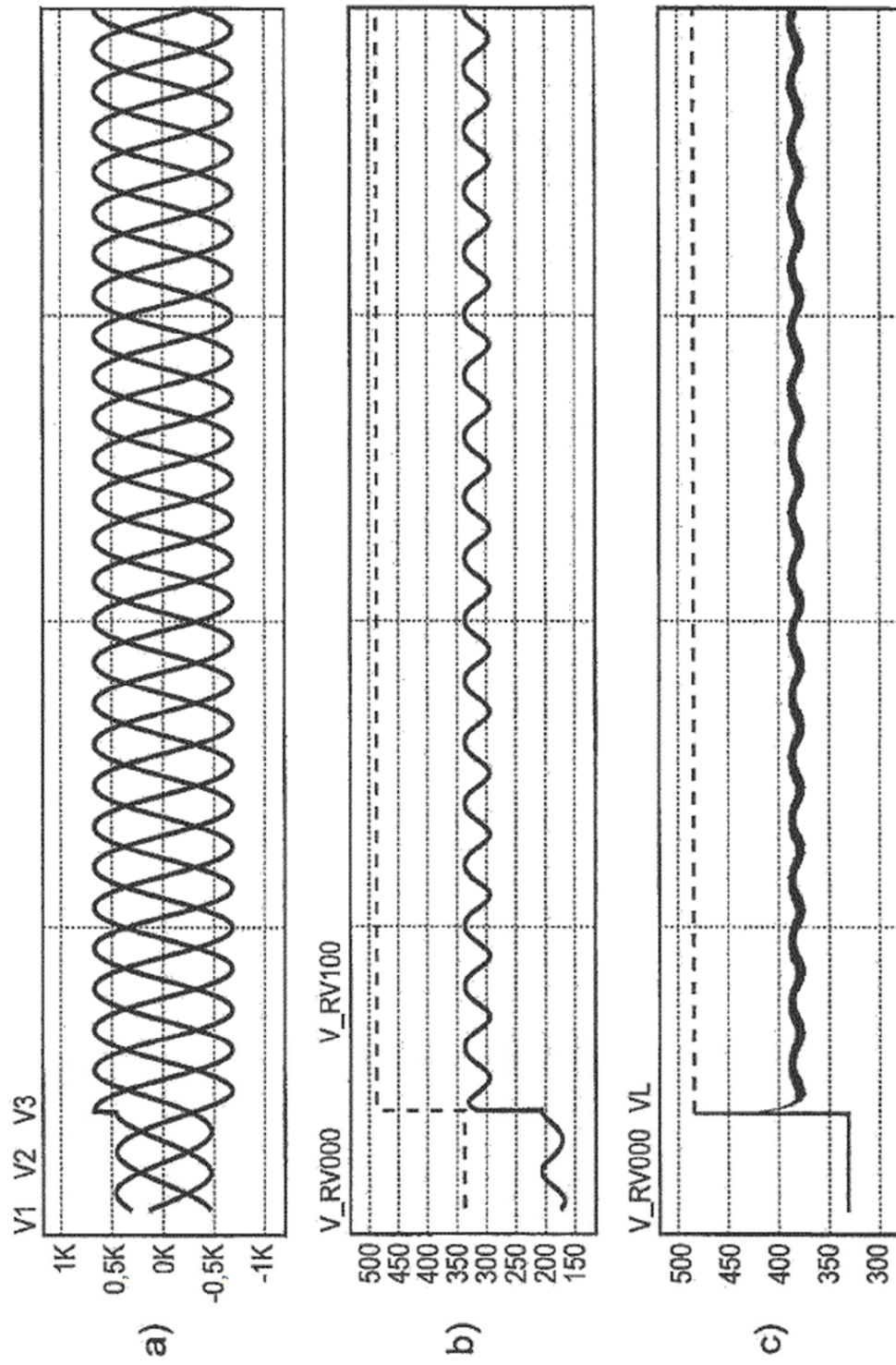


FIG. 9

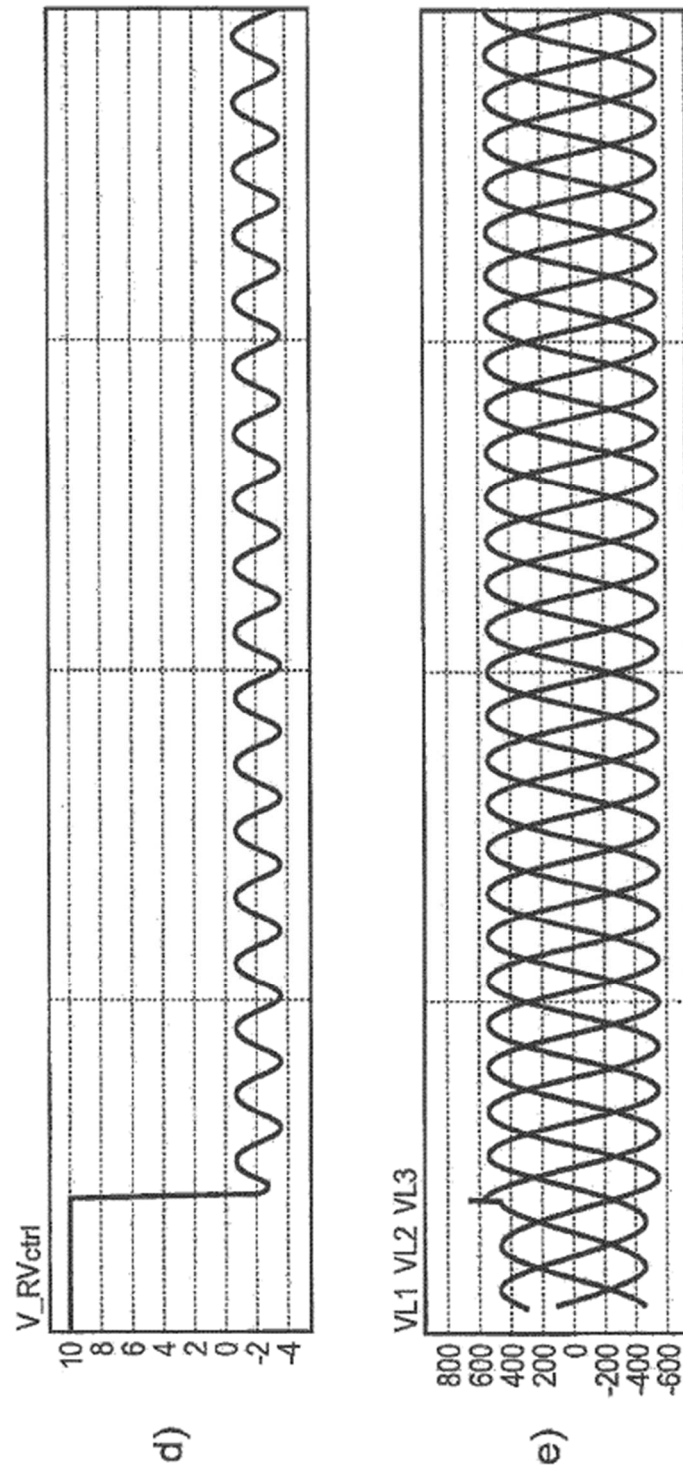


FIG. 9 (continuación)

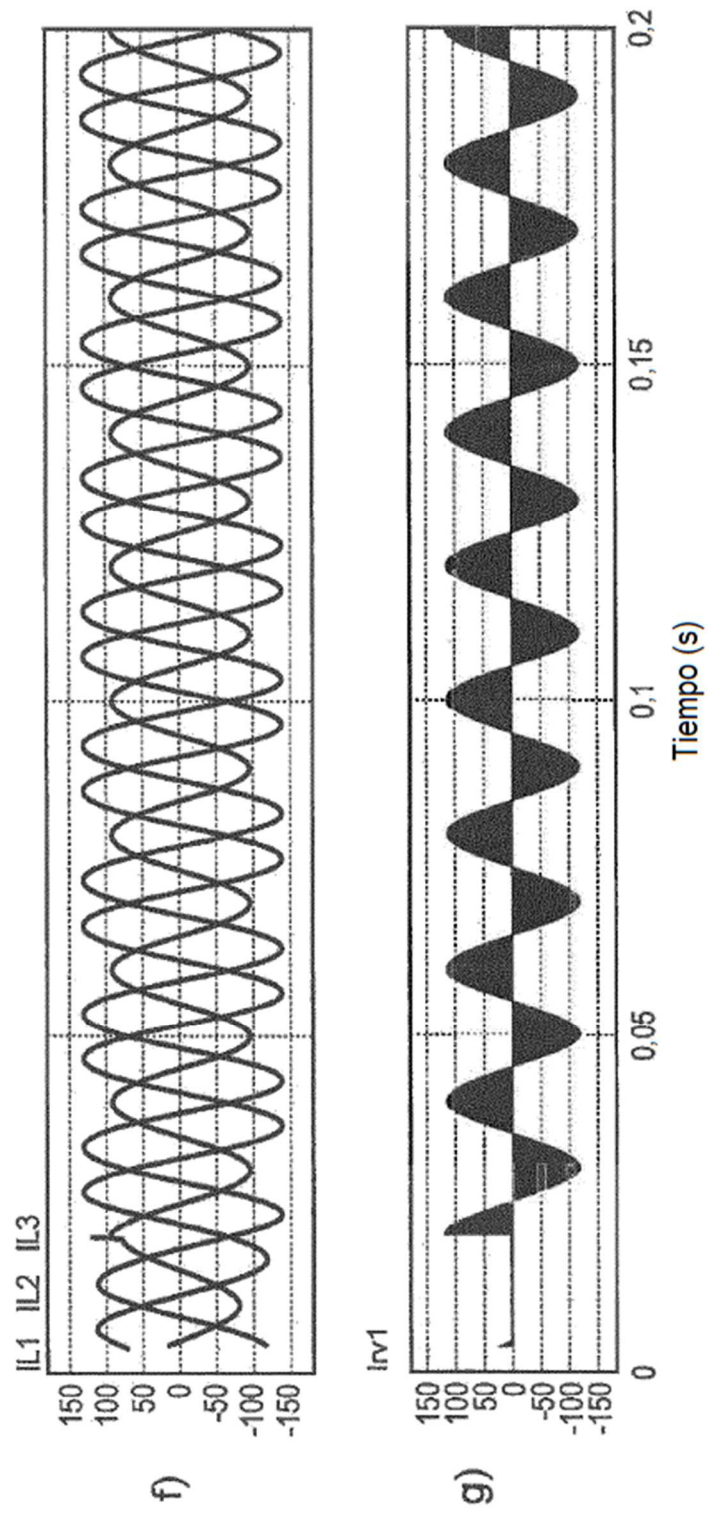


FIG. 9 (continuación)