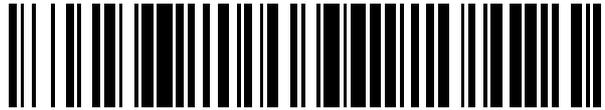


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 948**

51 Int. Cl.:

G01R 19/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2009 E 09752717 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015 EP 2359151**

54 Título: **Sistema de monitorización de red eléctrica y método relacionado**

30 Prioridad:

07.11.2008 DK 200801535
10.11.2008 US 112834 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.09.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

RODRIGUEZ, PEDRO y
TEODORESCU, REMUS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 546 948 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 monitorización de red eléctrica y método relacionado

5 La presente invención se refiere a un sistema de monitorización de red eléctrica y a un método relacionado, en particular un sistema de monitorización de red eléctrica que permite la monitorización en tiempo real de variables de la red eléctrica, por ejemplo tensión y corriente, en sistemas de alimentación eléctrica, tales como redes monofásicas o trifásicas.

Antecedentes

10 Una de las cuestiones más importantes en el control de equipos conectados a la red eléctrica avanzados tales como procesadores de potencia interactivos de línea, sistemas de protección inteligentes y analizadores y monitores de la calidad de la energía eléctrica es la sincronización con las señales de potencia, es decir, señal(es) de tensión y/o señal(es) de corriente. Las formas de onda de tensión de la red eléctrica son sinusoidales y están equilibradas en condiciones de funcionamiento óptimas, pero son propensas a distorsionarse y desequilibrarse como consecuencia del efecto de cargas no lineales en la red eléctrica y fallos de la red eléctrica. Por su parte, las corrientes de línea son perfectamente sinusoidales y equilibradas únicamente en el caso de redes eléctricas ideales que consisten en 15 cargas lineales perfectamente equilibradas. Por tanto, los equipos conectados a la red eléctrica deben sincronizarse apropiadamente con las variables de la red eléctrica para permanecer conectados de manera activa en condiciones de funcionamiento genéricas.

20 La tecnología de enganche de fase se ha usado durante décadas en sistemas de comunicaciones, militares y aeroespaciales para sincronizar un oscilador local con alguna señal externa reconocible. Siguiendo estos ejemplos, los equipos conectados a la red eléctrica avanzados han usado convencionalmente un bucle de enganche de fase (PLL) para sincronizar su sistema de control interno con la tensión o corriente de la red eléctrica. En sistemas trifásicos, el PLL basado en un marco de referencia síncrono (SRF-PLL) se ha convertido en una técnica de sincronización de red eléctrica convencional. Sin embargo, la respuesta de SRF-PLL es inaceptablemente deficiente cuando la tensión de distribución no está equilibrada.

25 El documento WO 2008/055499 da a conocer un método y sistema de monitorización de red eléctrica en tiempo real basado en un bucle de enganche de frecuencia (FLL).

30 La publicación, "Advanced Grid Synchronization System for Power Converters under Unbalanced and Distorted Operating Conditions" IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS, IECON 2006 - 32ND ANNUAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE.UU., 1 de noviembre de 2006 (01-11-2006), páginas 5173-5178 de RODRIGUEZ P *ET AL*, también da a conocer tal enfoque.

Todavía existe la necesidad de mejorar los sistemas de monitorización de red eléctrica.

Sumario

Un objetivo es proporcionar un sistema de monitorización de red eléctrica mejorado que tenga una respuesta mejorada.

35 Según la invención, el objetivo mencionado anteriormente y otros se cumplen mediante un sistema de monitorización de red eléctrica según la reivindicación 1 y un método según la reivindicación 14.

Una ventaja del sistema de monitorización de red eléctrica (GMS) según la presente invención es que se proporciona la monitorización en tiempo real de armónicos en señal(es) de potencia.

40 Una ventaja adicional es que la detección de armónicos en el GMS según la invención no se basa en el análisis de Fourier, reduciendo así los requisitos computacionales.

45 Además, el GMS proporciona monitorización de alta precisión de sistemas de alimentación monofásicos o trifásicos independientemente del contenido en armónicos de las señales de potencia procesadas. Esta característica puede lograrse gracias a la(s) unidad(es) de detección de armónicos, lo cual permite procesar los diferentes armónicos de la señal de potencia independientemente. En soluciones de monitorización existentes para una red trifásica, los armónicos se tratan como interferencias que deben filtrarse.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas anteriores y otras de la presente invención resultarán más fácilmente evidentes para los expertos en la técnica mediante la siguiente descripción detallada de realizaciones a modo de ejemplo de la misma con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

50 la figura 1 muestra un diagrama de bloques de una implementación monofásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,

- la figura 2 muestra un diagrama de bloques de una implementación monofásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- la figura 3 muestra un diagrama de bloques de una unidad de detección de armónicos,
- la figura 4 muestra un diagrama de bloques de una unidad de detección de armónicos,
- 5 la figura 5 muestra un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- la figura 6 muestra un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- 10 la figura 7 muestra un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- la figura 8 muestra un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- la figura 9 muestra un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención,
- 15 la figura 10 muestra un diagrama de bloques de una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas,
- la figura 11 muestra un diagrama de bloques de un calculador de secuencias positivas-negativas,
- la figura 12 muestra un diagrama de bloques de un generador de señal de cuadratura,
- la figura 13 muestra un diagrama de bloques de un integrador generalizado de segundo orden (SOGI),
- la figura 14 muestra un diagrama de bloques de una unidad de bucle de enganche de frecuencia,
- 20 la figura 15 muestra un diagrama de bloques de una unidad de bucle de enganche de frecuencia,
- la figura 16 muestra una respuesta de frecuencia de una unidad de detección de armónicos, y
- la figura 17 son gráficos que ilustran resultados experimentales.

Descripción detallada

- 25 El sistema de monitorización de red eléctrica (GMS) según la presente invención comprende una primera unidad de detección de armónicos y una unidad de bucle de enganche de frecuencia que tienen cada una al menos una entrada y al menos una salida.
- El sistema de monitorización de red eléctrica puede comprender una segunda unidad de detección de armónicos que tiene al menos una entrada y al menos una salida.
- 30 Además, el sistema de monitorización de red eléctrica puede comprender una tercera unidad de detección de armónicos que tiene al menos una entrada y al menos una salida.
- La(s) unidad(es) de detección de armónicos puede(n) comprender una primera entrada para alimentar una señal de entrada a la(s) unidad(es) de detección de armónicos, y una segunda entrada.
- 35 La segunda entrada de las respectivas unidades de detección de armónicos puede conectarse, o bien directamente o bien a través de una unidad de amplificador, a una entrada de control del primer generador de señal en las respectivas unidades de detección de armónicos, por ejemplo la segunda entrada de la primera unidad de detección de armónicos puede conectarse a una entrada de control del primer generador de señal de la primera unidad de detección de armónicos.
- 40 La(s) unidad(es) de detección de armónicos puede(n) comprender una o más unidades de amplificador que tienen una entrada conectada a la segunda entrada de la respectiva unidad de detección de armónicos, y una salida conectada a una entrada de control de un generador de señal. Por ejemplo, la primera unidad de detección de armónicos o la segunda unidad de detección de armónicos o ambas pueden comprender una unidad de amplificador que tiene una entrada conectada a la segunda entrada de la respectiva unidad de detección de armónicos y una salida conectada a una entrada de control del segundo generador de señal. Las unidades de amplificador pueden tener diferentes ganancias. Una o más de las ganancias pueden ser números enteros, por ejemplo para sintonizar los generadores de señal a frecuencias armónicas. Adicional, o alternativamente, una o más ganancias pueden ser un número no entero permitiendo así un análisis de interarmónicos de la señal de entrada.
- 45 Los generadores de señal empleados en el sistema pueden ser cualquier generador de señal adecuado.

Preferiblemente, los generadores de señal son generadores de señal de cuadratura que generan una primera señal de salida en la primera salida y una segunda señal de salida, por ejemplo una señal de cuadratura, en una segunda salida. La segunda salida de los generadores de señal puede conectarse a una salida de cuadratura correspondiente de la unidad de detección de armónicos.

5 Por ejemplo, el primer generador de señal de respectiva(s) unidad(es) de detección de armónicos puede ser un generador de señal de cuadratura que genera una primera señal de salida en la primera salida y una segunda señal de salida en una segunda salida conectada a una primera salida de cuadratura de la(s) respectiva(s) unidad(es) de detección de armónicos.

10 El generador de señal de cuadratura puede comprender un integrador generalizado de segundo orden (SOGI). El generador de señal puede comprender una unidad de amplificador con ganancia k . La ganancia k puede ser una constante, por ejemplo $k = \sqrt{2}$. Pueden seleccionarse diferentes valores de k para diferentes generadores de señal. Por ejemplo, el primer generador de señal puede tener un primer valor de k y el segundo generador de señal puede tener un segundo valor de k . El valor de k puede seleccionarse dependiendo de la frecuencia del armónico en la primera entrada del generador de señal.

15 En una realización, las ganancias k_i de los generadores de señal vienen dadas por:

$$k_i = \frac{k_1}{i},$$

donde i indica el número del armónico que va a generarse en el generador de señal y k_1 es una constante, por ejemplo $k_1 = \sqrt{2}$.

20 Los generadores de señal pueden comprender una tercera salida, por ejemplo para alimentar una señal de error a una salida de error de una unidad de detección de armónicos. Por consiguiente, el primer generador de señal de respectiva(s) unidad(es) de detección de armónicos puede comprender una tercera salida conectada a una primera salida de error de la(s) respectiva(s) unidad(es) de detección de armónicos.

25 El sistema de monitorización de red eléctrica puede comprender una segunda unidad de detección de armónicos que tiene al menos una entrada y al menos una salida, teniendo la segunda unidad de detección de armónicos una primera entrada para recibir una segunda señal de entrada, una segunda entrada conectada a la unidad de bucle de enganche de frecuencia para recibir una frecuencia de control, en el que una entrada de la unidad de bucle de enganche de frecuencia se conecta a al menos una salida de la segunda unidad de detección de armónicos para recibir una señal de retroalimentación, estando la segunda unidad de detección de armónicos configurada para detectar una primera componente de frecuencia y una segunda componente de frecuencia de la segunda señal de entrada en la primera entrada de la segunda unidad de detección de armónicos. La segunda unidad de detección de armónicos puede estar configurada para alimentar la primera componente de frecuencia y la segunda componente de frecuencia a una primera salida y una segunda salida, respectivamente, de la segunda unidad de detección de armónicos. La segunda unidad de detección de armónicos puede comprender un primer generador de señal, un segundo generador de señal y opcionalmente una red de retroalimentación cruzada, teniendo el primer generador de señal una primera entrada conectada a una primera salida de la red de retroalimentación cruzada y una primera salida conectada a una primera salida de la segunda unidad de detección de armónicos y a una primera entrada de la red de retroalimentación cruzada. El segundo generador de señal puede tener una segunda entrada conectada a una segunda salida de la red de retroalimentación cruzada y una segunda salida conectada a una segunda salida de la segunda unidad de detección de armónicos y a una segunda entrada de la red de retroalimentación cruzada. La red de retroalimentación cruzada puede estar configurada para restar la segunda componente de frecuencia de la segunda señal de entrada y alimentar la señal resultante a la primera entrada del primer generador de señal, y la red de retroalimentación cruzada puede estar configurada para restar la primera componente de frecuencia de la segunda señal de entrada y alimentar la señal resultante a la segunda entrada del segundo generador de señal.

45 El sistema de monitorización de red eléctrica puede comprender una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas conectada a salidas de las unidades de detección de armónicos primera y segunda y que está configurada para proporcionar las componentes de secuencia positiva y negativa a las frecuencias primera y segunda.

50 La unidad de bucle de enganche de frecuencia proporciona una frecuencia de control a una o más de la(s) unidad(es) de detección de armónicos del sistema de monitorización de red eléctrica. Una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia puede conectarse a unas seleccionadas, o a la totalidad, de las salidas de cuadratura de la primera unidad de detección de armónicos. Además, una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia pueden conectarse a unas seleccionadas, o a la totalidad, de las salidas de cuadratura de la segunda y/o tercera unidad de detección de armónicos. Por tanto, la frecuencia de control puede adaptarse basándose en una o más señales de cuadratura formando un bucle de retroalimentación cerrado.

Una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia puede conectarse a unas seleccionadas, o la

totalidad, de las salidas de error de la primera unidad de detección de armónicos. Además, una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia pueden conectarse a una seleccionada, o la totalidad, de las salidas de error de la segunda y/o tercera unidad de detección de armónicos. Por tanto, la frecuencia de control puede adaptarse basándose en una o más señales de error formando un bucle de retroalimentación cerrado.

5 La unidad de bucle de enganche de frecuencia puede ser una unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado.

La unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado (LFLL) puede tener una función de transferencia adecuada para establecer el rendimiento del bucle adaptativo a la frecuencia según la dinámica deseada.

10 El LFLL puede tener varias entradas de cuadratura conectadas a una o más de las salidas de cuadratura de unidad(es) de detección de armónicos, y varias entradas de error conectadas a una o más de las salidas de error de unidad(es) de detección de armónicos. La(s) entrada(s) de cuadratura y/o la(s) entrada(s) de error pueden conectarse en diferentes configuraciones según el número de armónicos, número de señales de entrada al sistema y la retroalimentación deseada al LFLL.

15 El LFLL puede comprender una serie de detectores de error de frecuencia parcial a las frecuencias de interés en las componentes α y β del vector de entrada trifásico monitorizado. Estos detectores de errores de frecuencia parciales, para componentes tanto α como β , pueden implementarse mediante multiplicadores, que tienen un primer puerto de entrada al que se acopla la señal de error en fase del restador del QSG sintonizada a la frecuencia de interés, un segundo puerto de entrada al que se acopla la señal de salida en cuadratura filtrada del QSG sintonizada a la frecuencia de interés, y un puerto de salida que proporciona una señal de error de frecuencia interna parcial, en los
20 que el puerto de salida del multiplicador se acopla a una unidad de agregación de error de frecuencia (FEA).

El sistema de monitorización de red eléctrica puede comprender una unidad de transformación que tiene al menos una entrada y al menos una salida y que está configurada para transformar la(s) señal(es) en la al menos una entrada en señal(es) en la al menos una salida según una transformación. La(s) salida(s) de la unidad de transformación puede(n) conectarse a entradas de unidad(es) de detección de armónicos.

25 Las figuras son esquemáticas y están simplificadas por motivos de claridad, y simplemente muestran detalles que son esenciales para entender la invención, mientras que no se han mostrado otros detalles. A lo largo de todo el documento, se usan los mismos números de referencia para partes idénticas o correspondientes.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una implementación monofásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención. El sistema de monitorización de red eléctrica 2 comprende una primera
30 unidad de detección de armónicos (HDN) 4 y una unidad de bucle de enganche de frecuencia (FLL) 6. Una primera señal de entrada v se alimenta a una primera entrada 8 de la primera unidad de detección de armónicos 4 y una segunda entrada 10 se conecta a una primera salida 12 de la unidad de bucle de enganche de frecuencia 6 para recibir una señal de control ω' , es decir la frecuencia de control. La frecuencia de control ω' se adapta durante el funcionamiento del sistema de monitorización de red eléctrica y puede ser de aproximadamente $2\pi \cdot f$ donde f es, por ejemplo, de aproximadamente 50 Hz o aproximadamente 60 Hz. La primera unidad de detección de armónicos tiene una primera y una segunda salida (mostradas como salida vectorizada 14) para emitir una primera señal de componente de frecuencia v_1 , y una segunda señal de componente de frecuencia v_2 , respectivamente. La primera
35 unidad de detección de armónicos 4 puede estar configurada para detectar cualquier número de señales de componente de frecuencia v_1, \dots, v_n . Adicionalmente en la realización ilustrada, la primera unidad de detección de armónicos 4 genera varias señales de cuadratura q_{v1}, \dots, q_{vn} en salidas de cuadratura 16 a, o aproximadamente a, frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de control ω' y varias señales de error $\varepsilon_{v1} \dots \varepsilon_{vn}$ en salidas de error 18 de la primera unidad de detección de armónicos 4. Una o más de las salidas de cuadratura de la HDN se conectan a entradas del FLL para alimentar una o más de las señales $q_{v1} \dots q_{vn}$ al FLL. Una o más de las salidas de error de la HDN se conectan a entradas del FLL para alimentar una o más de las señales de error $\varepsilon_{v1} \dots \varepsilon_{vn}$ al FLL.
40 Por motivos de simplicidad, las salidas 14, las salidas de cuadratura 16 y las salidas de error 18 de la unidad de detección de armónicos 4 se ilustran como vectores.

La figura 2 ilustra, muestra, un diagrama de bloques de una implementación monofásica del sistema de monitorización de red eléctrica de la presente invención. El sistema de monitorización de red eléctrica 2' comprende una primera unidad de detección de armónicos (HDN) 4 y una unidad de bucle de enganche de frecuencia
50 linealizado (LFLL) 6'.

La figura 3 ilustra una realización de una unidad de detección de armónicos empleada en el GMS según la presente invención. La primera unidad de detección de armónicos (HDN) 4, comprende varios generadores de señal QSG(1) ... QSG(n) incluyendo un primer generador de señal 20, un segundo generador de señal 22, y una red de retroalimentación cruzada 24. El primer generador de señal 20 tiene una primera entrada v conectada a una primera salida de la red de retroalimentación cruzada, y una primera salida v' conectada a una primera salida de la primera
55 unidad de detección de armónicos y a una primera entrada de la red de retroalimentación cruzada. El segundo generador de señal 22 tiene una segunda entrada v conectada a una segunda salida de la red de retroalimentación cruzada, y una segunda salida v' conectada a una segunda salida de la primera unidad de detección de armónicos y

a una segunda entrada de la red de retroalimentación cruzada. La red de retroalimentación cruzada 24 está configurada para restar la segunda componente de frecuencia de la primera señal de entrada v y alimentar la señal resultante a la primera entrada v del primer generador de señal, y la red de retroalimentación cruzada 24 está configurada para restar la primera componente de frecuencia de la señal de entrada v y alimentar la señal resultante a la segunda entrada v del segundo generador de señal 22. La primera unidad de detección de armónicos 4 puede comprender cualquier número n de generadores de señal, por ejemplo el número de generadores de señal puede ser de dos, tres, cuatro, cinco, seis o más, dependiendo del número deseado de componentes de frecuencia o armónicos. La red de retroalimentación cruzada 24 puede estar configurada para implementar cualquier resta adecuada de señales de componente de frecuencia.

- 5
- 10 La red de retroalimentación cruzada comprende uno o más restadores y está configurada para implementar la estructura de retroalimentación cruzada deseada.

En la realización de la red de retroalimentación cruzada ilustrada en la figura 3, la salida en forma de vector de la red de retroalimentación cruzada 24 viene dada como

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & 0 & \dots & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ \vdots \\ v'_n \end{bmatrix}$$

- 15 donde v'_1, v'_2, \dots, v'_n son las primeras salidas de los generadores de señal QSG(1) a QSG(n).

Cada uno de los generadores de señal se sintonizan a frecuencias deseadas que son múltiplos enteros de la frecuencia de control ω' . Por tanto, la segunda entrada 10 de la primera unidad de detección de armónicos se conecta a una entrada de control del primer generador de señal.

- 20 La primera unidad de detección de armónicos 4 comprende una o más unidades de amplificador 26, 28, 30 incluyendo una unidad de amplificador 26 que tiene una entrada conectada a la segunda entrada 10 de la primera unidad de detección de armónicos 4 y una salida conectada a una entrada de control w' del segundo generador de señal 22. La ganancia de las unidades de amplificador depende de los armónicos de interés.

- 25 En una realización de la presente invención, la unidad de detección de armónicos comprende una unidad de amplificador que tiene una entrada conectada a la segunda entrada de la primera unidad de detección de armónicos y una salida conectada a una entrada de control del primer generador de señal.

La figura 4 ilustra una unidad de detección de armónicos que tiene tres generadores de señal 20, 22, 32 que se sintonizan a frecuencias deseadas. En este caso los generadores de señal se sintonizan al primer armónico, al quinto armónico y al séptimo armónico, es decir la ganancia de las unidades de amplificador 26, 28 se establece a cinco y a siete, respectivamente.

- 30 La ganancia de la(s) unidad(es) de amplificador tal como las unidades de amplificador 26, 28 en la unidad de detección de armónicos puede ser un número no entero, por ejemplo con el fin de poder rastrear interarmónicos, es decir armónicos con un orden no entero.

En la realización de la red de retroalimentación cruzada ilustrada en la figura 4, la salida en forma de vector de la red de retroalimentación cruzada 24 viene dada como

35

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_5 \\ v_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_5 \\ v'_7 \end{bmatrix}$$

En una realización con dos generadores de señal, la salida en forma de vector de la red de retroalimentación cruzada 24 puede venir dada como

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \end{bmatrix}$$

- 40 En una realización con cuatro generadores de señal, la salida en forma de vector de la red de retroalimentación cruzada 24 puede venir dada como

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ v'_3 \\ v'_4 \end{bmatrix}$$

Uno o más restadores pueden omitirse en la red de retroalimentación cruzada. Por ejemplo, la red de retroalimentación cruzada puede estar configurada para restar armónicos seleccionados, por ejemplo tal como se ilustra mediante la siguiente ecuación:

5

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ v'_3 \\ v'_4 \end{bmatrix}$$

El GMS según la presente invención permite la monitorización en tiempo real de armónicos en señales de potencia monofásicas, bifásicas o trifásicas usando un enfoque vectorial que permite dividir los armónicos en sus componentes de secuencia.

10 El GMS se basa en detectar la frecuencia de la señal procesada y no usa ningún marco de referencia síncrono. Esto significa que la respuesta del GMS es más estable que la obtenida por otros sistemas basados en la detección de ángulo de fase, es decir, sistemas basados en marcos de referencia síncronos, ya que la frecuencia de la red eléctrica es más estable que el ángulo de fase de la señal procesada.

15 La figura 5 ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica. Las salidas de una unidad de detección de armónicos múltiples (MHDN) 34 que comprende una pluralidad de unidades de detección de armónicos, por ejemplo tal como se describe en relación con las figuras 3 y 4, se conectan a una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas múltiples (MPNSC) 36 y la unidad de bucle de enganche de frecuencia (LFLL) 6'.

20 La figura 6 ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques de una implementación multifásica del sistema de monitorización de red eléctrica. Las salidas de una unidad de detección de armónicos múltiples (MHDN) 34 que comprende una pluralidad de unidades de detección de armónicos, por ejemplo tal como se describe en relación con las figuras 3 y 4, se conectan a una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas múltiples (MPNSC) 36 y la unidad de bucle de enganche de frecuencia (LFLL) 6'. La secuencia cero de la señal de entrada se deriva de la salida de la MHDN.

25 La figura 7 muestra un diagrama de bloques más detallado de una implementación trifásica del GMS. El GMS 102 comprende una unidad de transformación 38 que tiene una señal trifásica como entrada y que está configurada para transformar las señales de entrada v_a, v_b, v_c según la transformación de Clarke $[T_{\alpha\beta}]$ y alimenta las señales transformadas v_{α}, v_{β} a la 34.

La transformación de Clarke viene dada por:

$$\begin{bmatrix} s_{\alpha} \\ s_{\beta} \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \end{bmatrix}$$

30 Si se extiende con un sistema nulo, la notación matricial de la transformación de Clarke $[T_{\alpha\beta 0}]$ viene dada por

$$\begin{bmatrix} s_{\alpha} \\ s_{\beta} \\ s_o \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_a \\ s_b \\ s_c \end{bmatrix}$$

donde c es una constante. Si se elige el valor $c = \frac{2}{3}$, la longitud de los vectores de tensión y corriente se mantiene.

Si, en vez de eso, se selecciona el valor $c = \sqrt{\frac{2}{3}}$, entonces la potencia calculada en el marco $\alpha\beta$ es la misma que en el marco abc, y se dice que el sistema $\alpha\beta$ es de potencia invariable.

5 La MHDN comprende una primera unidad de detección de armónicos (HDN(α)) y una segunda unidad de detección de armónicos (HDN(β)), por ejemplo la primera unidad de detección de armónicos (HDN(α)) y la segunda unidad de detección de armónicos (HDN(β)) pueden ser unidades de detección de armónicos tal como se describe en relación con la figura 3 y/o la figura 4. La salida v_{α} , de la unidad de transformación 38 se alimenta a la primera entrada de HDN(α) y la salida v_{β} se alimenta a la primera entrada de HDN(β).

10 Las salidas $\vec{v}_1, \dots, \vec{v}_n, q\vec{v}_1, \dots, q\vec{v}_n$, y $\vec{\varepsilon}_{v1}, \dots, \vec{\varepsilon}_{vn}$ de la MHDN 34 (vectores debido a la pluralidad de unidades de detección de armónicos en la MHDN) se alimentan a la unidad de calculador de secuencias positivas-negativas múltiples (MPNSC) 36 y a la unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado (LFLL) 6'. En una realización, sólo se alimentan salidas seleccionadas al LFLL 6'.

El LFLL 6' calcula y adapta la frecuencia de control ω' basándose en la salida de la MHDN 34. Además, la salida del MPNSC 36 puede retroalimentarse al LFLL 6'. El LFLL 6' y el funcionamiento del mismo se describirán con más detalle a continuación.

15 La figura 8 muestra un diagrama de bloques más detallado de una implementación trifásica del GMS. El GMS 202 se alimenta mediante tres señales monofásicas v_a, v_b, v_c . La MHDN 34 comprende tres unidades de detección de armónicos (HDN(a), HDN (b), HDN(c)). El MPNSC 36 calcula la secuencia positiva y negativa para las tres fases a, b y c.

20 La figura 9 muestra un diagrama de bloques más detallado de una implementación trifásica del GMS. El GMS 302 comprende una unidad de transformación 38 que tiene una señal trifásica v_a, v_b, v_c como entrada y que está configurada para transformar las señales de entrada v_a, v_b, v_c según una transformación de Clarke extendida $[T_{\alpha\beta 0}]$ y alimenta las señales transformadas $v_{\alpha}, v_{\beta}, v_0$ a la MHDN 34. La MHDN 34 comprende tres unidades de detección de armónicos (HDN (α), HDN (β), HDN (0)). El MPNSC 36 calcula la secuencia positiva y negativa para α y β .

25 La figura 10 ilustra un diagrama más detallado de una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas múltiples (MPNSC) 36. El MPNSC comprende varios calculadores de secuencias positivas-negativas 40 (PNSC (1), ..., PNSC (n)), uno para cada frecuencia de interés. En la realización ilustrada, las salidas del MPNSC 36 proporcionan las componentes de secuencia positiva y negativa a las frecuencias de interés del vector de entrada monitorizado en el marco de referencia α, β .

30 La figura 11 muestra un diagrama de bloques del calculador de secuencias positivas-negativas (PNSC) 40 en el marco de referencia $\alpha\beta$. El PNSC 40 recibe dos conjuntos de señales en cuadratura en la entrada.

35 La figura 12 ilustra una realización de un generador de señal. El generador de señal 42, 20, 22, 32 es un generador de señal de cuadratura (QSG(i)) adaptado para generar una primera señal de salida v'_i en una primera salida v' , una segunda señal de salida qv'_i en una segunda salida qv' , y una tercera señal de salida ε_{vi} en una tercera salida e . El generador de señal 42, 20, 22, 32 recibe la entrada v_i en una primera entrada v y una señal de control ω' en una segunda entrada w' . El generador de señal a modo de ejemplo y preferido, ilustrado en la figura 12, es un generador de señal basado en SOGI implementado como filtro de paso de banda adaptativo, en el que la entrada ω' establece la frecuencia de sintonización y la ganancia k establece el factor de amortiguación del generador de señal.

La figura 13 ilustra una realización de un integrador generalizado de segundo orden (SOGI) usado en un generador de señal empleado en la presente invención.

40 La figura 14 ilustra una realización de la unidad de bucle de enganche de frecuencia (FLL) 6 en la figura 1. El producto de la señal de cuadratura negativa qv_{v1} y la señal de error ε_{v1} de la primera señal armónica se procesa mediante un controlador de integrador con ganancia k^* para obtener la frecuencia central estimada. Puede añadirse una frecuencia fundamental predeterminada ω_{ff} a la salida del integrador para formar la frecuencia de control ω' .

45 La figura 15 ilustra una realización de la unidad de bucle de enganche de frecuencia (LFLL). La unidad de bucle de enganche de frecuencia (LFLL) 6'. El LFLL 6' es una unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado y comprende varios multiplicadores 50, un bloque de agregación de error de frecuencia (FEA) 52, y una unidad de sistema de linealización de retroalimentación (FLS) 54. El LFLL tiene varias entradas de cuadratura conectadas a una o más de las salidas de cuadratura de unidad(es) de detección de armónicos, y varias entradas de error conectadas a una o más de las salidas de error de unidad(es) de detección de armónicos. La(s) entrada(s) de cuadratura y/o la(s) entrada(s) de error puede(n) conectarse en diferentes configuraciones según el número de armónicos, número de señales de entrada al sistema y similares.

50 El error de frecuencia total ε_f se calcula por la FEA basándose en las salidas de los multiplicadores 50 y además se

linealiza por el FLS.

El error de frecuencia total ε_f puede venir dado como

$$\varepsilon_f = \sum_i a_{\alpha i} \varepsilon_{f(\alpha i)} + a_{\beta i} \varepsilon_{f(\beta i)} + a_{0i} \varepsilon_{f(0i)}$$

5 donde $\varepsilon_{f(\alpha i)} = \varepsilon_{v(\alpha)} q v'_{\alpha i}$, $\varepsilon_{f(\beta i)} = \varepsilon_{v(\beta)} q v'_{\beta i}$ y $\varepsilon_{f(0i)} = \varepsilon_{v(0)} q v'_{0i}$. Las variables $a_{\alpha i}$, $a_{\beta i}$, a_{0i} son factores de ponderación adecuados.

El error de frecuencia total ε_f puede venir dado como $\varepsilon_f = \varepsilon_{f(\alpha 1)} + \varepsilon_{f(\beta 1)} + \varepsilon_{f(01)}$.

El error de frecuencia total ε_f puede venir dado como $\varepsilon_f = \varepsilon_{f(\alpha 1)} + \varepsilon_{f(\beta 1)}$.

El error de frecuencia total puede calcularse a partir de la totalidad, preferiblemente de unas seleccionadas, de las componentes de frecuencia.

10 En general, el bloque de agregación de error de frecuencia (FEA) implementa una función de optimización para calcular el error de frecuencia colectivo a la frecuencia de interés resultante de la acción colectiva de las componentes de frecuencia del vector de entrada monitorizado. La FEA tiene varias entradas a las que se acoplan las señales de salida de los detectores de error de frecuencia parcial (multiplicadores), y un puerto de salida que proporciona una señal de error de frecuencia colectivo, en la que el puerto de salida de la FEA se acopla al puerto de entrada del sistema de linealización de retroalimentación (FLS).

15 El sistema de linealización de retroalimentación (FLS) implementa una función de transferencia adecuada H para establecer el rendimiento del bucle adaptativo a la frecuencia según la dinámica deseada. El bloque FLS tiene una entrada a la que se acopla la señal de error de frecuencia colectivo de la FEA, una entrada a la que se acopla el valor real de la frecuencia de interés detectada. Además, el FLS puede comprender una serie de entradas adicionales a las que pueden conectarse diferentes variables de estado del LFLL. El FLS proporciona en su salida una señal de error de frecuencia linealizada, en el que el puerto de salida del bloque FLS se acopla a la entrada de un bloque integrador lineal.

La función de transferencia H del FLS puede venir dado como:

H = $-\Gamma\Phi$ donde Γ es una constante, por ejemplo $\Gamma = 50$, y Φ es un factor de normalización.

25 El factor de normalización Φ puede venir dado como:

$$\Phi = \frac{k\omega'}{v_{\alpha 1}^{+2} + v_{\alpha 1}^{-2} + v_{\beta 1}^{+2} + v_{\beta 1}^{-2}}, \text{ donde } k = \sqrt{2}.$$

30 La función de transferencia del FLS puede depender de, o controlarse por, la frecuencia de control ω' y/o el vector \vec{k} que comprende uno o más de los valores de ganancia k de los diferentes generadores de señal usados en la(s) unidad(es) de detección de armónicos. Además o alternativamente, la función de transferencia del FLS puede depender de, o controlarse por, un vector que comprende uno o más valores de la secuencia positiva o la secuencia negativa. La función de transferencia del FLS puede depender de, o controlarse por, un vector que comprende uno o más valores de la secuencia cero.

La función de transferencia del FLS puede depender de, o controlarse por, un vector de control \vec{X} .

35 La salida del FLS se alimenta a un integrador y se añade una frecuencia fundamental preestablecida ω_{ff} a la salida del integrador. La salida del LFLL es ω' , es decir la frecuencia de sintonización de la(s) unidad(es) de detección de armónicos.

El GMS de la presente invención no realiza cálculos trigonométricos, lo que da como resultado un menor esfuerzo computacional con referencia a sistemas de monitorización de red eléctrica existentes.

40 Una ventaja del GMS es que puede implementarse en procesadores de señales digitales industriales convencionales.

Prueba experimental

45 La implementación trifásica del sistema de monitorización de red eléctrica según la presente invención se evaluó en una configuración experimental. El algoritmo de control del GMS se implementó en una placa de control basada en el DSP de punto flotante Texas Instruments TMS320F28335 a 150 MHz (tiempo de ciclo de 6,67 ns). La frecuencia de muestreo se estableció a 10 kHz. Las señales de tensión de entrada desequilibradas y distorsionadas se

generaron mediante una fuente programable de CA ELGAR SM5250A. Los parámetros de la tensión de entrada desequilibrada y distorsionada se describen en la tabla 1 a continuación.

Componente de tensión	Valor [p.u.]
Secuencia positiva de frecuencia fundamental	$\vec{V}^{+1} = 0,733\angle 5^\circ$
Secuencia negativa de frecuencia fundamental	$\vec{V}^{-1} = 0,210\angle 50,4^\circ$
2º armónico, secuencia negativa	$\vec{V}^{-2} = 0,10\angle 0^\circ$
3º armónico, secuencia cero	$\vec{V}^{03} = 0,10\angle 45^\circ$
4º armónico, secuencia positiva	$\vec{V}^{+4} = 0,10\angle 180^\circ$
5º armónico, secuencia negativa	$\vec{V}^{-5} = 0,25\angle 45^\circ$
7º armónico, secuencia positiva	$\vec{V}^{+4} = 0,20\angle 180^\circ$
11º armónico, secuencia negativa	$\vec{V}^{-11} = 0,15\angle 180^\circ$

Tabla 1. Parámetros de la tensión de entrada

5 El GMS se implementó usando una unidad de transformación y dos unidades de detección de armónicos (HDN), una para cada una de las componentes α y β , con siete QSG incorporados en cada HDN (uno por cada componente armónica más la fundamental). El tiempo computacional de todo el algoritmo de GMS tardó 34,86 μ s. El QSG incluyendo el cálculo de secuencias positivas/negativas para un armónico individual tardó 4,26 μ s. La red de retroalimentación cruzada de la HDN tardó 2,087 μ s y el LFLI tardó 1,65 μ s.

10 La figura 16 muestra la respuesta de frecuencia de la unidad de detección de armónicos para la componente fundamental de la señal monitorizada. En esta figura puede apreciarse que la estructura de retroalimentación cruzada de la HDN da lugar a varios escalones en el diagrama de Bode, lo que significa que los armónicos seleccionados no tendrán ningún efecto sobre la detección de la componente fundamental.

15 La figura 17 muestra algunos gráficos registrados a partir de la planta experimental, es decir resultados experimentales referentes a la respuesta del sistema de monitorización de red eléctrica multirresonante, en tiempo real, trifásico, en presencia de un desequilibrio y distorsión de la tensión.

20 La figura 17(a) muestra el vector de tensión de entrada, que estaba desequilibrado y extremadamente distorsionado. Las figuras 17(b) y 17(c) muestran las formas de onda detectadas para las componentes de secuencia positiva y negativa a la frecuencia fundamental. Las figuras 17(d), 17(e), 17(f) y 17(g) muestran las formas de onda detectadas para los armónicos 2º, 4º, 5º, 7º y 11º, respectivamente. Las formas de onda detectadas para el 3º armónico no se muestran en la figura 17 ya que su amplitud era casi de cero, el 3º armónico se bloquea mediante la transformación de Clarke.

25 Según los resultados mostrados en la figura 17, merece la pena destacar el excelente rendimiento del GMS, que, además de su baja carga computacional, hace que el sistema de monitorización presentado en esta invención sea muy adecuado para aplicarse en controladores en tiempo real de equipos conectados a la red eléctrica avanzados tales como sistemas de generación distribuidos (DGS), sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS), acondicionador de la calidad de la energía eléctrica (PQC), fuentes de alimentación ininterrumpidas (UPS), analizadores de la calidad de la energía eléctrica en tiempo real (RT-PQA) y protecciones de sistemas de alimentación.

30 El diseño del generador de señal de cuadratura (QSG) permite la adaptación en tiempo real tanto de la frecuencia central como del factor de calidad de su respuesta de frecuencia, lo cual hace posible una sintonización adaptativa del comportamiento del GMS a las características de la señal de potencia procesada.

35 En el GMS según la presente invención, tres señales de potencia de un sistema trifásico no se procesan necesariamente por separado como en algunas soluciones existentes. Por el contrario, el GMS puede usar un enfoque vectorial en un marco de referencia estacionario bidimensional lo cual reduce la complejidad del algoritmo y permite calcular las componentes de secuencia positiva y negativa de los armónicos de la señal de potencia procesada de una manera fácil.

40 El GMS puede usarse para monitorizar sistemas de alimentación eléctrica monofásicos o multifásicos. La invención proporciona un bloque de procesamiento de señal en tiempo real esencial que va a usarse como parte de un sistema de control complejo de equipos conectados a la red eléctrica avanzados tales como procesadores de potencia interactivos de línea, sistemas de protección inteligentes y analizadores y monitores de la calidad de la energía eléctrica. El GMS es ventajoso en particular para el análisis de señales de potencia distorsionadas y desequilibradas. Una característica del GMS puede incluir el uso de una unidad de detección de armónicos adaptativa a la frecuencia, por ejemplo basándose en integradores generalizados de segundo orden (SOGI), que

funciona dentro de una estructura de retroalimentación cruzada, que detecta la frecuencia de interés de las señales de potencia procesadas usando una unidad de bucle de enganche de frecuencia. El resultado es un sistema adaptativo a la frecuencia muy robusto y ligero que puede sincronizarse en tiempo real con los armónicos de una señal de potencia sin aplicar el análisis de Fourier. Como característica avanzada en el caso de sistemas trifásicos, el GMS puede ser capaz de detectar una o más de las componentes armónicas de secuencia positiva, negativa y cero de las señales de potencia y sincronizarse con ellas en tiempo real. Estas características hacen que el GMS según la invención sea una solución muy adecuada para aplicarse en el control de sistemas de generación distribuidos (DGS), sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS), acondicionador de la calidad de la energía eléctrica (PQC), fuentes de alimentación ininterrumpidas (UPS), analizadores de la calidad de la energía eléctrica en tiempo real (RT-PQA) y protecciones de sistemas de alimentación. En todos estos sistemas, la detección rápida y precisa en tiempo real de las componentes armónicas de la tensión y/o la corriente clasificadas por su secuencia en condiciones de funcionamiento de red eléctrica anómalas es una cuestión esencial.

El GMS según la presente invención es ventajoso, en particular, cuando la potencia de la señal de entrada se divide entre armónicos de la señal, por ejemplo cuando la frecuencia fundamental contiene menos del 90% de la potencia.

La presente invención proporciona un nuevo sistema de monitorización para sistemas monofásicos y trifásicos distorsionados y desequilibrados, que no se basa en el análisis de Fourier, siendo posible su uso en aplicaciones en tiempo real. El sistema de monitorización de red eléctrica multirresonante (MRGMS) de la presente invención aplica un enfoque vectorial para detectar las componentes armónicas de señales de potencia, dividiendo tales armónicos en sus componentes de secuencia positiva, negativa y opcionalmente cero. En un aspecto de la invención, la unidad de detección de armónicos (HDN) es una característica esencial. La unidad de detección de armónicos comprende múltiples filtros de paso de banda adaptativos basados en integradores generalizados de segundo orden, concretamente, los generadores de señal de cuadratura (QSG), que funcionan dentro de una estructura de retroalimentación cruzada. La HDN es adaptativa a la frecuencia, y se establece a la frecuencia de la señal de potencia procesada por medio de una unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado (LFLL).

En un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para hacer funcionar un sistema de monitorización de red eléctrica que comprende una unidad de detección de armónicos que tiene una primera entrada y una entrada de control y que comprende un primer generador de señal que genera al menos una primera señal de salida en respuesta a una señal de control y una señal de entrada, comprendiendo además la unidad de detección de armónicos un segundo generador de señal que genera al menos una segunda señal de salida en respuesta a una señal de control y una señal de entrada. El método comprende:

alimentar una señal de entrada a la primera entrada de la unidad de detección de armónicos, y

restar una señal de salida del primer generador de señal de la señal de entrada y alimentar la señal resultante como señal de entrada al segundo generador de señal.

El método puede comprender restar una señal de salida del segundo generador de señal de la señal de entrada y alimentar la señal resultante como señal de entrada al primer generador de señal.

En un aspecto de la invención, el sistema de monitorización de red eléctrica comprende una unidad de detección de armónicos que está adaptada para restar armónicos de una señal de entrada antes de alimentar la señal de entrada a una pluralidad de generadores de señal en la unidad de detección de armónicos.

Debe observarse que además de las realizaciones a modo de ejemplo de la invención mostradas en los dibujos adjuntos, la invención puede realizarse de diferentes formas y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento. En vez de eso, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación sea exhaustiva y completa, y transmita completamente el concepto de la invención a los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de monitorización de red eléctrica (2), que comprende una primera unidad de detección de armónicos (4) y una unidad de bucle de enganche de frecuencia (6) que tienen cada una al menos una entrada y al menos una salida, teniendo la primera unidad de detección de armónicos una primera entrada (8) para recibir una primera señal de entrada, y una segunda entrada (10) conectada a la unidad de bucle de enganche de frecuencia para recibir una señal de control, en el que una entrada de la unidad de bucle de enganche de frecuencia se conecta a al menos una salida (14) de la primera unidad de detección de armónicos para recibir una señal de retroalimentación, estando la primera unidad de detección de armónicos configurada para detectar una primera componente de frecuencia y una segunda componente de frecuencia de la primera señal de entrada, en el que la primera unidad de detección de armónicos está configurada para alimentar la primera componente de frecuencia y la segunda componente de frecuencia a una primera salida y una segunda salida, respectivamente, de la primera unidad de detección de armónicos, comprendiendo la primera unidad de detección de armónicos un primer generador de señal (20), un segundo generador de señal (22) y una red de retroalimentación cruzada (24), teniendo el primer generador de señal una primera entrada conectada a una primera salida de la red de retroalimentación cruzada, y una primera salida conectada a una primera salida de la primera unidad de detección de armónicos y a una primera entrada de la red de retroalimentación cruzada, y teniendo el segundo generador de señal una segunda entrada conectada a una segunda salida de la red de retroalimentación cruzada, y una segunda salida conectada a una segunda salida de la primera unidad de detección de armónicos y a una segunda entrada de la red de retroalimentación cruzada, en el que la red de retroalimentación cruzada está configurada para restar la segunda componente de frecuencia de la primera señal de entrada y alimentar la señal resultante a la primera entrada del primer generador de señal, y en el que la red de retroalimentación cruzada está configurada para restar la primera componente de frecuencia de la señal de entrada y alimentar la señal resultante a la segunda entrada del segundo generador de señal.
2. Sistema de monitorización de red eléctrica según la reivindicación 1, en el que la segunda entrada de la primera unidad de detección de armónicos se conecta a una entrada de control del primer generador de señal.
3. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que la primera unidad de detección de armónicos comprende una unidad de amplificador que tiene una entrada conectada a la segunda entrada de la primera unidad de detección de armónicos y una salida conectada a una entrada de control del segundo generador de señal.
4. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer generador de señal es un generador de señal de cuadratura que genera una primera señal de salida en la primera salida y una segunda señal de salida en una segunda salida conectada a una primera salida de cuadratura de la primera unidad de detección de armónicos.
5. Sistema de monitorización de red eléctrica según la reivindicación 4, en el que el generador de señal de cuadratura comprende un integrador generalizado de segundo orden.
6. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer generador de señal tiene una tercera salida conectada a una primera salida de error de la primera unidad de detección de armónicos.
7. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una segunda unidad de detección de armónicos que tiene al menos una entrada y al menos una salida, teniendo la segunda unidad de detección de armónicos una primera entrada para recibir una segunda señal de entrada, una segunda entrada conectada a la unidad de bucle de enganche de frecuencia para recibir una frecuencia de control, en el que una entrada de la unidad de bucle de enganche de frecuencia se conecta a al menos una salida de la segunda unidad de detección de armónicos para recibir una señal de retroalimentación, estando la segunda unidad de detección de armónicos configurada para detectar una primera componente de frecuencia y una segunda componente de frecuencia de la segunda señal de entrada en la primera entrada de la segunda unidad de detección de armónicos, en el que la segunda unidad de detección de armónicos está configurada para alimentar la primera componente de frecuencia y la segunda componente de frecuencia a una primera salida y una segunda salida, respectivamente, de la segunda unidad de detección de armónicos, comprendiendo la segunda unidad de detección de armónicos un primer generador de señal, un segundo generador de señal y una red de retroalimentación cruzada, teniendo el primer generador de señal una primera entrada conectada a una primera salida de la red de retroalimentación cruzada y una primera salida conectada a una primera salida de la segunda unidad de detección de armónicos y a una primera entrada de la red de retroalimentación cruzada, y teniendo el segundo generador de señal una segunda entrada conectada a una segunda salida de la red de retroalimentación cruzada y una segunda salida conectada a una segunda salida de la segunda unidad de detección de armónicos y a una segunda entrada de la red de retroalimentación

- 5 cruzada, en el que la red de retroalimentación cruzada está configurada para restar la segunda componente de frecuencia de la segunda señal de entrada y alimentar la señal resultante a la primera entrada del primer generador de señal, y en el que la red de retroalimentación cruzada está configurada para restar la primera componente de frecuencia de la segunda señal de entrada y alimentar la señal resultante a la segunda entrada del segundo generador de señal.
8. Sistema de monitorización de red eléctrica según la reivindicación 7, que comprende una unidad de calculador de secuencias positivas-negativas conectada a salidas de las unidades de detección de armónicos primera y segunda y que está configurada para proporcionar las componentes de secuencia positiva y negativa a las frecuencias primera y segunda.
- 10 9. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia se conectan a una o más salidas de cuadratura de la primera unidad de detección de armónicos.
- 15 10. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una o más entradas de la unidad de bucle de enganche de frecuencia se conectan a una o más salidas de error de la primera unidad de detección de armónicos.
11. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de bucle de enganche de frecuencia es una unidad de bucle de enganche de frecuencia linealizado.
- 20 12. Sistema de monitorización de red eléctrica según la reivindicación 11, en el que la unidad de bucle de enganche de frecuencia comprende varios multiplicadores que tienen una o más salidas conectadas a un bloque de agregación de error de frecuencia y una unidad de sistema de linealización de retroalimentación.
- 25 13. Sistema de monitorización de red eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una unidad de transformación que tiene al menos una entrada y al menos una salida y que está configurada para transformar la(s) señal(es) en la al menos una entrada en señal(es) en la al menos una salida según una transformación.
- 30 14. Método para hacer funcionar un sistema de monitorización de red eléctrica (2) que comprende una unidad de detección de armónicos (4) que tiene una primera entrada y una entrada de control y que comprende un primer generador de señal (20) que genera al menos una primera señal de salida en respuesta a una señal de control y una señal de entrada, comprendiendo además la unidad de detección de armónicos un segundo generador de señal (22) que genera al menos una segunda señal de salida en respuesta a una señal de control y una señal de entrada, comprendiendo el método:
- alimentar una señal de entrada a la primera entrada de la unidad de detección de armónicos,
- restar una señal de salida del primer generador de señal de la señal de entrada, y
- alimentar la señal resultante como señal de entrada al segundo generador de señal.
- 35 15. Método según la reivindicación 14, que comprende restar una señal de salida del segundo generador de señal de la señal de entrada y alimentar la señal resultante como señal de entrada al primer generador de señal.

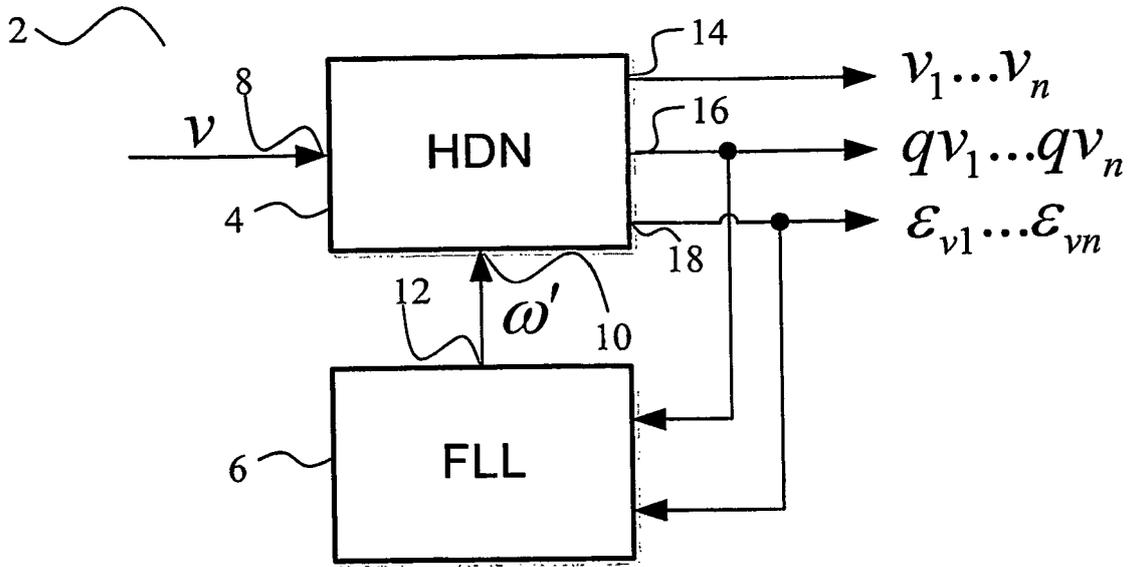


Fig. 1

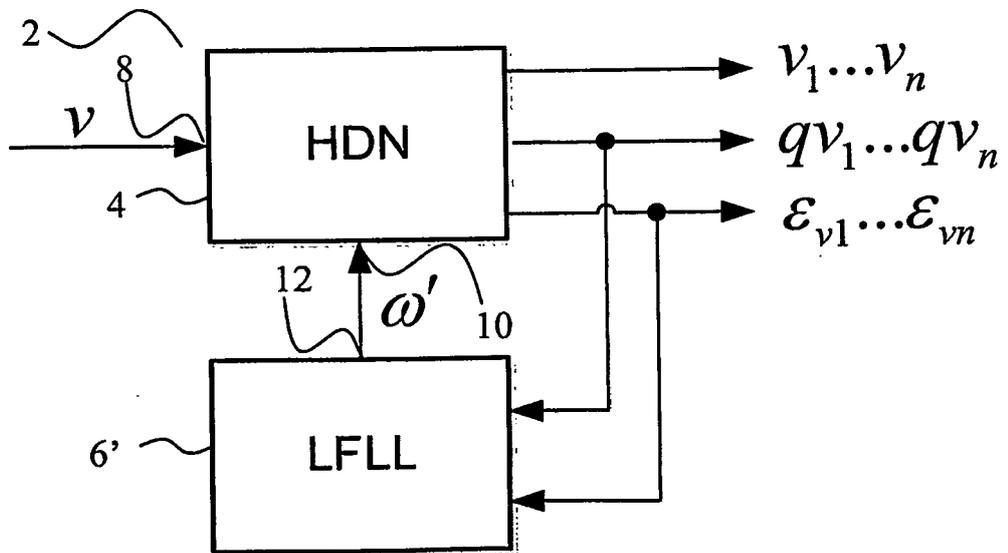


Fig. 2

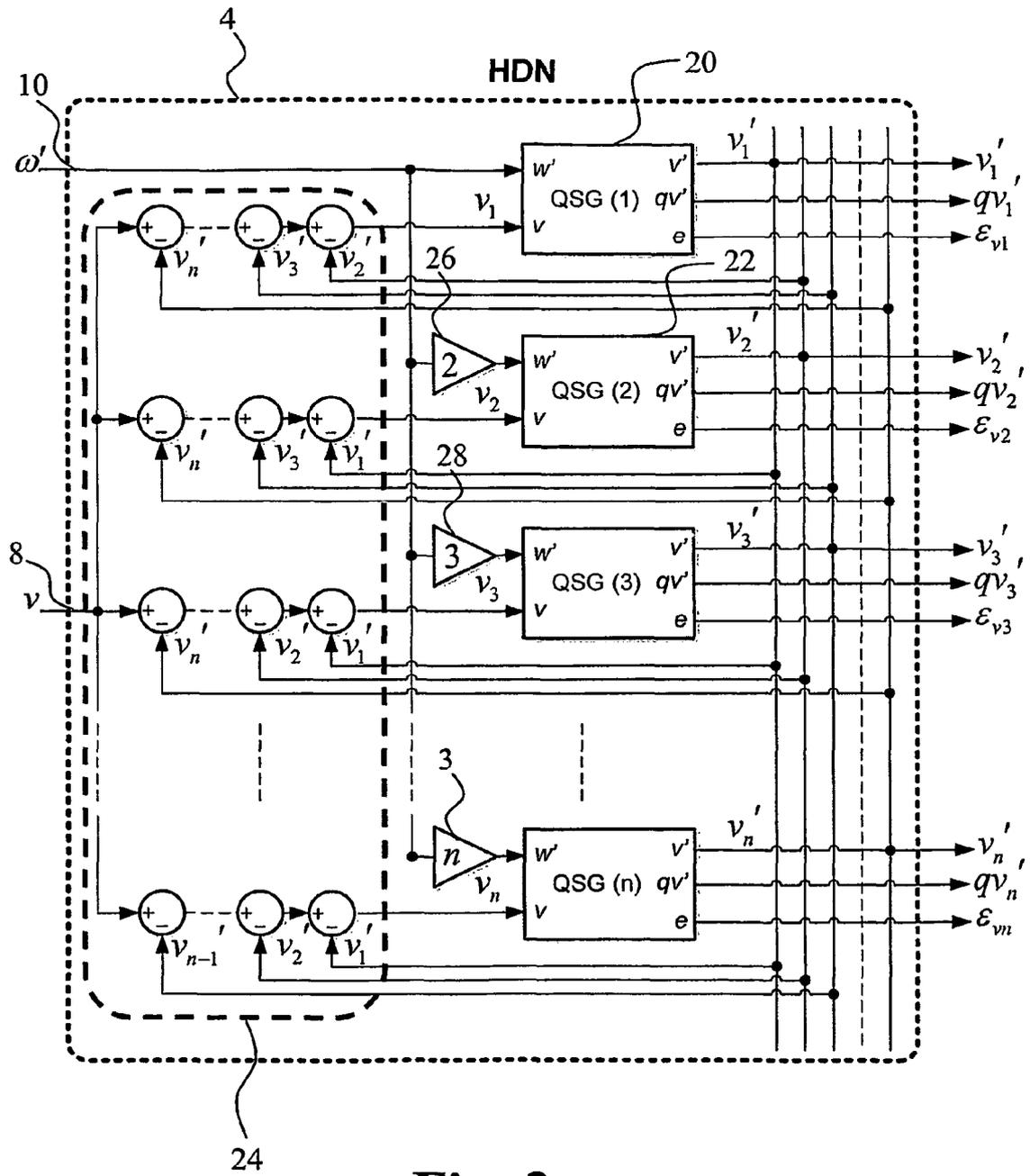


Fig. 3

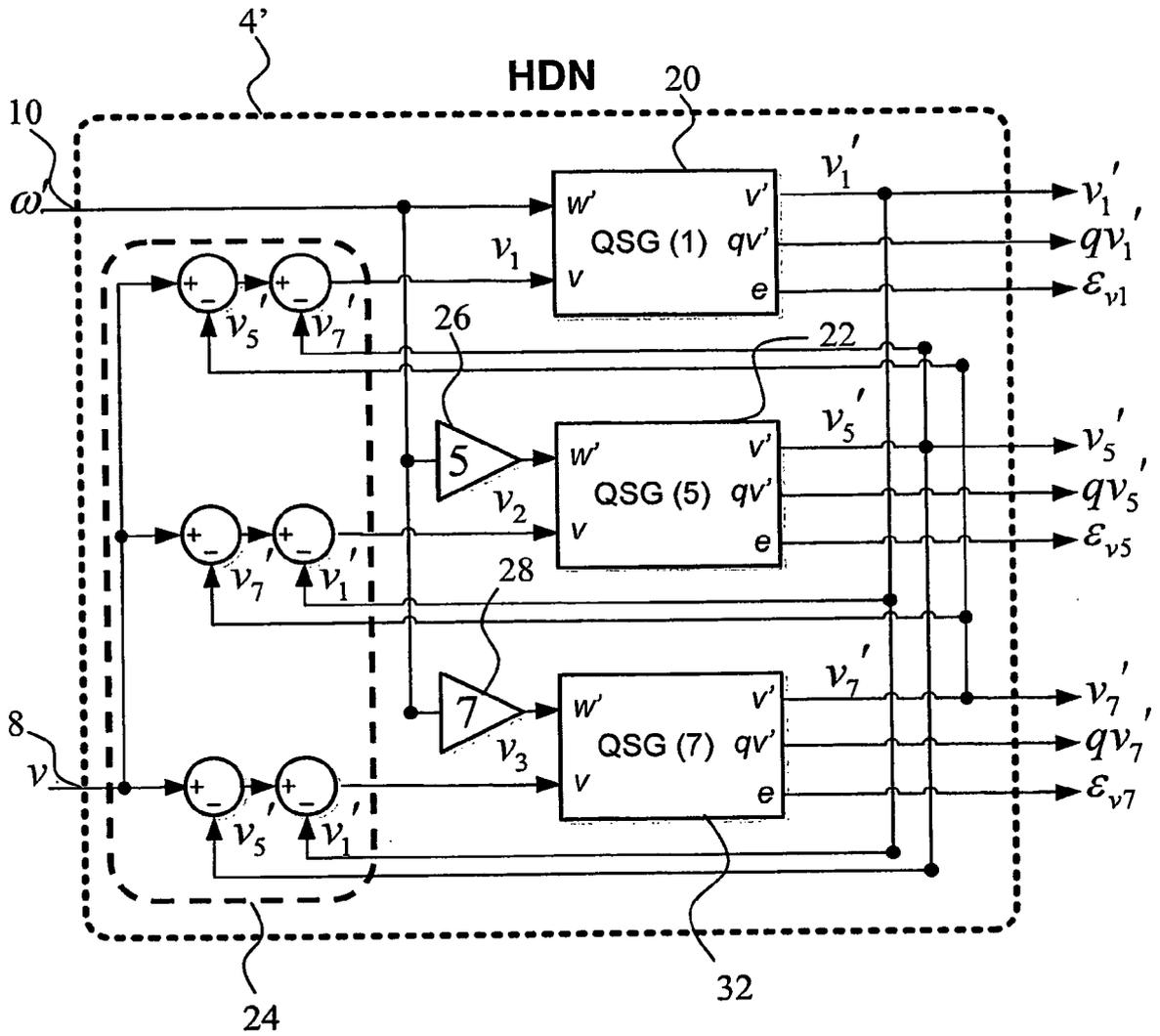


Fig. 4

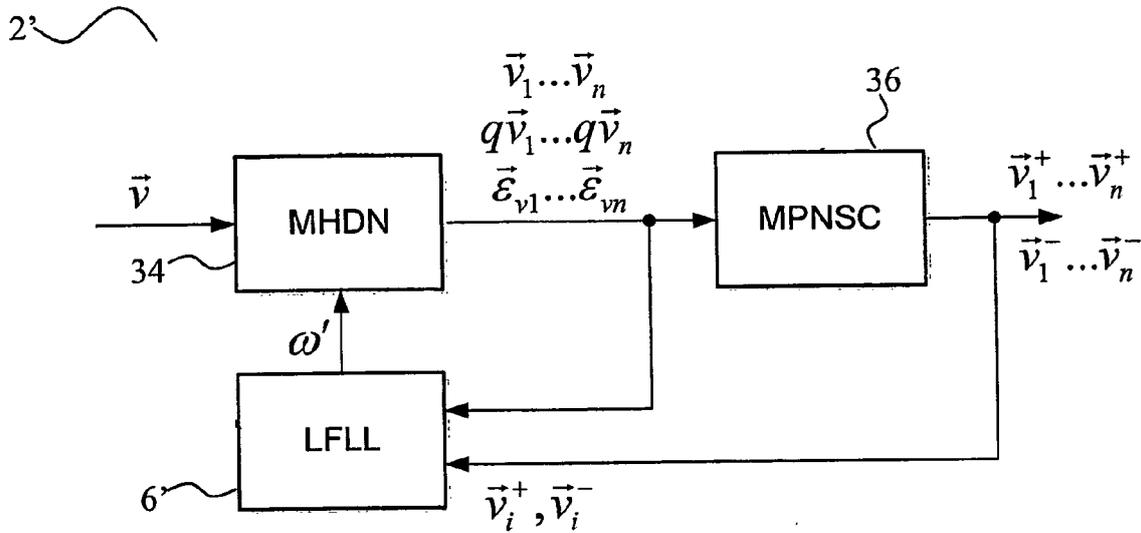


Fig. 5

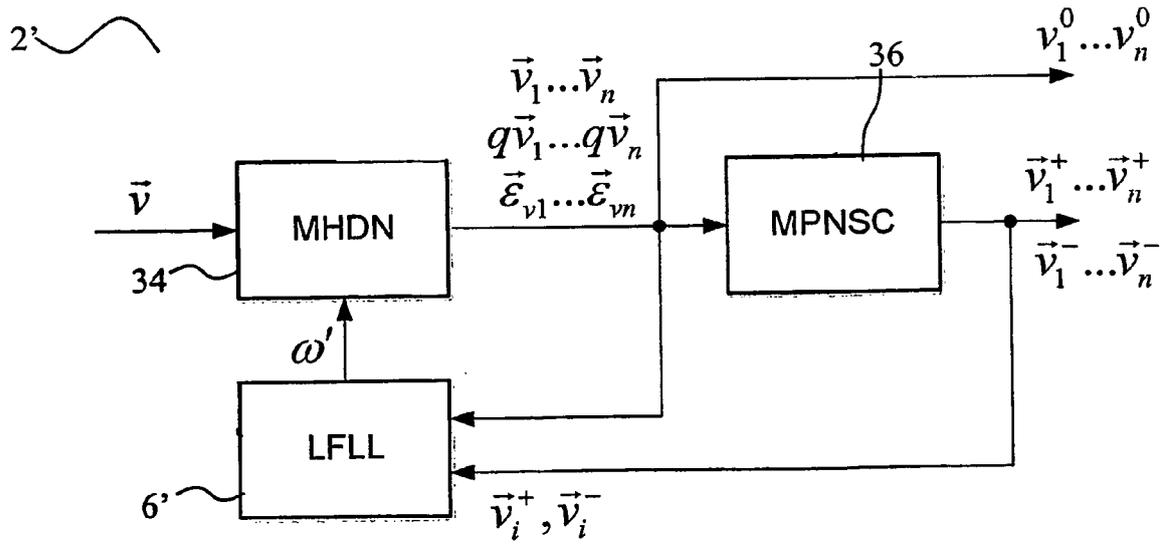


Fig. 6

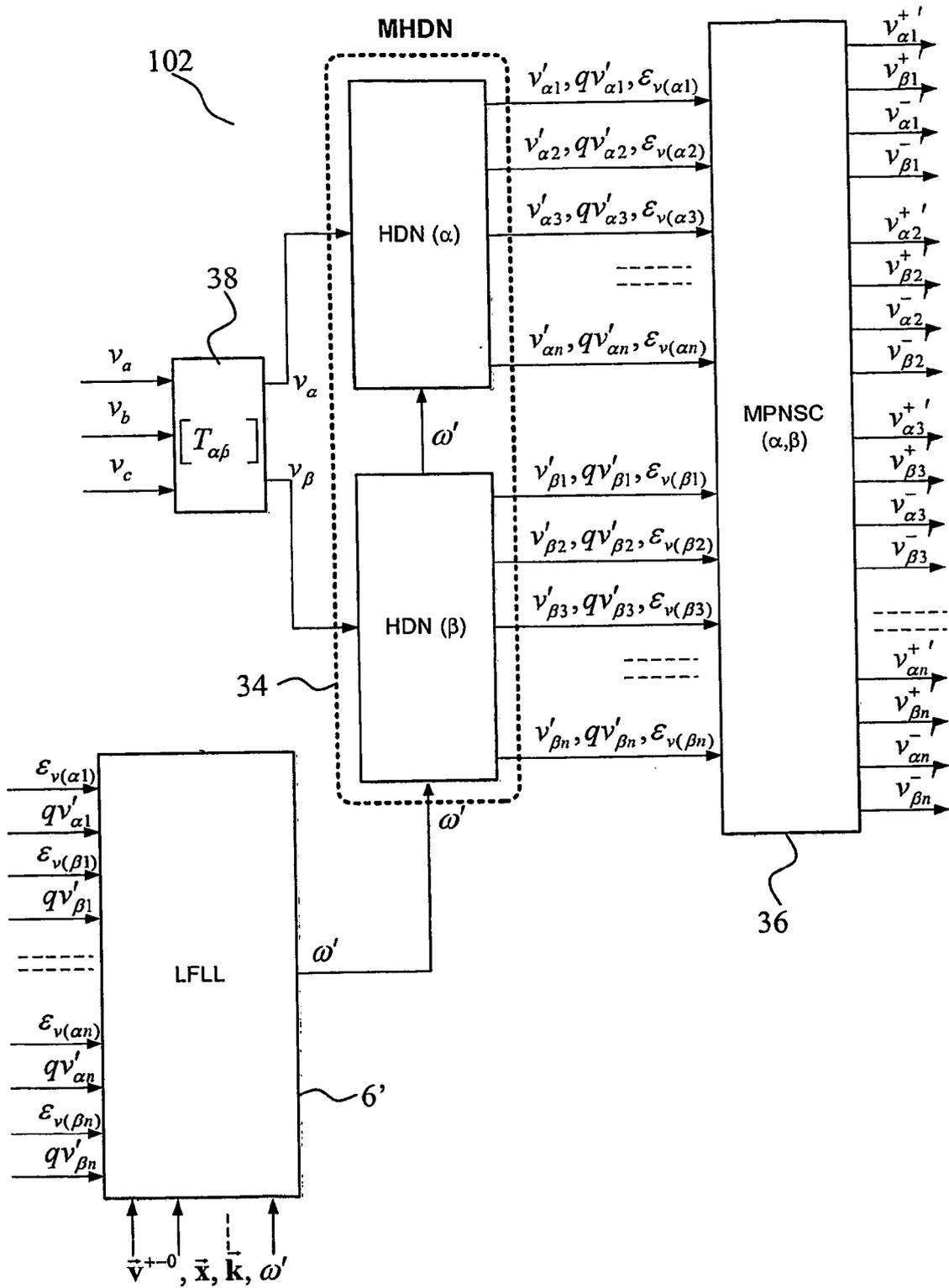


Fig. 7

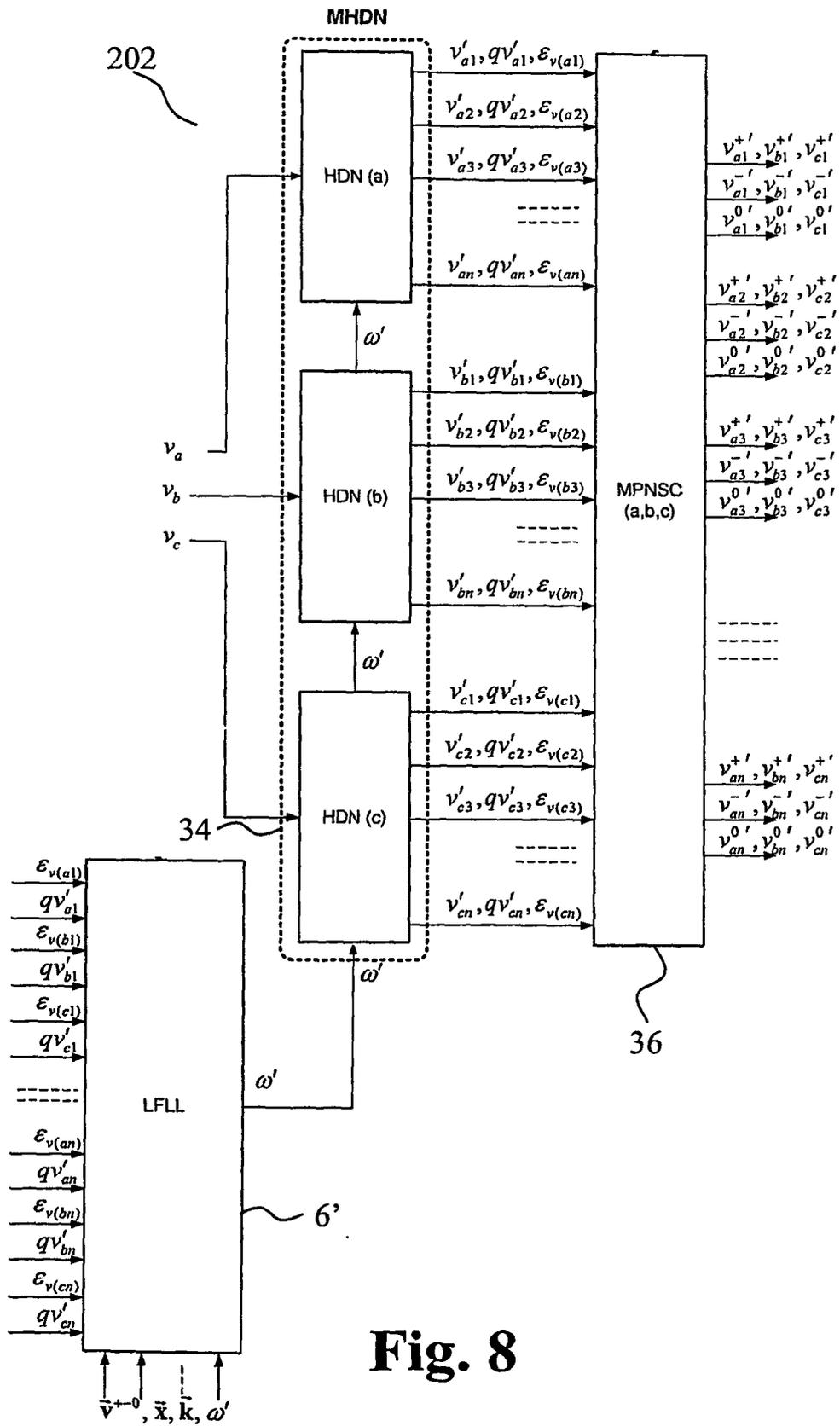


Fig. 8

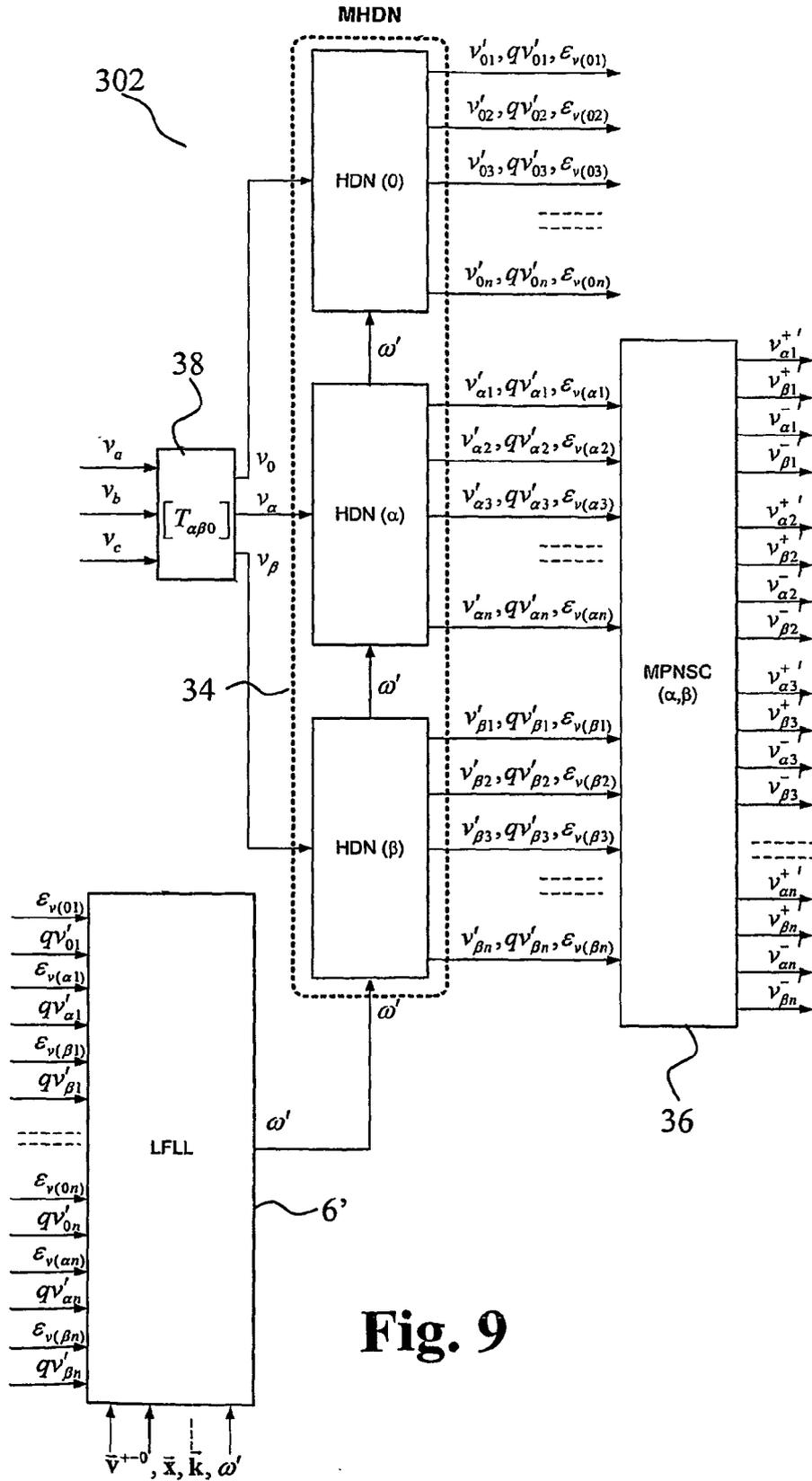


Fig. 9

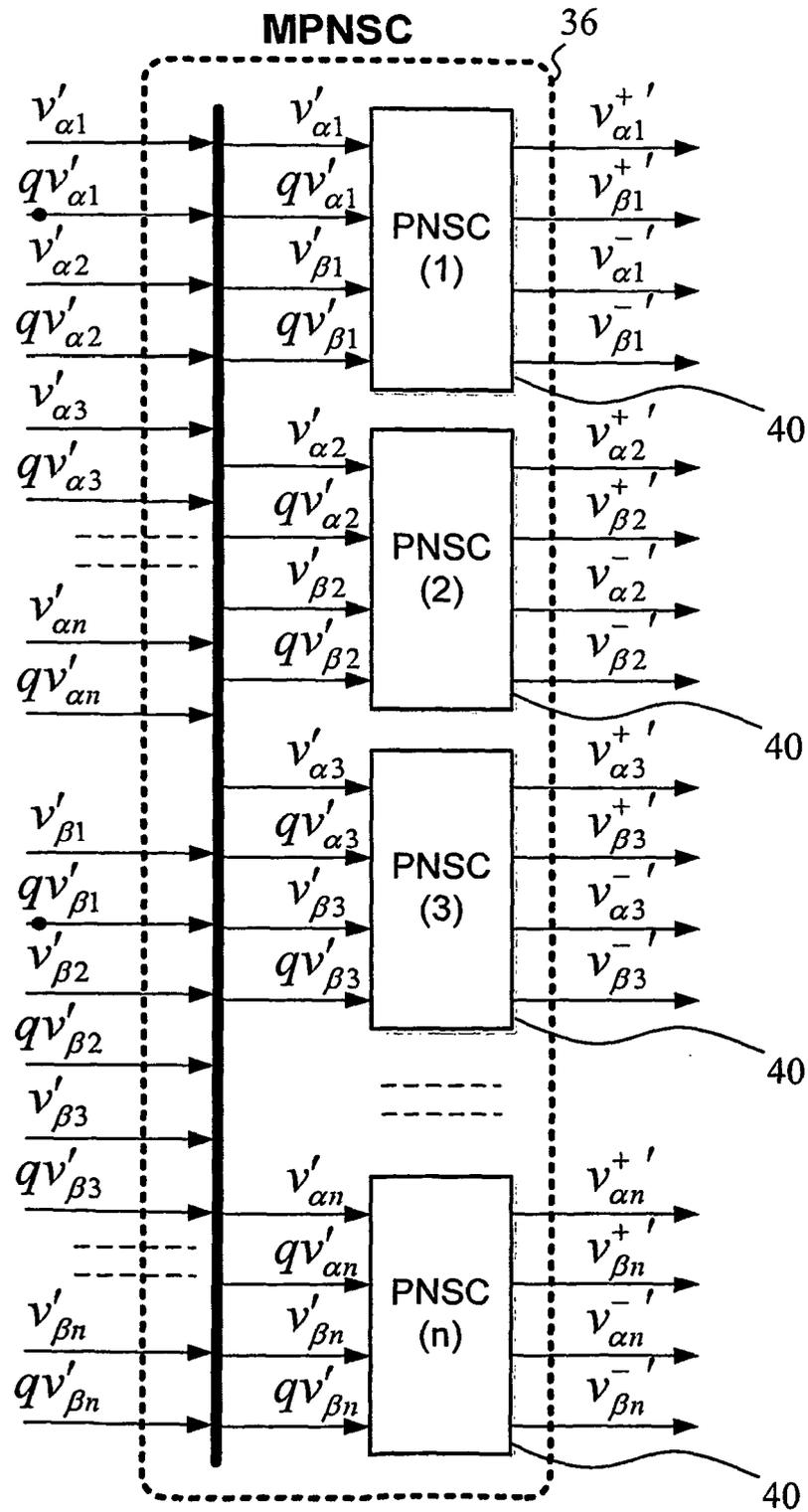
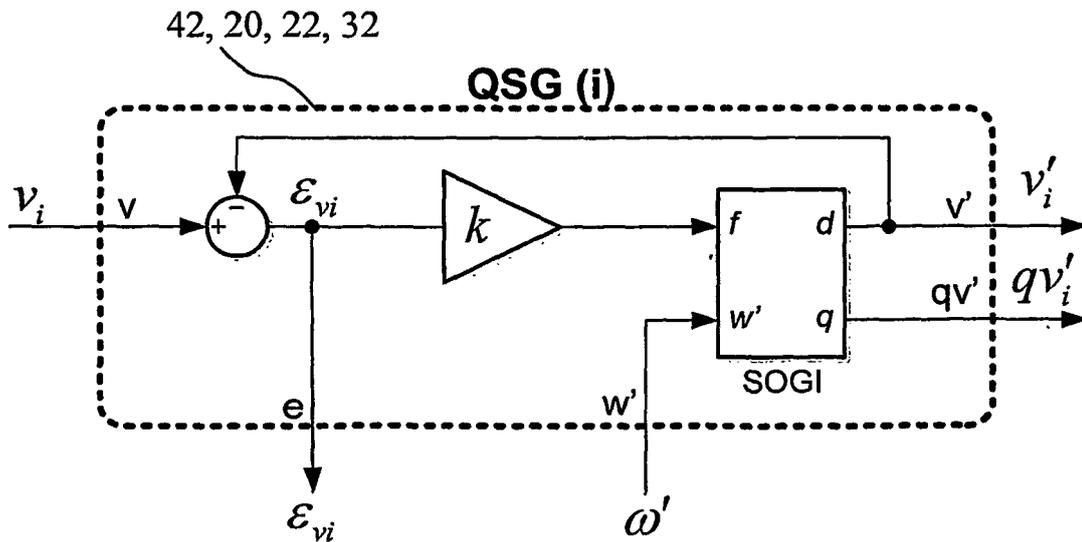
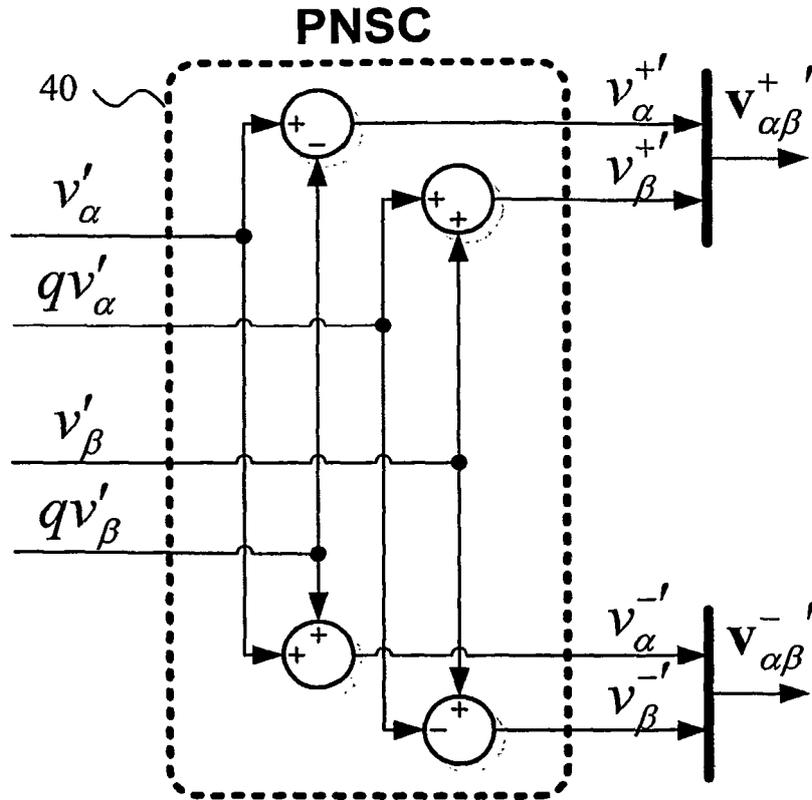


Fig. 10



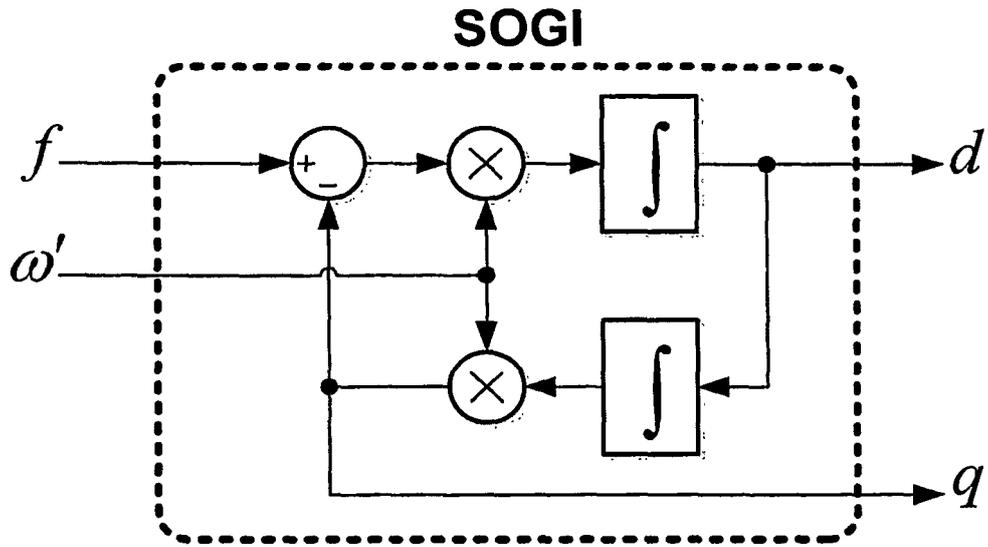


Fig. 13

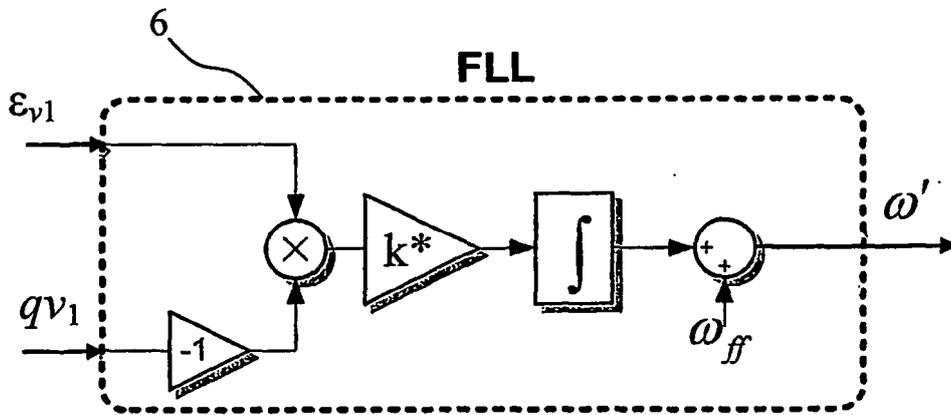


Fig. 14

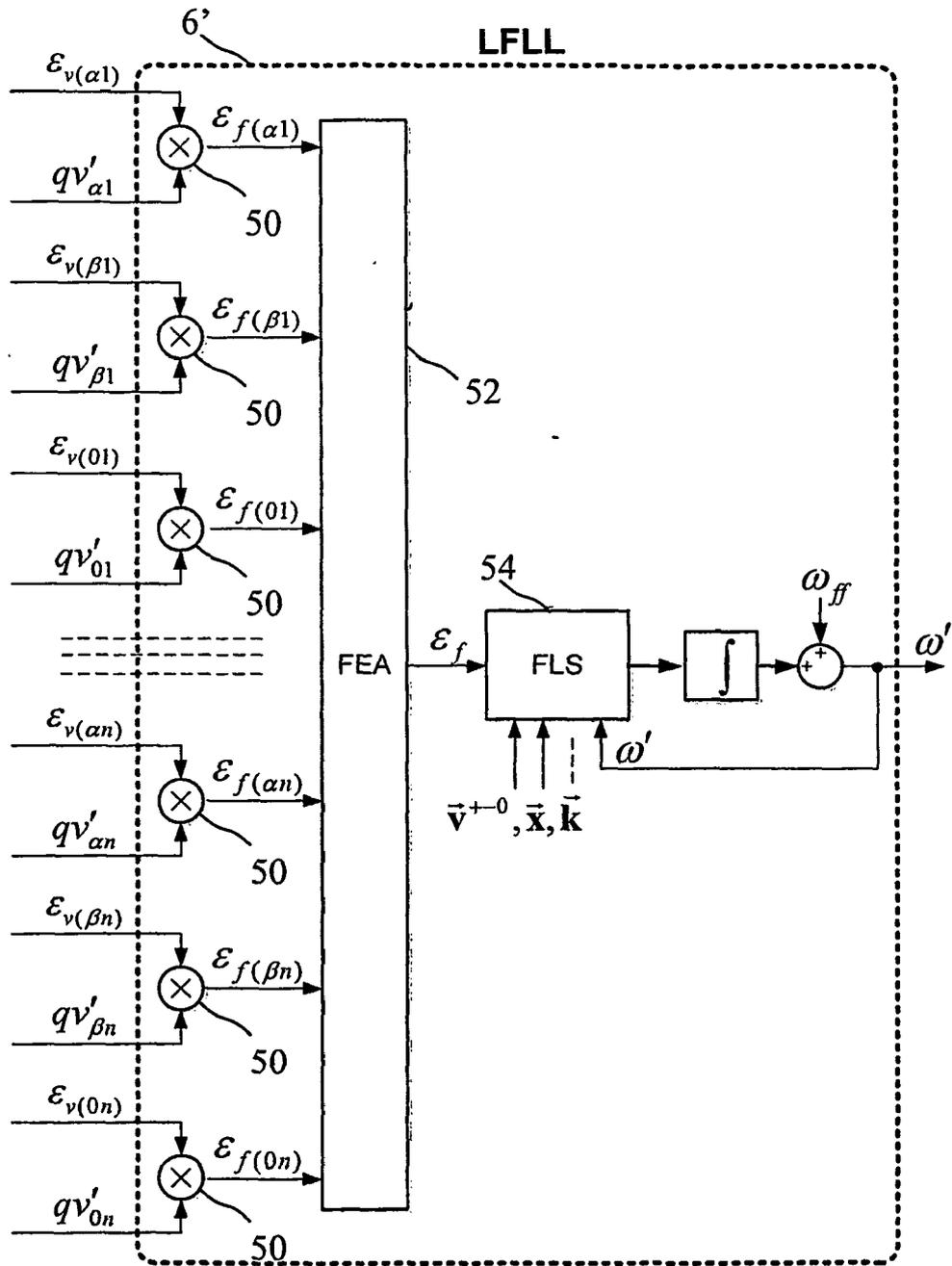


Fig. 15

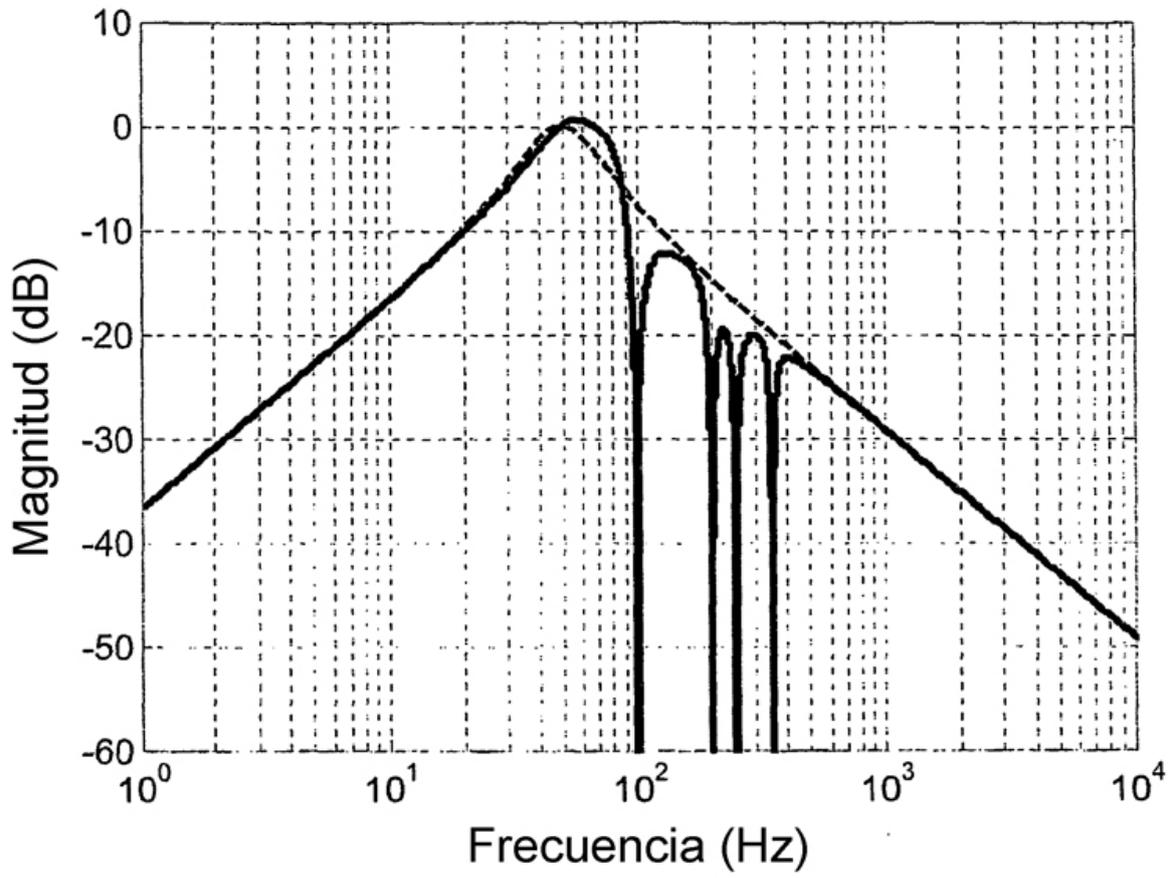


Fig. 16

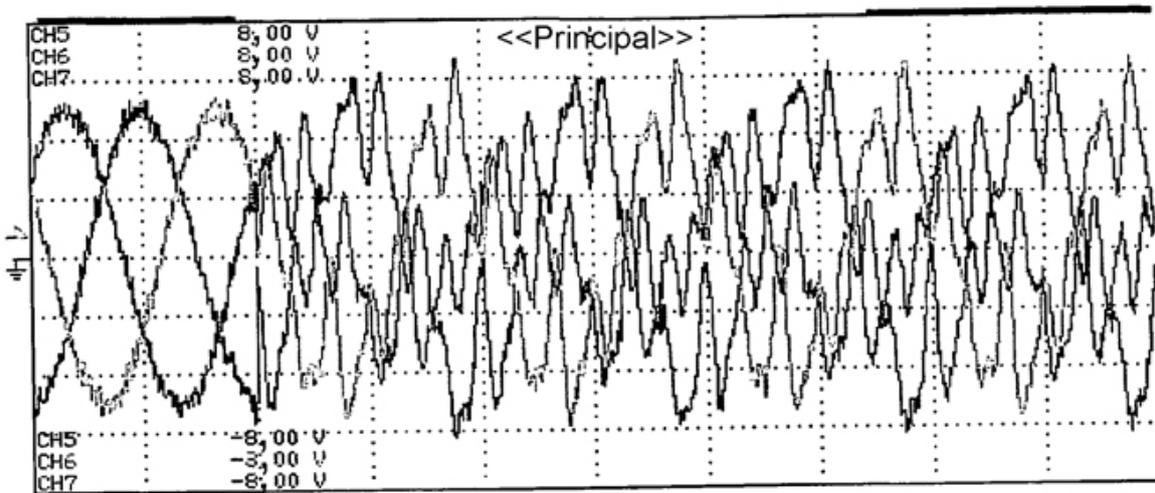


Fig. 17 (a)

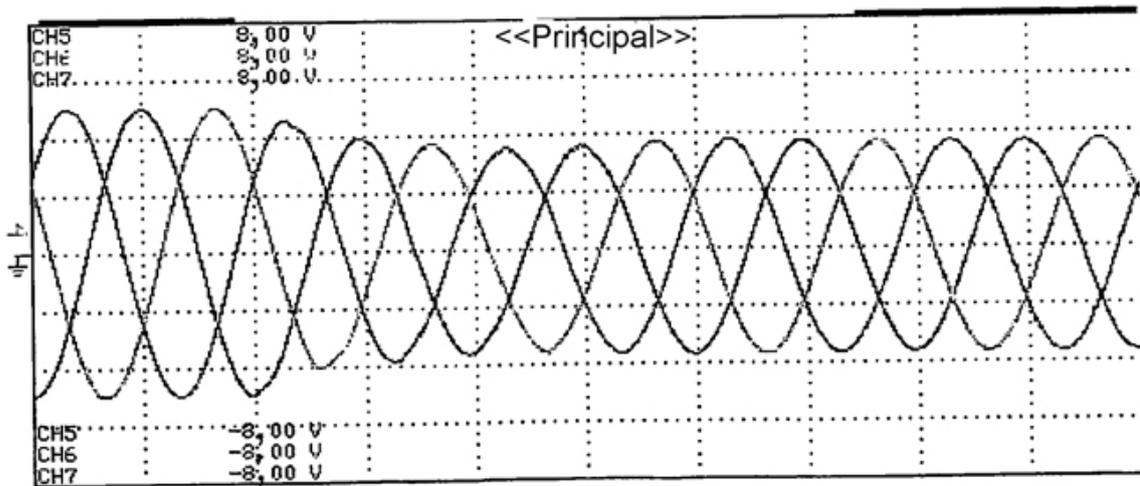


Fig. 17 (b)

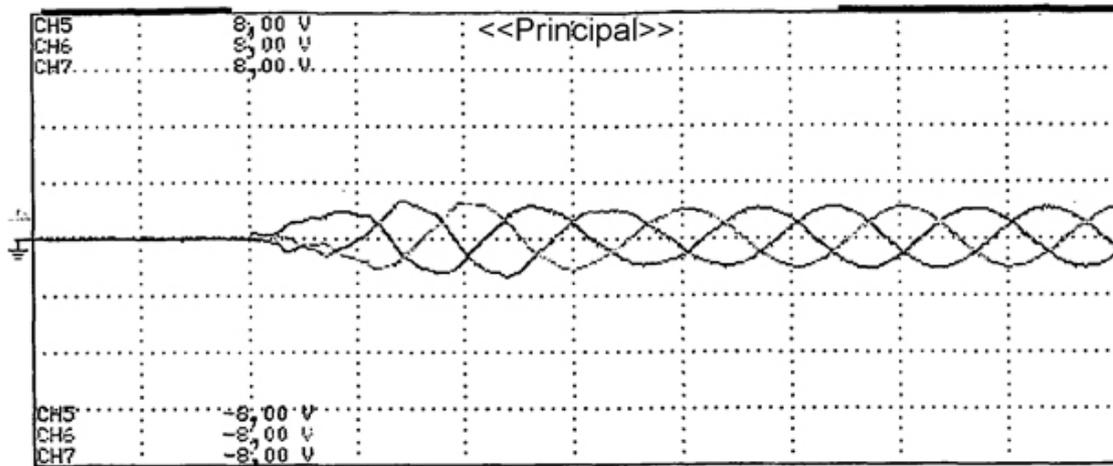


Fig. 17 (c)

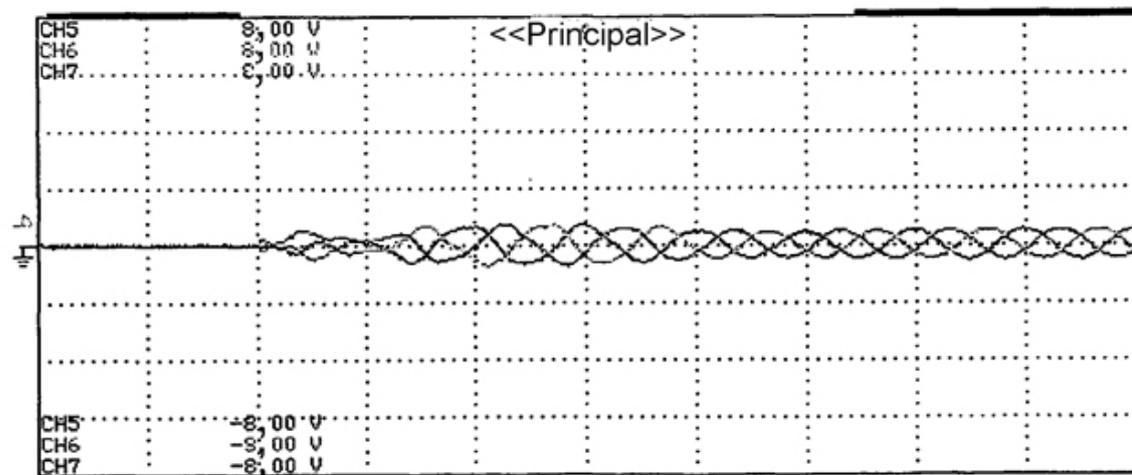


Fig. 17 (d)

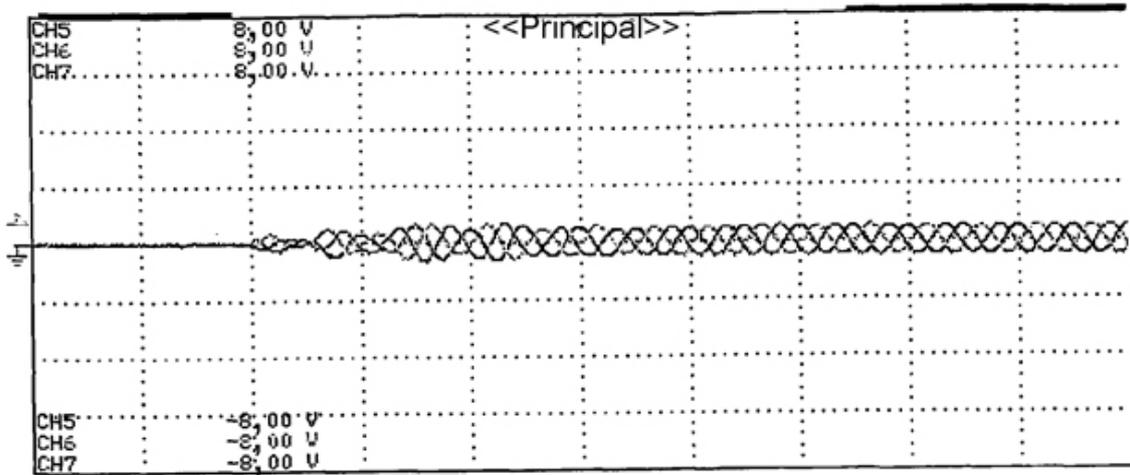


Fig. 17 (e)

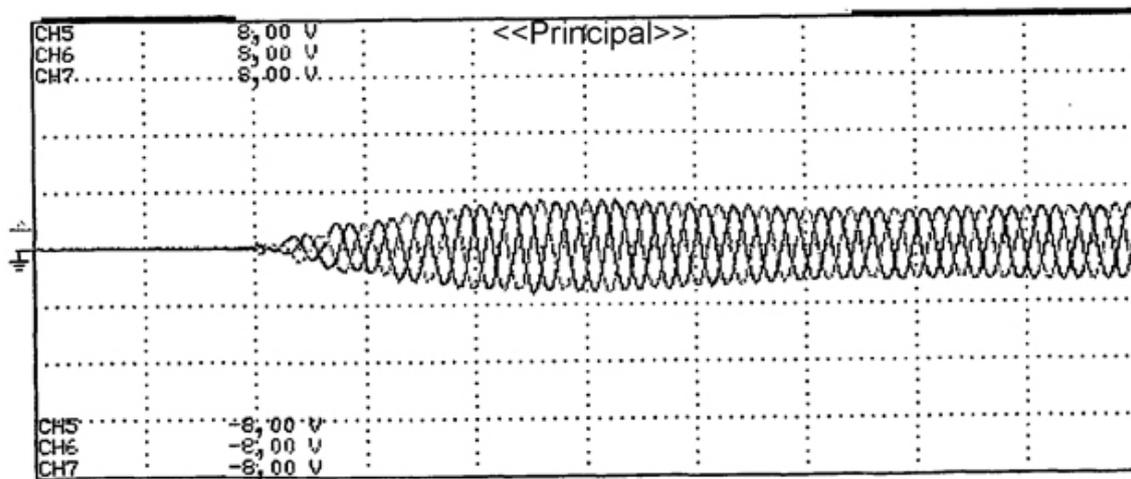


Fig. 17 (f)

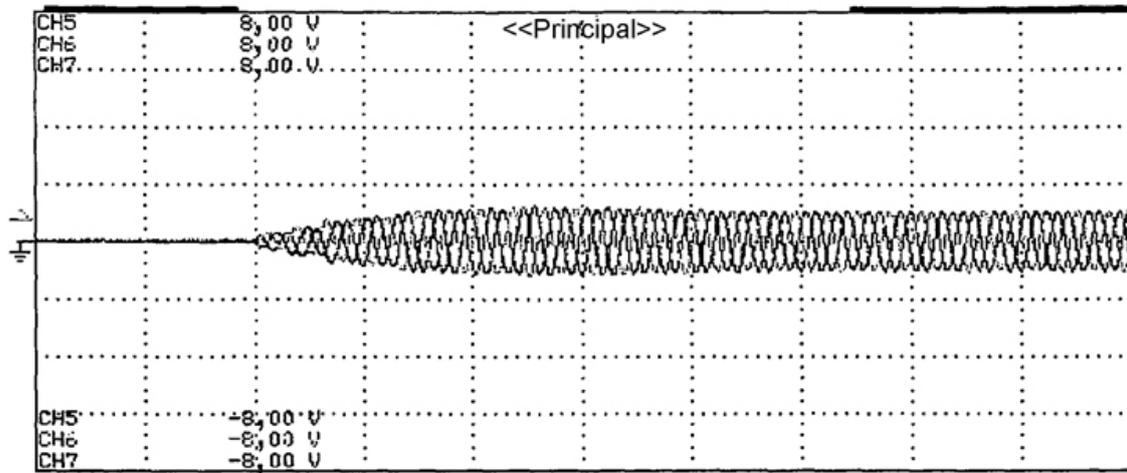


Fig. 17 (g)