



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 319 826**

51 Int. Cl.:
G01R 21/133 (2006.01)
G01R 22/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **96308666 .5**
96 Fecha de presentación : **29.11.1996**
97 Número de publicación de la solicitud: **0777125**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.06.1997**

54

Título: **Medidores vectoriales de electricidad y procedimientos asociados de medición vectorial de electricidad.**

30

Prioridad: **30.11.1995 US 564543**

73

Titular/es: **GENERAL ELECTRIC COMPANY**
1 River Road
Schenectady, New York 12345, US

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.05.2009

72

Inventor/es: **Hoffman, Mark E.;**
Lavoie, Gregory Paul;
Provost, Roland J.;
Plis, Mark Joseph;
Maehl, Thomas;
Elmore, David Dean;
Germer, Warren Ralph;
Putcha, Sivarama Seshu;
Mammen, Jeffrey W.;
Staver, Daniel Arthur;
Bullock, Donald Frank;
Burt, Arthur Charles;
Crittenden, Curtis Whitmore y
Edge, Ellen D.

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.05.2009

74

Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 319 826 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

Medidores vectoriales de electricidad y procedimientos asociados de medición vectorial de electricidad.

5 La presente invención versa acerca de una medición de la línea de energía eléctrica, y más en particular acerca de un aparato y procedimientos para medir cantidades eléctricas vectoriales para líneas de energía eléctrica que tienen múltiples vías de conducción.

10 En la distribución de la energía eléctrica, las compañías eléctricas han considerado normalmente deseable medir cantidades relacionadas con el suministro de energía eléctrica a un consumidor que reflejan de manera precisa el coste de suministrar esa energía a ese consumidor, y repartir así de manera equitativa el coste de suministrar la energía entre todos los usuarios de la red de distribución de energía. Desde el primer momento, las compañías eléctricas se dieron cuenta de que facturar a los clientes basándose simplemente en la medición de la energía real suministrada -vatios-hora- no logra reflejar de manera precisa el coste de suministrar energía al cliente. Por ejemplo, los grandes usuarios
15 industriales pueden tener cargas inductivas, como grandes motores de inducción, que inducen cambios significativos de fase entre voltajes y corrientes en la línea de energía, requiriendo de esta manera el avance de los ángulos del generador y la compensación capacitiva por parte de la compañía eléctrica para así mantener los niveles de voltaje, suministrar de manera eficiente la energía a los consumidores y preservar la estabilidad en la red de distribución de energía. Esta generación añadida y el coste de los equipos esenciales no se refleja en las mediciones de energía
20 suministrada en el punto de medición del cliente.

25 En consecuencia, se han desarrollado otras mediciones de energía eléctrica. Por ejemplo, las compañías eléctricas facturan normalmente no solo por la energía de carga real como vatios-hora suministrados a un usuario, sino también la energía reactiva de carga reactiva como voltamperios-hora reactivos, y factor de potencia ($\cos \phi$). Al medir tanto vatios-hora como voltamperios-hora reactivos las compañías eléctricas pueden repartir de manera más precisa los costes de suministrar energía a los clientes con cargas inductivas que demandan el máximo de la red de distribución de energía.

30 También se reconocieron a principios de este siglo los errores potenciales en la medición de energía atribuibles a las condiciones no sinusoidales. Hace casi sesenta años, los ingenieros de las redes de distribución de energía intentaron desarrollar un modelo teórico unificado general para las redes de distribución de energía que explicara los armónicos y la distorsión. Este modelo se describe en un artículo, “*Definitions of Power and Related Quantities*” por Harvey L. Curtis y Francis B. Silsbee de la Oficina Nacional de Normalización, publicado para el Congreso Estival de 1935 del AIEE. Las definiciones en el artículo de Curtis y Silsbee están derivadas de un modelo vectorial tridimensional
35 de energía eléctrica aplicable para todos los armónicos y fases. Estas definiciones han sobrevivido intactas en gran medida a través de la publicación de las últimas ediciones del “*IEEE Std. 100 Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms*”.

40 En la Figura 19 se ilustran las relaciones vectoriales de energía para una línea de energía. El *ANSI/IEEE STD 100 Dictionary of Electrical and Electronic Terms* define la “potencia fasor” S como la magnitud de un vector de potencia bidimensional cuyos componentes rectangulares son “potencia activa” P y “potencia reactiva” Q . En las redes de distribución de más de una vía de conducción, o sea, redes de distribución “polifásica” y redes de distribución “monofásica” con más de una vía de conducción la potencia fasor S es la suma vectorial de la potencia activa P y la potencia reactiva Q para la red de distribución, para todos los armónicos. Como comprenderán los expertos en la técnica, la potencia fasor S es igual a la potencia activa P cuando todos los elementos de carga son resistivos. En una forma u otra, lo que las compañías eléctricas han medido tradicionalmente y facturado es la potencia fasor, o más específicamente, voltamperios-hora fasores. Normalmente, las compañías eléctricas han medido voltamperios-hora fasores para la frecuencia fundamental del voltaje de la red de distribución utilizando medidores de vatios-hora y medidores de voltamperios-hora reactivos convencionales.
45

50 La “potencia aparente” U se define como la magnitud de una potencia vectorial tridimensional con componentes ortogonales de potencia activa P , potencia reactiva Q y un tercer componente, “potencia de distorsión” D . La potencia aparente y los voltamperios-hora aparentes proporcionan una medida más completa de las características de la línea de energía. Para un circuito aislado de dos terminales, la potencia aparente U puede ser tratada como un escalar, el producto de la raíz cuadrada de la media del voltaje y de la corriente en una única vía de conducción. Sin embargo, en una red de distribución que tiene más de un hilo conductor el vector de potencia aparente y el vector de voltamperios-hora aparentes son vectores, la suma vectorial de los componentes de potencia real, reactiva y de distorsión para todas las fases y los armónicos. Por esta razón, el vector de potencia aparente y el vector de voltamperios-hora aparentes han sido ignorados en gran medida como cantidades prácticas de medición debido a una falta de técnicas para medir
60 de manera precisa sus componentes vectoriales. En vez de ello, las compañías eléctricas han dependido de mediciones alternativas como la energía reactiva y los voltamperios-hora fasores, para las que se podían desarrollar fácilmente técnicas de medición y equipos.

65 Los medidores electrónicos convencionales de toma de muestras de vatios-hora miden de manera precisa la energía al acumular mediciones instantáneas de potencia. Esto se consigue normalmente mediante la toma de muestras del voltaje y de la corriente en la línea de energía y convirtiendo los voltajes y corrientes tomados por muestreo en valores digitales que se pueden multiplicar para computar la potencia instantánea. Estos productos de la toma de muestras se acumulan para dar una medición de la energía transferida por la línea de energía, que puede ser precisa inherentemente

ES 2 319 826 T3

para todos los armónicos significativos, suponiendo que la tasa de toma de muestras satisface el teorema de toma de muestras. Según se define en el *ANSI/IEEE STD 100-1992*, la potencia aparente para un circuito de dos terminales es:

$$U_x = E_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}}$$

donde E_{rms} e I_{rms} son los valores de la raíz cuadrada de la media del voltaje y la corriente para el circuito. De esta manera, al considerar el voltaje y las corrientes en una línea de energía como un compuesto de señales sinusoidales, se puede determinar la potencia aparente (o voltamperios-hora aparentes) para todos los armónicos en una fase de una línea de energía mediante la medición del voltaje y de la corriente RMS.

Sin embargo, la medición de la energía reactiva es más problemática. La medición de voltamperios-hora reactivos se ha llevado a cabo convencionalmente ya sea utilizando un segundo medidor en conjunto con un medidor convencional de vatios-hora o, más recientemente, un medidor con la capacidad incorporada de medir tanto vatios-hora como voltamperios-hora reactivos. Normalmente, la técnica para medir voltamperios-hora reactivos implica cambiar de fase a la línea medida 90° utilizando transformadores (en medidores analógicos) de cambio de fase o elementos de retraso de tiempo (en medidores digitales). Ambos procedimientos pueden suponer errores significativos que surgen de no tener en cuenta o de no desplazar de manera precisa todos los armónicos significativos del voltaje.

Se han propuesto las mediciones basadas en voltamperios-hora aparentes aritméticos para la línea de energía como una aproximación de voltamperios-hora aparentes vectoriales. La potencia aparente aritmética para una red de distribución de múltiples fases representa la suma aritmética de la magnitud de la potencia aparente para cada una de las fases individuales. Aunque es relativamente fácil de computar, la potencia aparente aritmética tiende a aproximarse estrechamente a la potencia aparente vectorial únicamente en casos en los que las fases de la línea de energía están equilibradas y son simétricas. Incluso en esos casos, su medición lleva a menudo a resultados inesperados bajo ciertas circunstancias en las que las formas de onda de la corriente o del voltaje no son sinusoidales. Estas características tienden a hacer que la potencia aparente aritmética sea una cantidad no adecuada para la medición eléctrica.

Los medidores de electricidad y los procedimientos de medición convencionales pueden no proporcionar una medición precisa del coste real de proporcionar energía eléctrica a los consumidores cuando está presente una distorsión. Un uso creciente de accionamientos por motor con conmutación en el estado sólido, grandes suministros de energía por conmutación y cargas conmutadas como los ordenadores llevan a formas de onda de corriente distorsionada, acompañadas normalmente de una mayor cantidad de potencia de distorsión asociada. La potencia de distorsión aumenta la demanda sobre los equipos de la compañía eléctrica y aumenta las pérdidas de energía. Las medidas como voltamperios-hora fasores y voltamperios-hora aritméticos aparentes no logran reflejar de manera racional estos costes asociados.

Los errores que surgen del uso de estas técnicas convencionales de medición se volverán cada vez más significativos según aumente el coste de suministrar energía. Las compañías eléctricas, llevadas por los costes y las exigencias de sus clientes a favor de una facturación equitativa, tienen una necesidad creciente de mediciones precisas que reflejen el coste real de suministrar la energía. Sin embargo, para proporcionar continuidad y minimizar los costes de sustitución los equipos y procedimientos nuevos deberían ser compatibles con las conexiones del medidor convencional y los formatos de medición convencional, al igual que con las diversas topologías de circuito empleadas en los servicios eléctricos.

El documento GB 2 227 847 describe un monitor de potencia para determinar muestras de potencia real e imaginaria.

A la luz de lo anterior, es por lo tanto un objeto de la presente invención proporcionar medidores de electricidad y procedimientos de medición para medir la electricidad en una línea de energía que tiene al menos dos vías de conducción.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar medidores de electricidad y procedimientos para medir la electricidad que son precisos para armónicos significativos de la frecuencia fundamental de la línea de energía.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar medidores de electricidad y procedimientos de medición para medir la electricidad que son compatibles con las conexiones de medidores convencionales y capaces de utilizar formatos de medición convencional.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar medidores de electricidad y procedimientos de medición para medir la electricidad que son adaptables a diversas topologías del circuito de la línea de energía.

Estos objetos y las ventajas se proporcionan mediante medidores de electricidad y procedimientos de medición para mediciones vectoriales de electricidad que detectan las señales del voltaje de línea y de la corriente de línea en la línea de energía, convierten las señales detectadas en una señal digital, y computan las cantidades de medición vectorial para la línea de energía durante un intervalo determinado de ortogonalidad para los voltajes de línea y las corrientes de línea detectadas, como se define en las reivindicaciones adjuntas. En consecuencia, se pueden conseguir las mediciones precisas de la cantidad de medición vectorial. La cantidad de medición vectorial computada puede

ES 2 319 826 T3

5 incluir voltamperios-hora aparentes vectoriales, potencia aparente vectorial, voltamperios-hora aparentes aritméticos, potencia aparente aritmética, voltamperios-hora fasores, voltamperios-hora de distorsión, potencia de distorsión, energía reactiva, potencia reactiva, potencia activa, factor de potencia y factor de potencia de distorsión. El medio para computar vectores para computar cantidades de medición vectorial está implementado preferiblemente utilizando un procesador digital de señales en combinación con un microprocesador para uso general, integrado dentro de un medidor de electricidad.

10 La presente invención proporciona una medición precisa y equitativa de la electricidad mediante medición vectorial precisa de la energía eléctrica. La presente invención también proporciona una medición flexible programable que permite la facturación del cliente medido en base a combinaciones de cantidades eléctricas vectoriales medidas. La presente invención también es fácilmente adaptable a distintos entornos de servicio eléctrico, como un montaje en estrella de 4 hilos, 3 hilos monofásicos, 3 hilos en triángulo y similares, sin requerir cambios de componentes o modificaciones complicadas de los equipos. También se ayuda a la instalación del medidor y al mantenimiento de la línea de energía.

15 En particular, la medición vectorial de la electricidad se consigue en un medidor de electricidad conforme a la presente invención mediante la detección de las señales de voltaje de línea y de corriente de línea en una línea de energía. Se determina un intervalo de ortogonalidad para las señales detectadas de voltaje y de corriente a partir de las señales detectadas de voltaje. Las señales detectadas de voltaje y de corriente se convierten en una señal digital de la que se computa un parámetro de medición vectorial para el intervalo de ortogonalidad utilizando medios de computación vectorial. Preferiblemente, las señales detectadas de voltaje y de corriente se convierten en secuencias correspondientes de muestras de voltaje de línea y de corriente de línea, que se corresponden con una pluralidad consecutiva de tiempos de toma de muestras separados por un intervalo de muestreo. Preferiblemente, el intervalo de toma de muestras es uniforme.

20 Se pueden computar una señal digital de voltaje de fase a neutro y su señal correspondiente de corriente de fase a partir de la señal digital antes de computar la cantidad de medición vectorial, definiendo de esta manera una fase de la línea de energía con respecto a un neutro real o derivado para la línea de energía. Preferiblemente, la señal digital de voltaje de fase a neutro incluye una serie de muestras digitales de voltaje de fase a neutro, y la señal digital de corriente de fase incluye una serie de muestras digitales de corriente de fase, correspondiéndose cada muestra con el tiempo de toma de muestras para el correspondiente muestra digital de voltaje de línea o muestra digital de corriente de línea.

25 El intervalo de ortogonalidad está determinado preferiblemente mediante la detección del paso de un número entero predeterminado de ciclos de una señal de referencia de frecuencia fundamental que se aproxima a la frecuencia de un componente fundamental de los voltajes y las corrientes en la línea de energía. Preferiblemente, un intervalo de ortogonalidad representa 60 ciclos de la señal de referencia de frecuencia fundamental para una red de distribución de energía nominal de 60 Hz, o 50 ciclos de la señal de referencia de frecuencia fundamental para una red de distribución nominal de 50 Hz. El intervalo de ortogonalidad está determinado preferiblemente mediante la filtración de banda estrecha de las señales computadas de voltaje de fase a neutro para producir señales correspondientes de voltaje de fase a neutro de frecuencia fundamental. Estas señales de frecuencia fundamental pueden estar combinadas linealmente para producir la señal de referencia de frecuencia fundamental.

30 Conforme a un aspecto de la presente invención, computar una cantidad de medición vectorial para el intervalo de ortogonalidad incluye computar voltamperios-hora aparentes vectoriales. La energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes están computados para cada fase de la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad. Los voltamperios-hora aparentes vectoriales para el intervalo de ortogonalidad están computados a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes computados. Los voltamperios-hora de distorsión para cada fase de la línea de energía pueden ser computados a partir de estas cantidades. Como podrán comprender los expertos en la técnica, al computar energía, energía reactiva y voltamperios-hora de distorsión durante un intervalo de ortogonalidad, la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora computados representan de manera precisa los componentes vectoriales de la línea de energía. Se puede realizar álgebra vectorial sobre estos componentes para dar una medición precisa de los voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea de energía durante el intervalo.

35 La energía reactiva está computada preferiblemente mediante la aplicación de un filtro de potencia reactiva a la señal digital de voltaje de fase a neutro y a la señal digital de corriente de fase. Preferiblemente, este filtro incluye filtros digitales implementados en los medios de computación vectorial. Preferiblemente, el filtro de potencia reactiva incluye múltiples filtros de cambio de fase y resistencias multiplicadoras que producen dos señales de producto de potencia intermedia desfasada que son sumadas para producir una señal de salida que se aproxima mucho a la energía reactiva de la línea de energía para todos los armónicos dentro de un rango predeterminado de frecuencias.

40 Conforme a otro aspecto de la presente invención, se computa la potencia activa, reactiva, de distorsión y aparente vectorial para la línea de energía a partir de la energía, la energía reactiva, los voltamperios-hora de distorsión y los voltamperios-hora aparentes vectoriales computados. Preferiblemente, estas cantidades vectoriales están computadas al dividir la energía, la energía reactiva, los voltamperios-hora de distorsión o aparentes vectoriales computados para el intervalo de ortogonalidad mediante el número de tiempos de toma de muestras que se dan en el intervalo para dar la cantidad de potencia correspondiente. También se pueden computar un factor de potencia y un factor de potencia de distorsión a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes por fase durante el intervalo.

ES 2 319 826 T3

En otro aspecto de la presente invención, se computa una magnitud de corriente neutra para la línea de energía a partir de las señales digitales de corriente de fase computadas. Se puede computar una situación de corriente neutra al comparar la magnitud de corriente neutra computada con un umbral predeterminado, indicando un desequilibrio inaceptable de fase u otra condición de mantenimiento. De manera similar, se puede computar un voltaje efectivo de línea. Se puede computar una situación de voltaje de línea al comparar el voltaje efectivo de línea computado con un voltaje de funcionamiento nominal previsto.

También se puede computar un ángulo de fase asociado con un componente de frecuencia fundamental de una señal detectada de voltaje de línea utilizando una técnica de decimación migratoria. Se seleccionan las muestras de una versión filtrada de banda estrecha de una señal digital de voltaje de línea durante una serie de periodos consecutivos de la señal de referencia de frecuencia fundamental para obtener un conjunto de muestras migratorias diezmadas. Preferiblemente, estas muestras están seleccionadas de forma que una primera muestra migratoria diezmada seleccionada coincide con un primer cruce de curvas en el punto cero de la señal de referencia de frecuencia fundamental. La siguiente muestra migratoria diezmada seleccionada se selecciona del siguiente periodo de la señal de referencia de frecuencia fundamental, retrasada un intervalo predeterminado de decimación migratoria desde el punto en la forma de onda de la señal de referencia de frecuencia fundamental en el que fue tomada la muestra precedente. Se toman muestras de manera similar de intervalos sucesivos, produciendo de esta manera un conjunto de muestras migratorias diezmadas que se aproximan a un periodo de la señal digital de voltaje. Se aplica un análisis de Fourier a estas muestras migratorias diezmadas para computar el ángulo de fase del componente de frecuencia fundamental de la señal de voltaje de línea con respecto a la señal de referencia. De esta manera se proporciona una medición precisa del ángulo de fase del voltaje de línea, útil para la instalación y el mantenimiento del medidor, entre otras tareas.

En otro aspecto de la presente invención, las cantidades medidas para un intervalo de ortogonalidad se pueden registrar de forma acumulativa, ser analizadas para valores mínimos y máximos durante un periodo de interés, y ser sometidas a otros análisis para facturación u otros fines. Se puede computar una cantidad identificada de medición, en base a una retención asociada. También se pueden computar las cantidades de medición vectorial a pesar de la pérdida de una señal detectada de voltaje de línea, proporcionando de esta manera un medio para estimar la potencia cuando un transformador de voltaje u otro componente han fallado.

En consecuencia, se proporcionan los medidores vectoriales de electricidad y los procedimientos para medir vectorialmente la electricidad que pueden medir de manera precisa cantidades de medición vectorial. Estos medidores y procedimientos permiten la medición de electricidad que refleja de manera precisa y equitativa los costes de suministrar energía a clientes. Estos medidores y procedimientos también son adaptables a diversas topologías de circuito de línea de energía, y son compatibles con conexiones y formatos de medidor convencional.

Se describirán ahora las realizaciones de la invención, a título de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un medidor vectorial de electricidad conforme a la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de bloques que ilustra un medidor vectorial de electricidad alojado dentro de una caja del medidor conforme a la presente invención.

La Figura 3A es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones en un medidor vectorial de electricidad conforme a la presente invención.

La Figura 3B es un diagrama de bloques que ilustra la conversión de señales detectadas de voltaje de línea y de corriente de línea a muestras digitales conforme a la presente invención.

La Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones en un medidor vectorial de electricidad conforme a la presente invención.

La Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra la determinación de un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención.

La Figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra el cómputo de una cantidad de medición vectorial de las señales detectadas del voltaje de línea y de la corriente de línea conforme a la presente invención.

La Figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar una señal de voltaje de fase a neutro y una señal de corriente de fase para definir una fase de una línea de energía conforme a la presente invención.

La Figura 8 es un diagrama de bloques que ilustra el cómputo de una cantidad de medición vectorial basada en una topología de circuito integrado.

La Figura 9 es una tabla que ilustra las operaciones ejemplares para computar muestras de voltaje de fase a neutro y muestras de corriente de fase basados en una topología de circuito integrado conforme a la presente invención.

ES 2 319 826 T3

La Figura 10 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar la energía por fase durante un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención.

5 La Figura 11 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar voltamperios-hora aparentes por fase para un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención.

La Figura 12A es un diagrama de bloques que ilustra un filtro de potencia reactiva conforme a la presente invención.

10 La Figura 12B ilustra de manera gráfica una función de transferencia para un filtro de potencia reactiva conforme a la presente invención.

La Figura 13 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar la energía reactiva por fase para un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención.

15 La Figura 14 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar voltamperios-hora aparentes vectoriales para una línea de energía para un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención.

20 La Figura 15A es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar un ángulo de fase del voltaje de línea conforme a la presente invención.

La Figura 15B es un diagrama de bloques que ilustra una toma de muestras diezmadas para el cómputo del ángulo de fase conforme a la presente invención.

25 La Figura 16A es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar un voltaje nominal previsto de línea conforme a la presente invención.

La Figura 16B es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar un voltaje efectivo de línea conforme a la presente invención.

30 La Figura 17 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar una situación de voltaje de línea conforme a la presente invención.

La Figura 18 es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones para computar una magnitud de corriente neutra y una situación de corriente neutra conforme a la presente invención.

35

La Figura 19 ilustra de manera gráfica las relaciones vectoriales de potencia.

La presente invención se describirá ahora con mayor detalle más adelante haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran las realizaciones preferidas de la invención. Sin embargo, esta invención puede ser realizada de muchas formas distintas y no se debería interpretar como que está limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento: más bien, se proporcionan estas realizaciones de forma que esta revelación sea minuciosa y completa, y comunicará completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica. Los números iguales hacen referencia a elementos iguales en todo el documento.

45 Las Figuras 6-7, 10-11, 13-15A y 16A-18 son ilustraciones de diagrama de flujo de procedimientos y sistemas conforme a la invención. Se comprenderá que se puede implementar mediante instrucciones del programa informático cada bloque de las ilustraciones de diagrama de flujo, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagrama de flujo. Estas instrucciones del programa informático pueden estar cargadas en un ordenador u otro aparato programable para producir una máquina, de forma que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable crean medios para implementar las funciones especificadas en el bloque o los bloques del diagrama de flujo. Estas instrucciones del programa informático también se pueden almacenar en una memoria legible por un ordenador que puede dirigir a un ordenador u otro aparato programable a funcionar de una forma en particular, de forma que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por un ordenador producen un artículo de fabricación que incluye medios de instrucción que implementan la función especificada en el bloque o los bloques del diagrama de flujo. Las instrucciones del programa también pueden estar cargadas en un ordenador u otro aparato programable para hacer que se lleven a cabo una serie de pasos operativos en el ordenador u otro aparato programable para producir un proceso implementado mediante ordenador de forma que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionan los pasos para implementar las funciones especificadas en el bloque o los bloques del diagrama de flujo.

60

En consecuencia, los bloques de las ilustraciones de los diagramas de flujo soportan combinaciones de medios para llevar a cabo las funciones y combinaciones especificadas de pasos para llevar a cabo las funciones especificadas. Se comprenderá que cada bloque de las ilustraciones de los diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de los diagramas de flujo, pueden ser implementados mediante sistemas informáticos basados en *hardware* de uso especial que llevan a cabo las funciones o pasos especificados, o combinaciones de *hardware* de uso especial e instrucciones informáticas.

65

Un medidor vectorial de electricidad

Las Figuras 1 y 2 ilustran un medidor vectorial de electricidad conforme a la presente invención. El sensor (110) de voltaje y el sensor (120) de corriente detectan señales de voltaje y de corriente en una línea de energía e introduce los voltajes y corrientes (315) detectados en el medio (320) de conversión. El medio (320) de conversión, tal como un convertidor analógico a digital (A/D), puede incluir circuitos de procesamiento de señales para rechazar los componentes de CC en los voltajes y corrientes (315) detectados, compensando los cambios de fase inducidos por el medio de detección, y similares, al igual que un medio para la toma de muestras de los voltajes y corrientes detectados para obtener una señal digital (325).

La señal digital (325) es introducida en un medio (330) de cómputo vectorial, mostrado en la Figura 1 como que incluye un programa informático que corre en un procesador digital (130) de señales, un microordenador (140) y una memoria (150) de programa/datos. Preferiblemente, el procesador digital (130) de señales (DSP) lleva a cabo computaciones de potencia vectorial basadas en la señal digital (325), bajo el control del microordenador (140). Preferiblemente, el procesador digital (130) de señales es un dispositivo de procesamiento de alta velocidad que tiene una arquitectura sumamente paralela que lleva a cabo cálculos repetitivos rápidamente. Son ejemplos de un procesador digital (130) de señales los dispositivos de la línea TMS320x de procesadores digitales de señales de Texas Instruments Corporation. Además de controlar el procesador digital (130) de señales, el microordenador (140) puede controlar otros dispositivos periféricos, tal como una pantalla (160) o una interfaz (170) de comunicaciones. Los expertos en la técnica comprenderán que el medio (330) de cómputo puede estar implementado utilizando diversas combinaciones de elementos de *hardware* y *software*, que incluyen otros dispositivos de procesamiento digital de señales o procesadores de uso general.

Preferiblemente, el medio (310) de detección, el medio (320) de conversión y el medio (330) de computación vectorial están integrados dentro de un medidor (200) de electricidad de tipo estándar, como se muestra en la Figura 2. El medidor (200) puede incluir una pantalla LCD (160) y un puerto óptico (170) para comunicar datos de medición a un registrador de datos u otro dispositivo. El medidor (200) puede estar conectado directamente a los conductores (220A-C) de una línea (210) de energía directamente para instalaciones de baja potencia, bajo voltaje, o puede estar separado a través del uso de transformadores de voltaje y de corriente, como saben bien los expertos en la técnica.

Medición vectorial de la electricidad - Resumen

Los expertos en la técnica comprenderán que la potencia aparente vectorial (o voltamperios-hora aparentes vectoriales) para una línea de energía que tiene más de una vía de conducción se puede determinar al determinar en primer lugar sus tres componentes ortogonales: la potencia activa (o energía); la potencia reactiva (o energía reactiva); y la potencia de distorsión (o voltamperios-hora de distorsión). En términos vectoriales:

$$\bar{U} = \bar{P} + \bar{Q} + \bar{D}$$

y

$$|\bar{U}| = \sqrt{|\bar{P}|^2 + |\bar{Q}|^2 + |\bar{D}|^2}$$

En un medidor vectorial de electricidad conforme a la presente invención, estos componentes están computados a lo largo de un intervalo de ortogonalidad para los componentes sinusoidales de los voltajes y corrientes periódicos en la línea de energía.

Los expertos en la técnica comprenderán que se puede representar un vector n-dimensional y como una suma de vectores base x_1, x_2, \dots, x_n :

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

Si los vectores base son ortogonales, los productos internos de los vectores base son igual a cero:

$$\langle x_i, x_j \rangle, i \neq j.$$

Formar el producto interno de un vector base x_i con ambos lados de la Ecuación (1) produce:

$$\langle y, x_i \rangle = c_1 \langle x_1, x_i \rangle + c_2 \langle x_2, x_i \rangle + \dots + c_n \langle x_n, x_i \rangle = c_i \langle x_i, x_i \rangle,$$

ES 2 319 826 T3

con

$$c_i = \frac{\langle y, x_i \rangle}{\langle x_i, x_i \rangle}.$$

De esta manera, se puede expresar de manera conveniente un vector utilizando una base ortogonal porque las coordenadas c_i se pueden calcular fácilmente.

La relación entre la ortogonalidad y los productos internos se aplica a las funciones en general. El producto interno de dos funciones puede ser definido como una integral durante un intervalo:

$$\langle g_i(t), g_j(t) \rangle = \int_{t_1}^{t_2} g_i(t) g_j(t) dt.$$

Como con los vectores base, el producto interno de las dos funciones es cero si las funciones son ortogonales:

$$\langle g_i(t), g_j(t) \rangle = 0, i \neq j.$$

El intervalo (t_1, t_2) es un intervalo de ortogonalidad para las funciones $g_i(t)$ y $g_j(t)$. Se puede expresar una como una suma de las funciones ortogonales durante el intervalo de ortogonalidad (t_1, t_2) :

$$f(t) = c_1 g_1(t) + c_2 g_2(t) + \dots + c_n g_n(t).$$

De esta manera, se puede determinar una función representada como una suma de funciones ortogonales durante un intervalo de ortogonalidad utilizando "álgebra vectorial".

Para realizar con precisión álgebra vectorial utilizando valores medidos para la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes para cada fase de una línea de energía, estos componentes de medición vectorial son medidos preferiblemente para un intervalo de ortogonalidad de forma que la suma vectorial de estos componentes de medición vectorial es una representación precisa de los voltamperios-hora aparentes vectoriales, o sea, los productos internos del voltaje y de la corriente son cero. Para una línea de energía que tiene voltajes y corrientes que incluyen un componente sinusoidal de frecuencia fundamental y múltiples armónicos del mismo, un intervalo de ortogonalidad para todos los voltajes y las corrientes sinusoidales es un número entero de ciclos del componente de frecuencia fundamental.

Habiendo explicado por qué los componentes de medición vectorial están calculados preferiblemente durante un intervalo de ortogonalidad, se explicarán ahora las operaciones para la medición vectorial conforme a la presente invención. La Figura 3A es un diagrama de bloques que ilustra las operaciones básicas para la medición vectorial conforme a la presente invención. Las señales de voltaje de línea y de corriente de línea son detectadas en la línea de energía mediante el sensor 110 de voltaje y el sensor 120 de corriente. En el medio 320 de conversión, se convierten las señales detectadas 315 de voltaje de línea y de corriente de línea en una señal digital 325. Entonces se introducen la señal digital (325) en un medio (330) de computación vectorial, donde se computa una cantidad de medición vectorial a partir de la señal digital (325).

Como se muestra en la Figura 3B, en el medio (320) de conversión se produce una señal digital (325), preferiblemente en forma de una serie de muestras digitales (326) de voltaje de línea y de muestras digitales (327) de corriente de línea. Las señales detectadas (315) de voltajes y de corrientes son muestreadas en el medio (321) de toma de muestras a intervalos predeterminados de toma de muestras para producir una pluralidad de muestras (322) de voltaje de línea y de corriente de línea. Las muestras de voltaje y de corriente se convierten en series correspondientes de muestras digitales (326) de voltaje de línea y muestras digitales (327) de corriente de línea en el medio (323) de conversión de muestras. Los expertos en la técnica comprenderán que para computar de manera precisa las cantidades de mediciones vectoriales para una línea de energía a partir de una frecuencia fundamental de 60 Hz hasta el vigesimotercer armónico de la fundamental, o 1380 Hz, la tasa de toma de muestras debe ser mayor que 2760 muestras por segundo. Preferiblemente, las muestras digitales (326) de voltaje de línea y las muestras digitales (327) de corriente de línea representan muestras tomadas a una tasa de toma de muestras de 3900 muestras por segundo, o un intervalo de toma de muestras de aproximadamente 26 microsegundos.

ES 2 319 826 T3

Conforme a la presente invención, el medio (330) de computación vectorial de la Figura 1 y la operación (330) de cómputo vectorial de la Figura 3A pueden resolver las señales detectadas (315) de voltajes de línea y de corrientes de línea en cantidades trifásicas equivalentes. Como se ilustra en la Figura 7, las fases están definidas preferiblemente para la línea de energía en el Bloque (700) al tomar una muestra digital de voltaje de línea e_k y una muestra digital i_k correspondiente de corriente de línea en el Bloque (710), computando una muestra digital de voltaje de fase a neutro en el Bloque (720), y computando una muestra digital de corriente de fase en el Bloque (730).

Los cálculos de los Bloques (720) y (730) dependen de la topología del circuito de la línea de energía. Como se ilustra en la Figura 8, se proporcionan los medios (810) de identificación del circuito para identificar la topología de un circuito, con el medio (330) de computación vectorial realizando los cálculos correspondientes de las señales digitales de voltaje de fase a neutro y las señales digitales de corriente de fase basándose en la topología indicada del circuito. Los expertos en la técnica comprenderán que los medios (810) de identificación del circuito pueden incluir elementos de memoria, resistencias selectas, ajustes del interruptor DIP y similares. En la tabla de la Figura 9 se ilustran cálculos ejemplares para el medio 330 de computación vectorial de la Figura 3B para distintas topologías de circuitos. Para la tabla, V_a , V_b y V_c representan muestras digitales (326) de voltaje de línea, I_a , I_b e I_c representan muestras digitales (327) correspondientes de corriente de línea, mientras que V_{a0} , V_{b0} y V_{c0} representan las correspondientes muestras digitales computadas de voltaje de fase a neutro e I_{a0} , I_{b0} e I_{c0} representan los correspondientes muestras digitales computados de corriente de fase.

La Figura 4 ilustra el medidor vectorial de electricidad de las Figuras 1 y 3A, con el añadido del medio (420) de determinación de intervalos para determinar un intervalo de ortogonalidad para las señales de voltaje y de corriente en la línea de energía. Como se ha expuesto anteriormente, los cálculos de potencia vectorial se realizan durante un intervalo de ortogonalidad para las señales de voltaje y de corriente en la línea de energía. El medio (330) de computación vectorial puede computar una cantidad de medición vectorial para el intervalo de ortogonalidad determinado por el medio (420) de determinación de intervalos.

La Figura 5 ilustra las operaciones para determinar un intervalo de ortogonalidad a partir de las señales detectadas (315) de voltaje y de corriente para ser utilizado por el medio (330) de computación vectorial. Se produce una señal (535) de referencia de frecuencia fundamental que tiene una frecuencia aproximadamente equivalente a la frecuencia fundamental de las señales detectadas (315) de voltaje de línea y de corriente de línea. Para producir la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental, se produce una señal (715) de voltaje de fase a neutro que define una fase de la línea de energía a partir de las señales detectadas (315) de voltaje de línea en el medio (510) de producción. Se introduce la señal digital de voltaje de fase a neutro para cada fase en un filtro (520) de banda estrecha que tiene preferiblemente un pasabanda centrado aproximadamente en la frecuencia fundamental nominal de la línea de energía para producir una señal (525) de voltaje de frecuencia fundamental.

Las señales (525) de voltaje de frecuencia fundamental producidas están combinadas en el medio (530) de combinación lineal, que realiza una combinación ponderada de las señales. Preferiblemente, una primera señal de voltaje de frecuencia fundamental está acotada aproximadamente en un medio, una segunda señal de voltaje de frecuencia fundamental está acotada aproximadamente en un cuarto y una tercera señal de voltaje de frecuencia fundamental está acotada aproximadamente en un octavo, y se suman las señales acotadas para producir la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental. La señal resultante tiene aproximadamente la misma frecuencia fundamental que las señales (525) de voltaje de frecuencia fundamental, y permanece presente incluso si una de las señales de voltaje de frecuencia fundamental no está presente, como en los casos de, por ejemplo, mediciones de una línea de energía monofásica de tres cables o de una línea de energía trifásica a la que le falta un voltaje de línea.

Para una línea de energía caracterizada por una frecuencia fundamental y múltiples armónicos de la misma, un intervalo común de ortogonalidad para los voltajes y las corrientes en la línea de energía es un intervalo equivalente a un número entero de ciclos del componente de frecuencia más baja, o sea, un número entero de ciclos de la fundamental. De esta manera, se puede determinar un intervalo de ortogonalidad para la línea de energía mediante el medio (540) de detección, que detecta el paso de un número predeterminado de ciclos de la señal digital (535) de referencia de frecuencia fundamental. Preferiblemente, el número predeterminado de ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental utilizada para determinar el intervalo de ortogonalidad es tal que se proporciona un intervalo lo suficientemente largo para permitir que se completen los cálculos para cada intervalo antes de que comiencen los cálculos para el intervalo sucesivo sin hacer el intervalo demasiado largo como para provocar que las diversas acumulaciones realizadas en el medio (330) de computación vectorial se desborden. Normalmente, para una línea de energía nominal de 60 Hz, 60 ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental, o nominalmente un segundo, definen un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención. De manera similar, para una línea de energía nominal de 50 Hz, 50 ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental definen un intervalo. Sin embargo, los expertos en la técnica comprenderán que se pueden utilizar otros números enteros de ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental con la presente invención.

Los expertos en la técnica comprenderán que las funciones del medio (510) de producción, el medio (520) de filtrado de banda estrecha, el medio (530) de combinación lineal y el medio (540) de detección pueden estar integrados con el medio (330) de computación vectorial, por ejemplo, en el procesador digital (130) de señales de la Figura 1. Los expertos en la técnica también comprenderán que estos elementos también se pueden implementar de forma separada en circuitos analógicos, circuitos digitales y combinaciones de los mismos. Por ejemplo el medio (510) de producción, puede incluir una red de resistencias, el filtro (520) de banda estrecha puede incluir un filtro analógico pasabanda,

ES 2 319 826 T3

el medio (530) de combinación lineal puede incluir circuitos analógicos aritméticos y el medio (540) de detección puede incluir un detector analógico de cruce de curvas en punto cero y un contador asociado que proporciona una interrupción u otra señal al medio (330) de computación vectorial para indicar un intervalo de ortogonalidad.

5

Computando cantidades de mediciones vectoriales relacionadas con la potencia

Habiendo descrito un medidor vectorial de electricidad y las operaciones básicas del mismo, esta sección ilustra el cómputo de diversas cantidades de mediciones vectoriales relacionadas con la potencia en el medio 330 de computación vectorial de las Figuras 1 y 3A. Como un ejemplo del cómputo de una cantidad de medición vectorial relacionada con la potencia, la Figura 6 ilustra operaciones básicas para computar energía aparente vectorial para un intervalo de ortogonalidad a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes computados para cada fase de la potencia durante el intervalo. Las Figuras 10, 11, 13 y 14 ilustran las operaciones detalladas para computar energía por fase, energía reactiva por fase, voltamperios-hora aparentes por fase, y voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea de energía durante el intervalo, respectivamente. Las Figuras 12A-12B ilustran un filtro de potencia reactiva para computar la energía reactiva por fase conforme a la presente invención, y operaciones para implementar el filtro reactivo en el medio 330 de computación vectorial.

Haciendo referencia a la Figura 6, se computan la energía por fase, la energía reactiva por fase y los voltamperios-hora aparentes por fase para el intervalo de ortogonalidad en los Bloques (610), (620), (630), respectivamente. Los voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea de energía para el intervalo se computan en el Bloque (640) para la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora computados para las fases. Normalmente, los voltamperios-hora de distorsión se computan a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora computados por fase:

25

$$VAhDistorsión = \sqrt{(VAhAparente)^2 - (Energía)^2 - (Energía reactiva)^2}.$$

Se pueden computar la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora de distorsión para la línea de energía durante el intervalo al sumar la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora de distorsión por fase. Se pueden computar los voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea de energía durante el intervalo a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora de distorsión computados. Los expertos en la técnica comprenderán, sin embargo, que aunque estos cálculos se puedan realizar de manera individual, también pueden ser combinados en cálculos compuestos.

35

La Figura 10 ilustra operaciones para computar energía por fase para un intervalo de ortogonalidad conforme a la presente invención (Bloque 1000). En el Bloque (1020) se multiplica una muestra digital e_k de voltaje de fase a neutro obtenida en el Bloque (1010) por la muestra digital i_k correspondiente de corriente de fase. El producto de las muestras de voltaje y de corriente para cada tiempo de toma de muestras se acumula en el Bloque (1030). Después del final del intervalo de ortogonalidad en el Bloque (1040), el producto acumulado de las muestras de voltaje y de corriente se multiplica por el número N_s de muestras y el intervalo T_s de toma de muestras para computar la energía suministrada por la línea de energía durante el intervalo de ortogonalidad en el Bloque (1050).

La Figura 11 ilustra operaciones para computar voltamperios-hora aparentes por fase conforme a la presente invención (Bloque 1100). En el Bloque (1120) se eleva al cuadrado una muestra digital e_k de voltaje de fase a neutro obtenido en el Bloque (1110), y el producto resultante se suma en el Bloque (1140) a una suma de las muestras digitales elevadas al cuadrado de voltaje de fase a neutro anteriores. De manera similar, en el Bloque (1130) se eleva al cuadrado una muestra digital i_k de corriente de fase obtenida en el Bloque (1110) y el producto resultante se acumula en el Bloque (1150). Después del final de un intervalo en el Bloque (1160), las muestras digitales elevadas al cuadrado acumuladas de voltaje de fase a neutro y las muestras digitales elevadas al cuadrado acumuladas de corriente de fase para cada fase del intervalo son multiplicadas en el Bloque (1170) por el cuadrado del número N_s de muestras por el intervalo T_s de toma de muestras para producir una cantidad equivalente al cuadrado de los voltamperios-hora aparentes para la fase durante el intervalo de ortogonalidad. En el Bloque (1180) se computan los voltamperios-hora aparentes para la fase durante el intervalo al tomar la raíz cuadrada de este producto.

55

La Figura 12A ilustra un filtro (1210) de potencia reactiva para computar la potencia reactiva conforme a la presente invención. Los expertos en la técnica comprenderán que para medir de manera precisa la potencia reactiva de una fase para todos los armónicos significativos utilizando una forma desfasada de una señal de voltaje de fase para multiplicar una señal correspondiente de corriente de fase, la señal de voltaje de fase debe estar igualmente cambiada para todos esos armónicos. Normalmente, los medidores convencionales de voltamperios-hora reactivos no pueden conseguir tal cambio uniforme, cambiando de manera correcta, normalmente, solo la fundamental y ciertos otros componentes de frecuencia.

60

Se consigue un cambio uniforme de fase conforme a la presente invención para una banda de frecuencia deseada al introducir la señal (E) de voltaje de fase y la señal (I) de corriente de fase en un filtro (1210) de potencia reactiva. Preferiblemente, el primer filtro (H_1) de cambio de fase y el segundo filtro (H_3) de cambio de fase son filtros digitales recursivos que inducen un primer cambio (d_1) de fase. De modo similar, preferiblemente, de manera similar, el segundo

65

ES 2 319 826 T3

filtro (H_2) de cambio de fase y el cuarto filtro (H_4) de cambio de fase son filtros digitales recursivos que inducen un segundo cambio (d_2) de fase. Las salidas de cada uno de estos filtros se multiplican como se muestra y se suman para producir una señal (Q') de salida, que representa un producto de una función de la frecuencia y la potencia reactiva (Q):

$$\begin{aligned}
 &e(t) = E \angle \alpha; \\
 &i(t) = I \angle \beta; \\
 &H_1(f) = H_3(f) = G_1 \angle \delta_1; \\
 &H_2(f) = H_4(f) = G_2 \angle \delta_2; \\
 &A = G_1 G_2 [E I \cos(\beta - \alpha) \cos(\delta_2 - \delta_1) - E I \sin(\beta - \alpha) \sin(\delta_2 - \delta_1)]; \\
 &A = G_1 G_2 [P \cos(\delta_1 - \delta_2) - Q \sin(\delta_1 - \delta_2)]; \\
 &B = G_1 G_2 [E I \cos(\beta - \alpha) \cos(\delta_1 - \delta_2) - E I \sin(\beta - \alpha) \sin(\delta_1 - \delta_2)]; \\
 &B = G_1 G_2 [P \cos(\delta_1 - \delta_2) - Q \sin(\delta_1 - \delta_2)]; \\
 &y \\
 &Q' = GB - GA = 2G_1 G_2 \sin(\delta_1 - \delta_2) Q.
 \end{aligned}$$

Los expertos en la técnica comprenderán que si G_1 , G_2 y G son la unidad, el resultado se reduce a:

$$\begin{aligned}
 &Q' = 2 \sin(\delta_1 - \delta_2) \\
 &0 \\
 &Q' = g(f) Q.
 \end{aligned}$$

En la Figura 12B se muestran las características de transferencia para la función $(g(f)/2)$. Las funciones de transferencia de los filtros (H_1), (H_2), (H_3) y (H_4) de cambio de fase se escogen de forma que la diferencia de fase se aproxime mucho a 90 grados en una banda de frecuencias (Df), haciendo así el seno de la diferencia ($d_1 - d_2$) de fase aproximadamente la unidad y la salida del filtro (Q') una aproximación cercana de la potencia reactiva en el rango de frecuencia. Preferiblemente, (Df) abarca el rango de armónicos significativos de la frecuencia fundamental de las señales de voltaje de fase y de corriente de fase preferiblemente hasta e incluyendo el armónico vigesimotercero. La salida (Q') puede estar integrada para dar una medición precisa de la energía reactiva.

Los expertos en la técnica comprenderán que el filtro (1210) de potencia reactiva puede estar implementado utilizando circuitería analógica, circuitería digital especializada o mediante *software* corriendo en procesadores de uso general. La Figura 13 ilustra operaciones para implementar el filtro (1210) de potencia reactiva de la Figura 12A, que puede llevarse a cabo en el medio (330) de computación vectorial de la Figura 3A (Bloque 1300). Se aplica un primer filtro de cambio de fase a una muestra digital e_k de voltaje de fase a neutro obtenida en el Bloque (1305) para computar una primera muestra digital e_k' desfasada de voltaje de fase a neutro en el Bloque (1310). También se aplica un segundo filtro de cambio de fase a la muestra digital e_k de voltaje de fase a neutro para computar una segunda muestra digital e_k'' de voltaje de fase a neutro desfasado en el Bloque (1315). De manera similar, se aplica un tercer filtro de cambio de fase que tiene la misma función de transferencia que el primer filtro de cambio de fase a una muestra digital i_k correspondiente de corriente de fase obtenida en el Bloque (1305) para computar una primera muestra digital i_k' desfasada de corriente de fase en el Bloque (1320). También se aplica un cuarto filtro de cambio de fase que tiene la misma función de transferencia que el segundo filtro de cambio de fase a la muestra digital i_k de corriente de fase para computar una segunda muestra digital i_k'' desfasada de corriente de fase en el Bloque (1325).

Se multiplica la segunda muestra digital desfasada de voltaje de fase a neutro por la primera muestra desfasada de corriente de fase para computar una primera muestra q_k' de potencia intermedia en el Bloque (1330), y se multiplica la primera muestra digital desfasada de voltaje de fase a neutro por la segunda muestra desfasada de corriente de fase para computar una segunda muestra q_k'' de potencia intermedia en el Bloque (1335). Se resta la segunda muestra de potencia intermedia de la primera muestra de potencia intermedia para computar una muestra q_k de potencia reactiva en el Bloque (1340). Las muestras de potencia reactiva se acumulan en el Bloque (1345). Al final del intervalo en el Bloque (1350), las muestras acumuladas de potencia reactiva se multiplican en el Bloque (1355) por el número N_s de muestras y el intervalo T_s de toma de muestras para computar la energía reactiva para la fase durante el intervalo.

La Figura 14 ilustra operaciones detalladas para computar voltamperios-hora aparentes vectoriales a partir de energía, energía reactiva y voltamperios-hora aparentes computados para las fases de la línea de energía (Bloque 1400). Al final de un intervalo de ortogonalidad en el Bloque (1410), se restan como vectores la energía y la energía reactiva acumuladas para cada fase definida de la línea de energía en el Bloque (1420) de los voltamperios-hora aparentes para

la fase para el intervalo con el fin de computar los voltamperios-hora de distorsión para la fase para el intervalo. La energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora de distorsión se computan para la línea de energía sumando en los Bloques (1430), (1440) y (1450), respectivamente, los valores computados para estas cantidades para todas las fases de la línea de energía. Los voltamperios-hora aparentes vectoriales se computan en el Bloque (1460) como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora de distorsión.

Conforme a la presente invención, las cantidades de medición vectorial computadas utilizando el medio (330) de computación vectorial de la Figura 3A pueden incluir energía, energía reactiva, potencia de distorsión, y cantidades de medición correspondientes por fase. Como comprenderán los expertos en la técnica, también se pueden computar diversos factores de potencia como un factor de potencia, un factor de potencia de distorsión y similares a partir de relaciones de las distintas cantidades de medición.

El medio (330) de computación vectorial también puede computar cantidades de potencia relacionadas. Preferiblemente, el medio (330) de computación vectorial almacena el número de muestras tomadas durante un intervalo de ortogonalidad, proporcionando de esta manera una medida de la longitud del intervalo. Se puede computar la potencia aparente vectorial a partir de los voltamperios-hora aparentes vectoriales computados para el intervalo de ortogonalidad al dividir los voltamperios-hora aparentes vectoriales computados por la longitud del intervalo. De manera similar, se puede computar la potencia activa a partir de la energía computada para el intervalo al dividir la energía computada por la longitud del intervalo y se puede computar la potencia reactiva a partir de la energía reactiva computada al dividir la energía reactiva computada por la longitud del intervalo.

Los expertos en la técnica comprenderán que la computación de las cantidades de medición vectorial en el medio (330) de computación vectorial no está limitada a los pasos de computación de las realizaciones ilustradas. Por ejemplo, conforme a la presente invención, la potencia aparente vectorial puede estar computada sin computar antes los voltamperios-hora aparentes vectoriales al computar antes la potencia activa, reactiva y de distorsión para el intervalo de ortogonalidad a partir de la energía, la energía reactiva y los voltamperios-hora aparentes para las fases de la línea de energía, y luego sumando vectorialmente estos componentes. También se pueden computar los voltamperios-hora aparentes vectoriales a partir de la potencia aparente vectorial para el intervalo ortogonal al multiplicar la potencia aparente vectorial computada para el intervalo por el número de muestras en el intervalo.

Las compañías eléctricas facturan a menudo a sus clientes basándose en la energía más una cantidad adicional, tal como la energía reactiva o los voltamperios-hora fasores. Normalmente, también se aplica una “retención” a la medición de estas cantidades, por ejemplo, la compañía eléctrica puede escoger facturar únicamente por la energía suministrada, por tanto la energía suministrada como la recibida, la energía reactiva retrasada, y similares. El medio (330) de computación vectorial puede computar una cantidad identificada de medición vectorial que ha de ser medida. La cantidad identificada de medición le puede ser identificada al medio (330) de computación vectorial, por ejemplo mediante un técnico medidor a través de la interfaz (170) de comunicaciones ilustrada en la Figura 1. Los expertos en la técnica comprenderán que la cantidad identificada puede incluir una retención asociada, tal como únicamente energía reactiva adelantada, energía recibida y suministrada, y similares.

Computando otras cantidades de medición vectorial

El medio (330) de computación vectorial ilustrado en la Figura 3A también puede computar otras cantidades de medición vectorial útiles para la seguridad y el mantenimiento de la red de distribución de energía, la instalación de medidores y similares, tal como un ángulo de fase, un voltaje efectivo de línea, un voltaje operativo nominal previsto, una situación de voltaje de línea, una magnitud de corriente neutral, y una situación de corriente neutral. Las Figuras 15A-15B ilustran operaciones para computar un ángulo de fase de un voltaje detectado (315) de línea con respecto a la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental de la Figura 5. Las Figuras 16A-B ilustran las operaciones para computar un voltaje efectivo de línea y un voltaje operativo nominal previsto. La Figura 17 ilustra las operaciones para utilizar el voltaje efectivo de línea computado para computar una situación de voltaje de línea. Finalmente, la Figura 18 ilustra las operaciones para computar una magnitud de corriente neutral y una situación de corriente neutral.

En las Figuras 15A-15B se ilustran las operaciones para determinar un ángulo de fase de una señal detectada (315) de voltaje de línea con respecto a la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental (véase la Figura 5). Las muestras digitales de voltaje de línea obtenidas en el Bloque (1510) están filtradas por banda estrecha en el Bloque (1520) para computar una serie de muestras digitales de voltaje de línea de frecuencia fundamental que representan una señal componente de frecuencia fundamental de la señal detectada de voltaje de línea. Se selecciona un conjunto de muestras digitales migratorias diezmadas de voltaje de línea en el Bloque (1530), cada una de una sucesión de ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental.

En particular, como se ilustra en la Figura 15B, cada muestra migratoria diezmada está seleccionada de forma que proviene de un tiempo de toma de muestras retrasado un intervalo predeterminado N_1 de decimación de la anterior muestra diezmada con respecto a la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental. Preferiblemente, la primera muestra diezmada e_{d1} es la primera muestra después del inicio del intervalo de ortogonalidad, ilustrado en la Figura 18B como que sigue un primer cruce de curvas en el punto cero de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental. La siguiente muestra diezmada e_{d2} está seleccionada de entre las muestras tomadas durante el siguiente ciclo de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental, retrasada el intervalo N_1 de decimación desde el punto en la forma de onda de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental donde se seleccionó la anterior muestra e_{d1} .

ES 2 319 826 T3

Preferiblemente, el intervalo N_1 de decimación es tal que el conjunto de muestras diezmadas seleccionadas durante un intervalo de ortogonalidad representa aproximadamente un periodo de la señal componente de frecuencia fundamental de la señal detectada (315) de voltaje de línea. Para una línea de energía de 60 Hz muestreada a 3900 muestras por segundo, por ejemplo, se toman aproximadamente 65 muestras en un ciclo. Si se seleccionan las muestras migratorias diezmadas de ciclos sucesivos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental, de forma que cada una está retrasada un intervalo N_1 de decimación de 13 muestras de la muestra que la precede con respecto a la señal de referencia de frecuencia fundamental, se puede seleccionar un conjunto de 5 muestras diezmadas durante un intervalo de 60 ciclos de la señal (535) de referencia de frecuencia fundamental, aproximándose de esta manera a un periodo de la señal componente de frecuencia fundamental del voltaje detectado (315) de línea. Para una red de distribución de 50 Hz a la misma tasa de toma de muestras e intervalo N_1 de decimación, la forma de onda puede estar representada mediante 6 muestras.

Se puede computar el ángulo de fase del componente fundamental del voltaje de línea después de un intervalo de ortogonalidad en el Bloque (1540) utilizando un análisis de Fourier en el Bloque (1550). Los expertos en la técnica comprenderán que

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{E_C}{E_S} \right)$$

donde

$$E_C = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e^{jk} \cos \frac{2\pi k N_C N_1 N_S}{F_S^2}$$

$k = 0$ y

$$E_S = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e^{jk} \sin \frac{2\pi k N_C N_1 N_S}{F_S^2}$$

$k = 0$ son los términos de coseno y de seno, respectivamente de la representación de la serie de Fourier de la señal componente de frecuencia fundamental de la señal detectada (315) de voltaje de línea, basada en M muestras migratorias diezmadas. Para estas ecuaciones, (N_s) es el número de muestras tomadas durante un intervalo de ortogonalidad, (N_c) es la frecuencia fundamental de la línea de energía (50 o 60 Hz), (N_1) es el intervalo de decimación, y (f_s) es la frecuencia de toma de muestras.

El medio (330) de computación vectorial de las Figuras 1 y 3A también puede computar un voltaje efectivo de línea y un voltaje operativo nominal previsto para la línea de energía a partir de una señal detectada (315) de voltaje de línea, y monitorizar las señales detectadas (315) de voltaje de línea basándose en el voltaje operativo nominal previsto computado. En la Figura 16A se ilustran las operaciones para computar un voltaje operativo nominal previsto (Bloque 1600). El voltaje efectivo de una señal detectada 315 de voltaje de línea está computado en el Bloque (1610) para un intervalo de ortogonalidad, preferiblemente poco después de la inicialización del medio (330) de computación vectorial o durante la misma. También se puede computar un ángulo de fase para el voltaje de línea en el Bloque (1500), también preferiblemente durante una inicialización o poco después. El voltaje operativo nominal previsto se selecciona en el Bloque (1620) de entre voltajes (1630) operativos nominal predeterminados en base al voltaje efectivo computado y al ángulo de fase computado. Preferiblemente, el voltaje operativo nominal previsto seleccionado es el voltaje (1630) operativo nominal predeterminado más cercano al voltaje efectivo computado. Preferiblemente, los voltajes (1630) operativos nominales predeterminados incluyen voltajes estándar de línea tal como (120) voltios, 240 voltios, 277 voltios y similares.

También se puede computar el voltaje operativo nominal previsto en base al ángulo de fase computado. Por ejemplo, el voltaje efectivo computado puede caer aproximadamente por igual entre dos voltajes operativos nominales predeterminados, tal como 240 voltios y 277 voltios, que se corresponden normalmente con un servicio monofásico de tres cables y un servicio trifásico en estrella de cuatro cables, respectivamente. Como comprenderán los expertos en la técnica estas dos topologías de circuito pueden estar diferenciadas mediante los distintos ángulos de fase entre los voltajes de línea, o sea, los voltajes de línea en el servicio de 277 voltios estarán separados normalmente mediante un ángulo nominal de fase de 120 grados mientras que los voltajes de línea del servicio de 240 voltios estarán separados normalmente mediante unos 60 grados nominales. El medio (330) de computación vectorial puede computar el voltaje operativo nominal previsto mediante la selección de un voltaje operativo nominal predeterminado que tiene una característica del ángulo de fase más cercano al ángulo de fase computado.

ES 2 319 826 T3

La Figura 16B ilustra operaciones detalladas para computar un voltaje efectivo de línea (Bloque 1610). Las muestras de voltaje de línea obtenidos en el Bloque (1611) están filtradas por banda estrecha en el Bloque (1612), las muestras filtradas elevadas al cuadrado en el Bloque 1613, y las muestras elevadas al cuadrado acumuladas en el Bloque 1614. Después del final del intervalo en el Bloque 1615, se computa el voltaje efectivo durante el intervalo al tomar la raíz cuadrada de las muestras digitales acumuladas de voltaje elevado al cuadrado de línea divididas por el número N_s de muestras por el intervalo T_s de toma de muestras en el Bloque (1616).

Haciendo referencia ahora a la Figura 17, se puede utilizar el voltaje nominal previsto de línea computado para computar una situación de voltaje de línea (Bloque 1700). En el Bloque (1710) se computa un voltaje efectivo de línea. La situación computada de voltaje de línea se compara con un voltaje operativo nominal previsto, en base a una tolerancia predeterminada (1740), para computar una situación de voltaje de línea en el Bloque (1720). Los expertos en la técnica comprenderán que aunque la situación computada se relaciona preferiblemente con una condición de sobrevoltaje o de subvoltaje en la línea de energía, se pueden computar otras situaciones de voltaje de línea, tal como la desviación estadística del voltaje efectivo computado con respecto al voltaje operativo nominal previsto y similares. También se comprenderá que la situación computada puede ser comunicada desde el medio 330 de computación vectorial a un usuario, un sistema de control del dispositivo de distribución, y similares, para su mantenimiento, corte de corriente y otros fines, por ejemplo, a través de la interfaz (170) de comunicaciones o de la pantalla (160) de la Figura 1. También se comprenderá que el voltaje efectivo de línea y la situación de voltaje de línea se pueden computar en cada intervalo de ortogonalidad o a otros intervalos predeterminados.

Haciendo referencia ahora a la Figura 18, el medio (330) de computación vectorial también puede computar y monitorizar una magnitud de corriente neutral de las muestras digitales de corriente de fase computadas (Bloque 1800). Las muestras digitales de corriente de fase obtenidas para cada fase en el Bloque (1810) se suman en el Bloque (1820) y se eleva al cuadrado la suma en el Bloque (1830). La magnitud de corriente neutral está computada al tomar la raíz cuadrada de la suma elevada al cuadrado en el Bloque (1830). Se puede computar una situación de corriente neutral en el Bloque (1840) al comparar la magnitud de corriente neutral computada con un umbral predeterminado (1842). Los expertos en la técnica comprenderán que la situación computada se puede comunicar a un usuario, un sistema de control de dispositivo de distribución y similares, para su mantenimiento, corte de corriente y otros fines. También se comprenderá que la magnitud y la situación de corriente neutral se pueden computar en cada tiempo de muestra, en cada intervalo de ortogonalidad, o en otros intervalos predeterminados.

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 319 826 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Un procedimiento para medir la electricidad en una línea (210) de energía que tiene al menos dos vías (220A-C) de conducción, que comprende los siguientes pasos, que son llevados a cabo en un medidor de electricidad para más de una fase;

detectar una señal (315) de voltaje de línea y una señal de corriente de línea en la línea de energía;

10 determinar un intervalo de ortogonalidad para las señales detectadas de voltaje de línea y de corriente de línea, al detectar el paso de un número entero predeterminado de ciclos de una señal de referencia de frecuencia fundamental que se aproxima a la frecuencia de un componente fundamental de los voltajes y las corrientes en la línea (210) de energía;

15 convertir las señales detectadas (315) de voltaje de línea y de corriente de línea en una señal digital (325); y

computar una cantidad de medición vectorial para la línea de energía para el intervalo determinado de ortogonalidad a partir de la señal digital.

20 2. Un procedimiento conforme a la reivindicación 1 en el que dicho paso de computar una cantidad de medición vectorial está precedido por el paso de:

25 introducir, a partir de la señal digital (325), una señal digital correspondiente de voltaje de fase a neutro y una señal digital de corriente de fase, para definir de ese modo una fase de la línea (210) de energía con respecto a un neutro real o derivado para la línea de energía que depende de la topología del circuito de la línea de energía, y para cada fase.

30 3. Un procedimiento conforme a la reivindicación 2 en el que dicho paso de computar una cantidad de medición vectorial para la línea (210) de energía para el intervalo de ortogonalidad comprende el paso de

35 computar voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad a partir de la señal digital de fase a neutro y de la señal digital de corriente de fase.

40 4. Un procedimiento conforme a la reivindicación 3 en el que dicho paso para computar los voltamperios-hora aparentes vectoriales para la línea (210) de energía para el intervalo de ortogonalidad comprende el paso de:

45 computar a partir de la señal digital de voltaje de fase a neutro y de la señal digital de corriente de fase, la energía real, reactiva y de distorsión transferida por cada fase definida de la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad;

computar a partir de la señal digital de voltaje de fase a neutro y de la señal digital de corriente de fase, la energía reactiva para cada fase definida de la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad;

50 computar a partir de la señal digital de voltaje de fase a neutro y de la señal digital de corriente de fase, los voltamperios-hora aparentes para cada fase definida de la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad; y

55 computar los voltamperios-hora vectoriales para la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad a partir de la suma vectorial computada de las energías real, reactiva y de distorsión para todas las fases de la línea de energía para el intervalo de ortogonalidad.

60

65

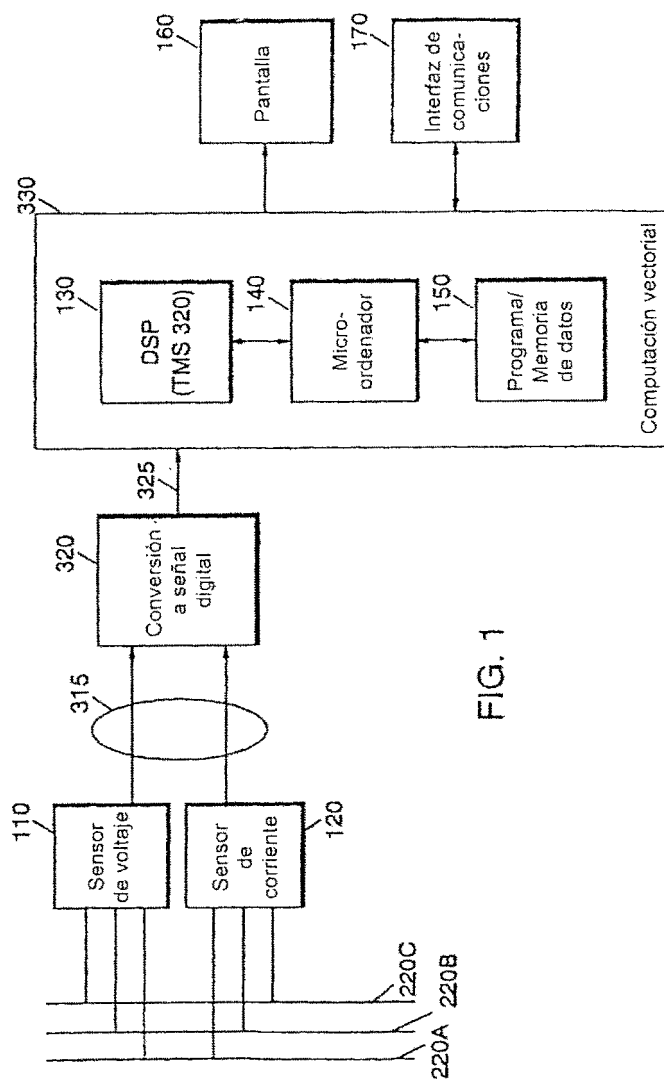


FIG. 1

FIG. 2

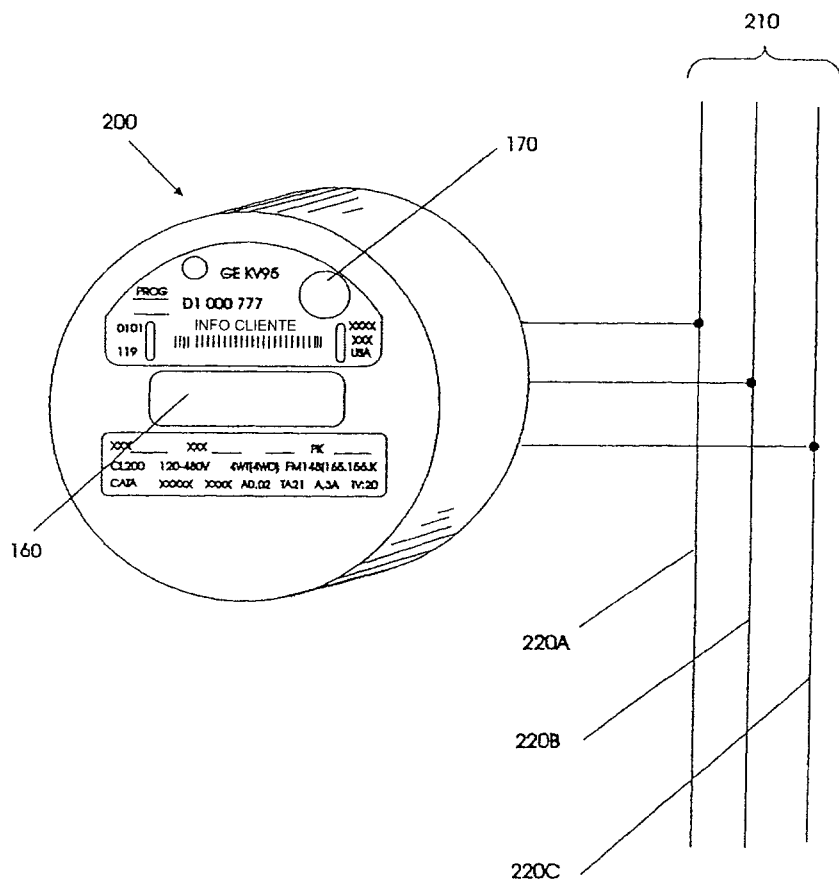


FIG. 3A

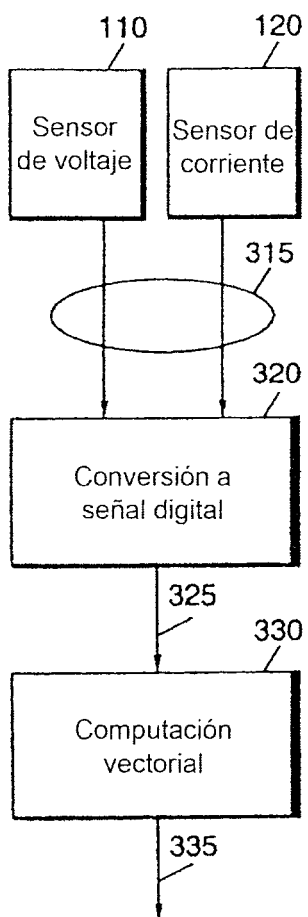


FIG. 3B

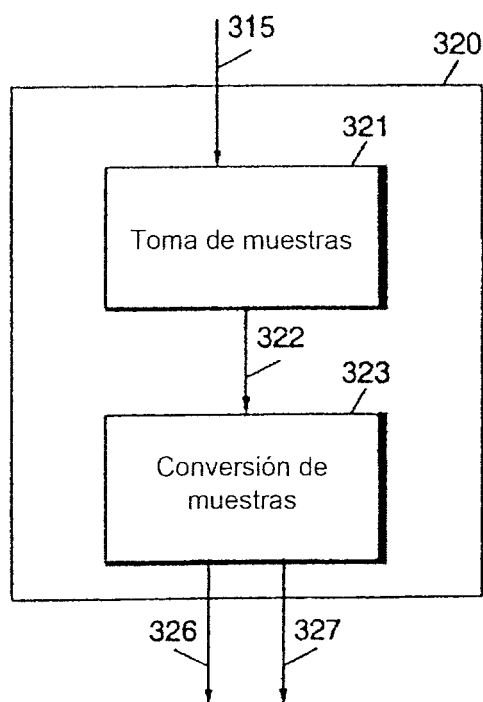


FIG. 4

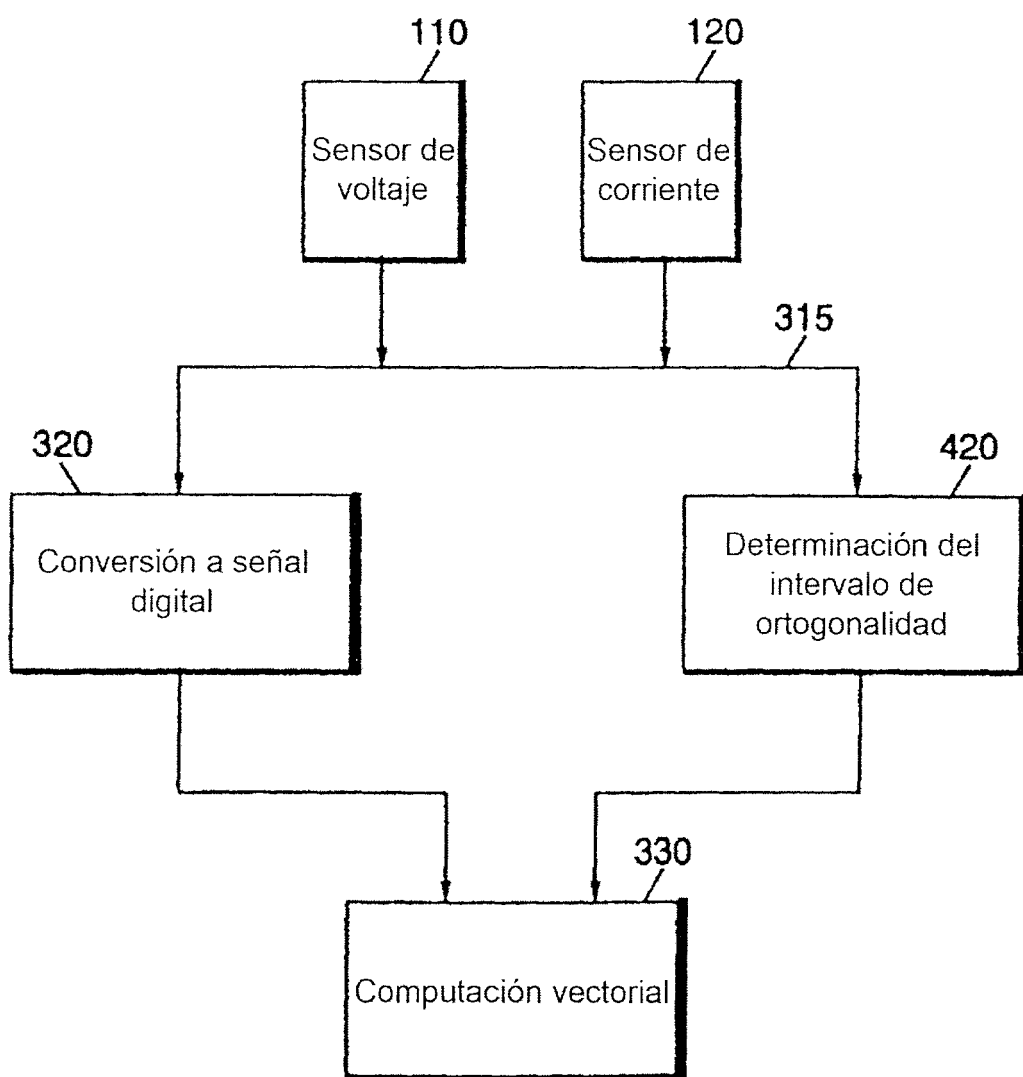


FIG. 5

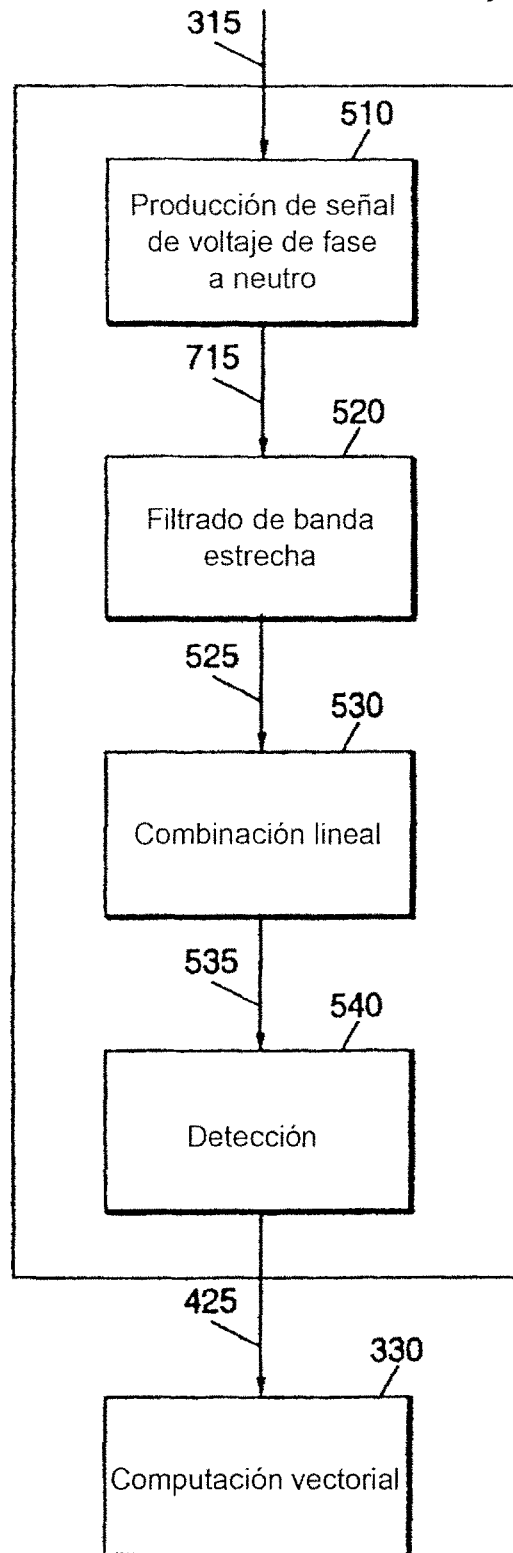


FIG. 6

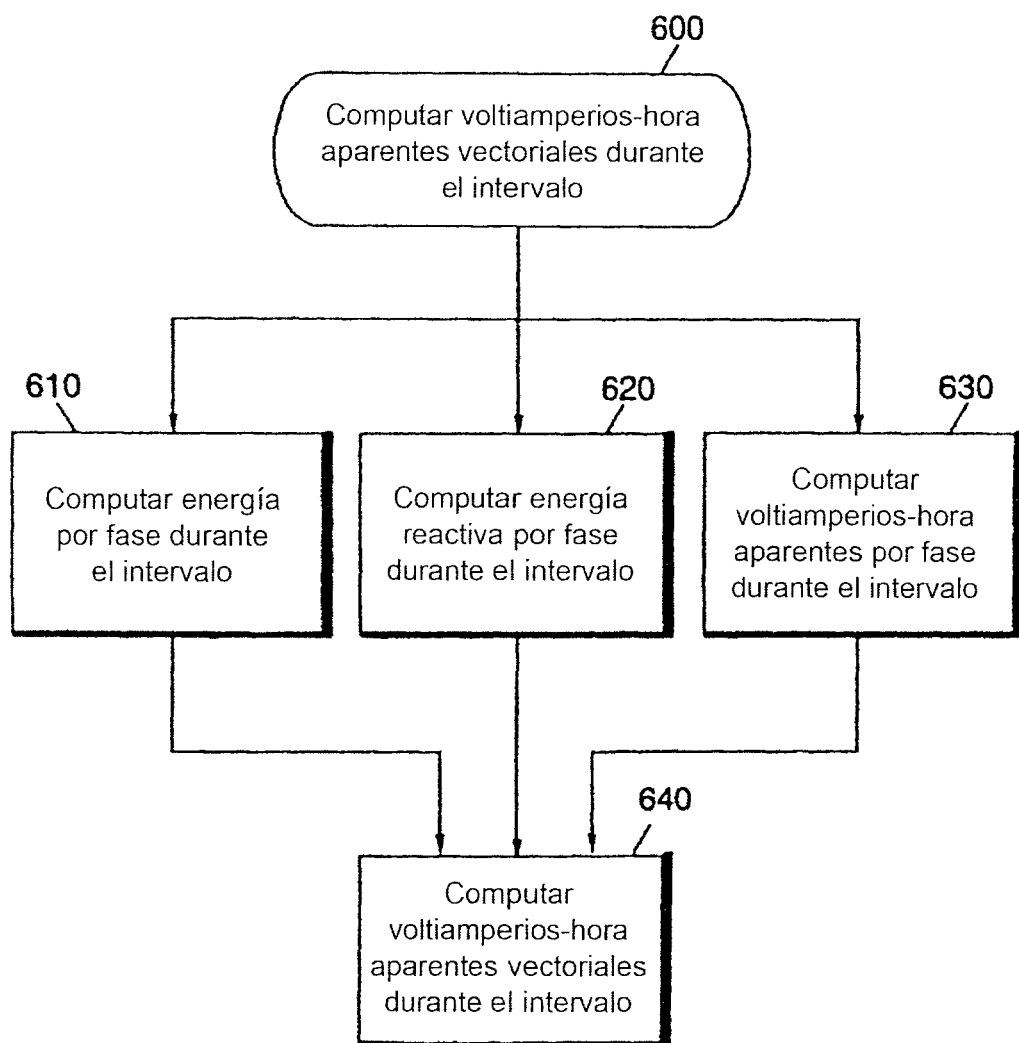


FIG. 7

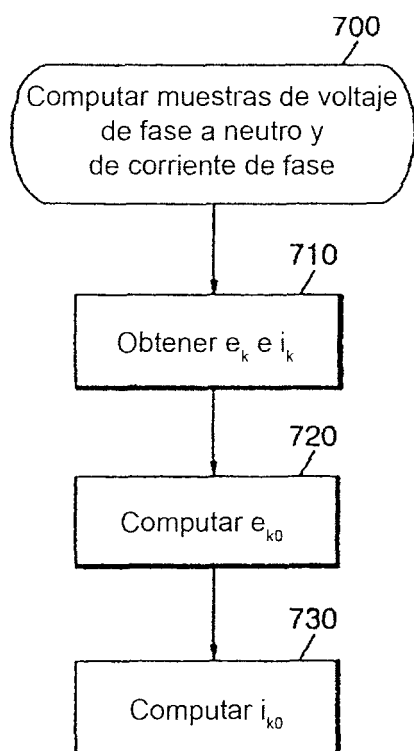
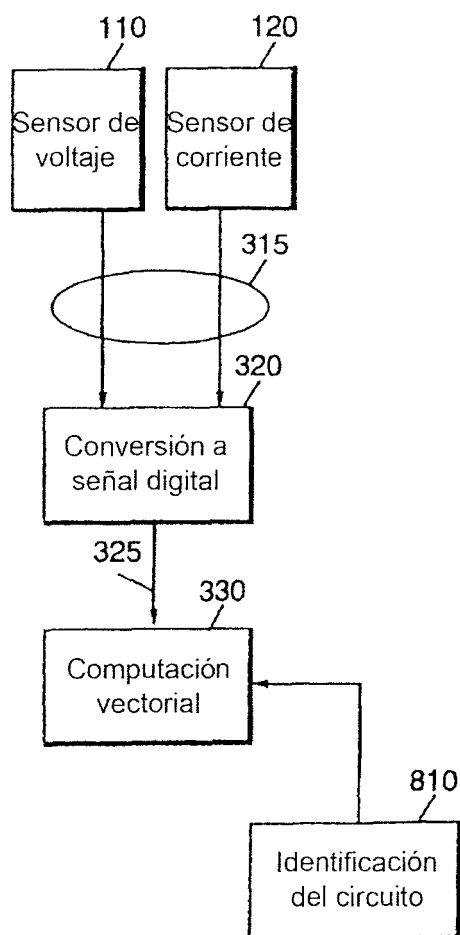


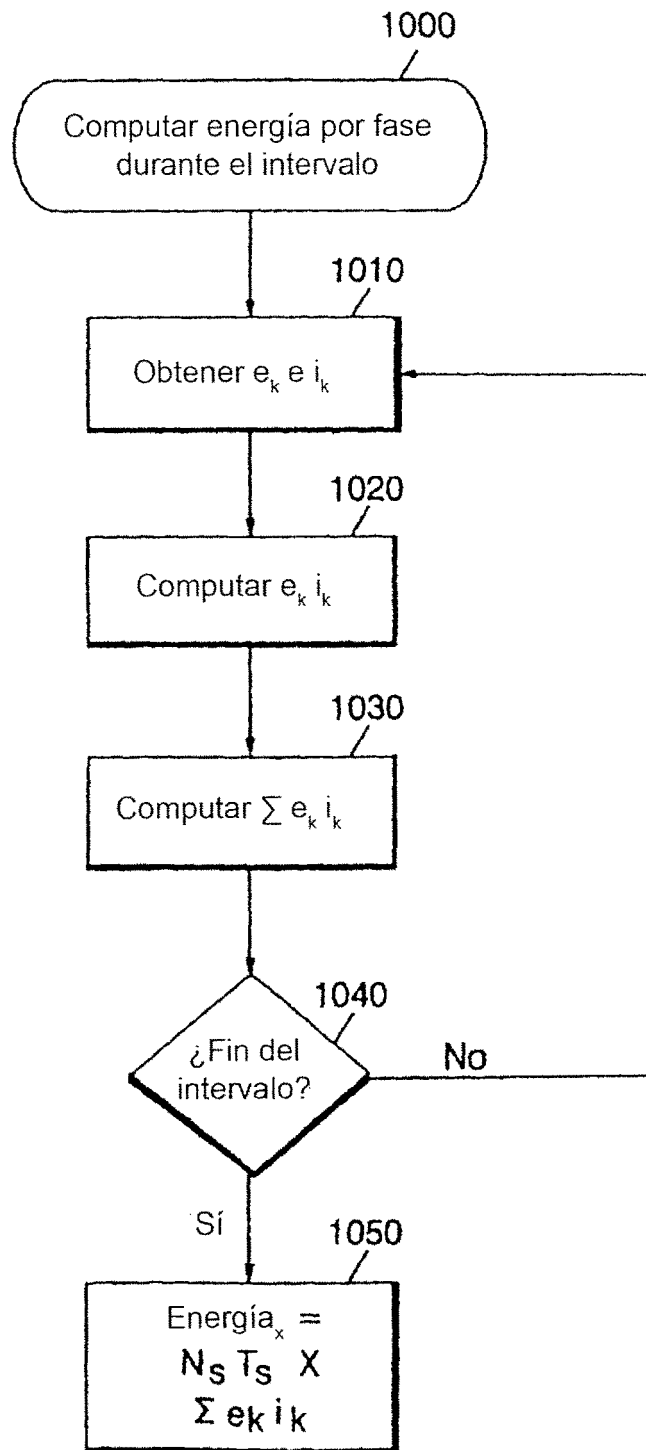
FIG. 8



Topología del circuito	Señales detectadas	Procesamiento
medidor de 3 hilos, 2 elementos servicio trifásico de 3 hilos en triángulo	$V_a' I_a' V_c' I_c$	$V_{b0} \leftarrow 1/3(V_a + V_c)$ $V_{a0} \leftarrow V_{b0} + V_a$ $V_{c0} \leftarrow V_{b0} + V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow -(I_a + I_c)$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
medidor de 3 hilos, 1 elemento servicio monofásico de 3 hilos	$V_a' I_a' I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a/2$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_{a0}$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
medidor de 4 hilos, 2 ½ elementos servicio trifásico de 4 hilos en estrella	$V_a' I_a' I_b' V_c' I_c$ (V_{b0} ausente)	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow -(V_a + V_c)$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow I_b$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
medidor de 3 hilos, 2 elementos servicio trifásico de 4 hilos en triángulo servicio monofásico de 3 hilos servicio trifásico de 4 hilos en estrella	$V_a' I_a' V_b' V_c' I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a - V_b$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
medidor de 3 hilos, 2 elementos servicio de red, servicio monofásico de 3 hilos	$V_a' I_a' V_c' I_c$	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow V_c$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow I_c$
medidor de 2 hilos, 1 elemento servicio monofásico de 2 hilos	$V_a' I_a$	$V_{a0} \leftarrow V_a$ $V_{b0} \leftarrow 0$ $V_{c0} \leftarrow 0$ $I_{a0} \leftarrow I_a$ $I_{b0} \leftarrow 0$ $I_{c0} \leftarrow 0$

FIG.
9

FIG. 10



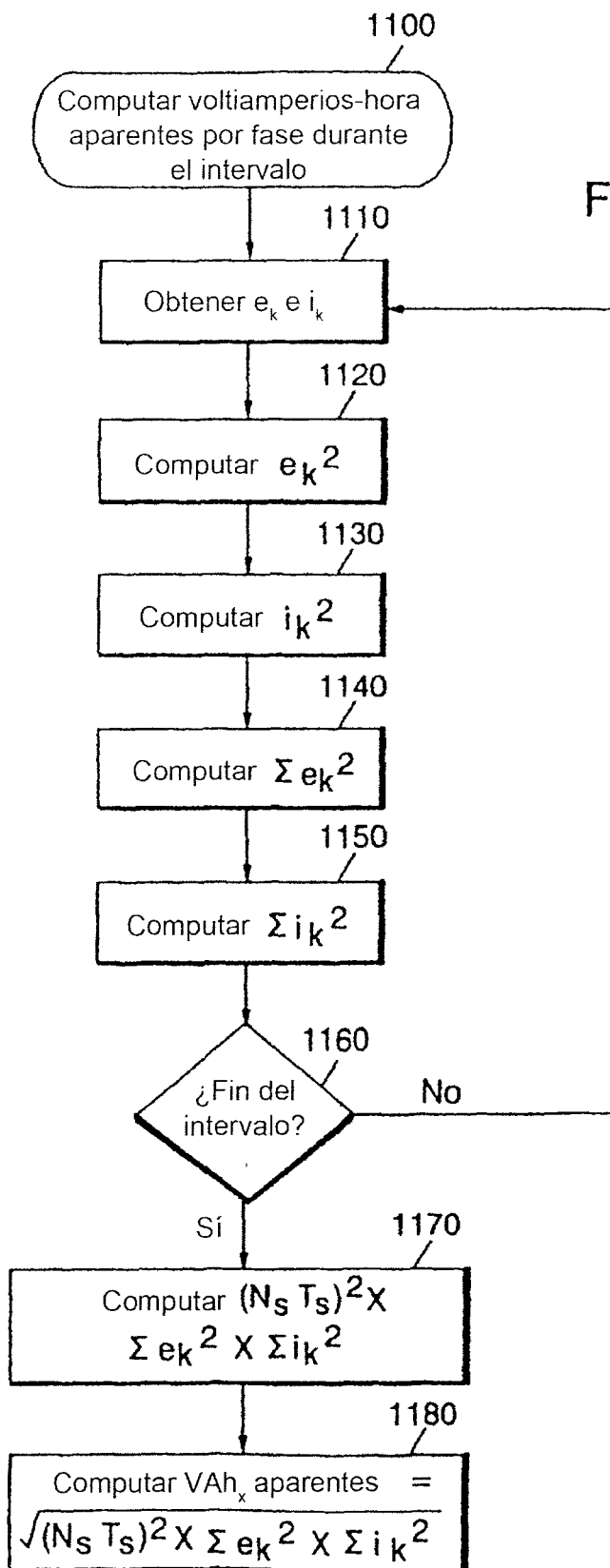


FIG. 11

FIG. 12A

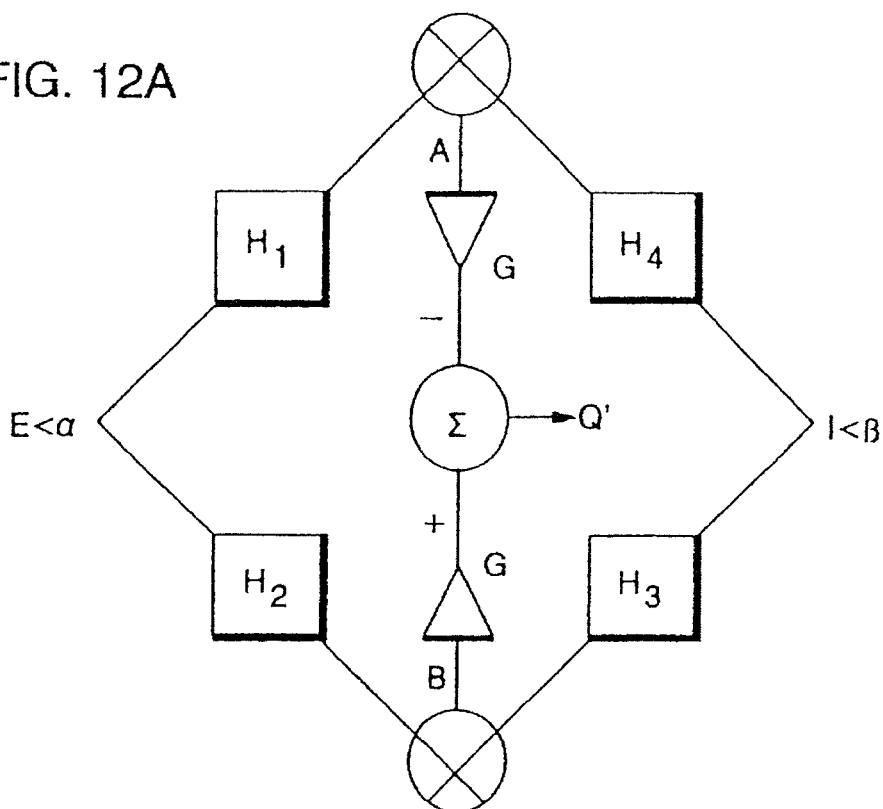
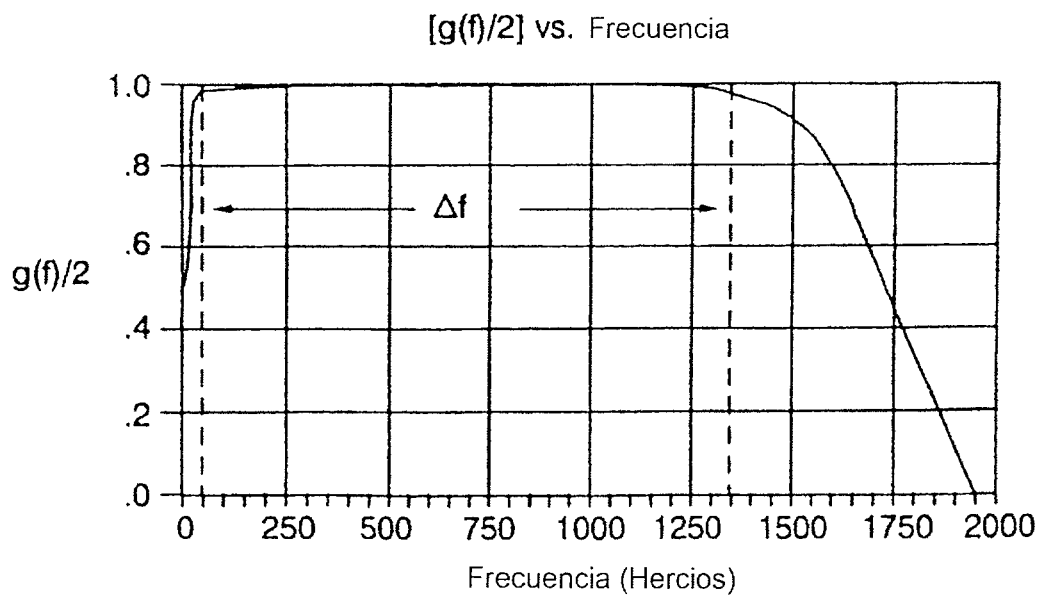


FIG. 12B



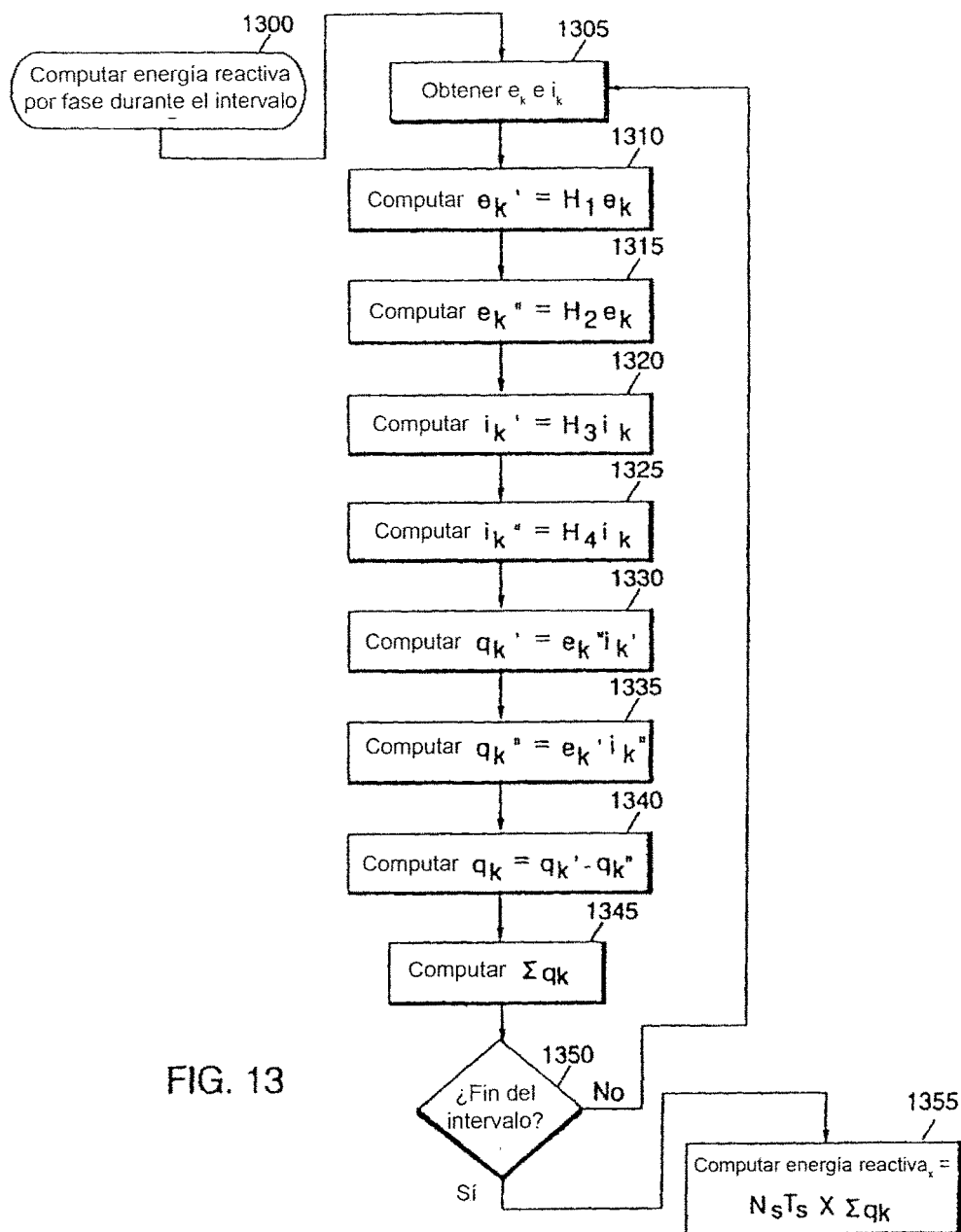


FIG. 13

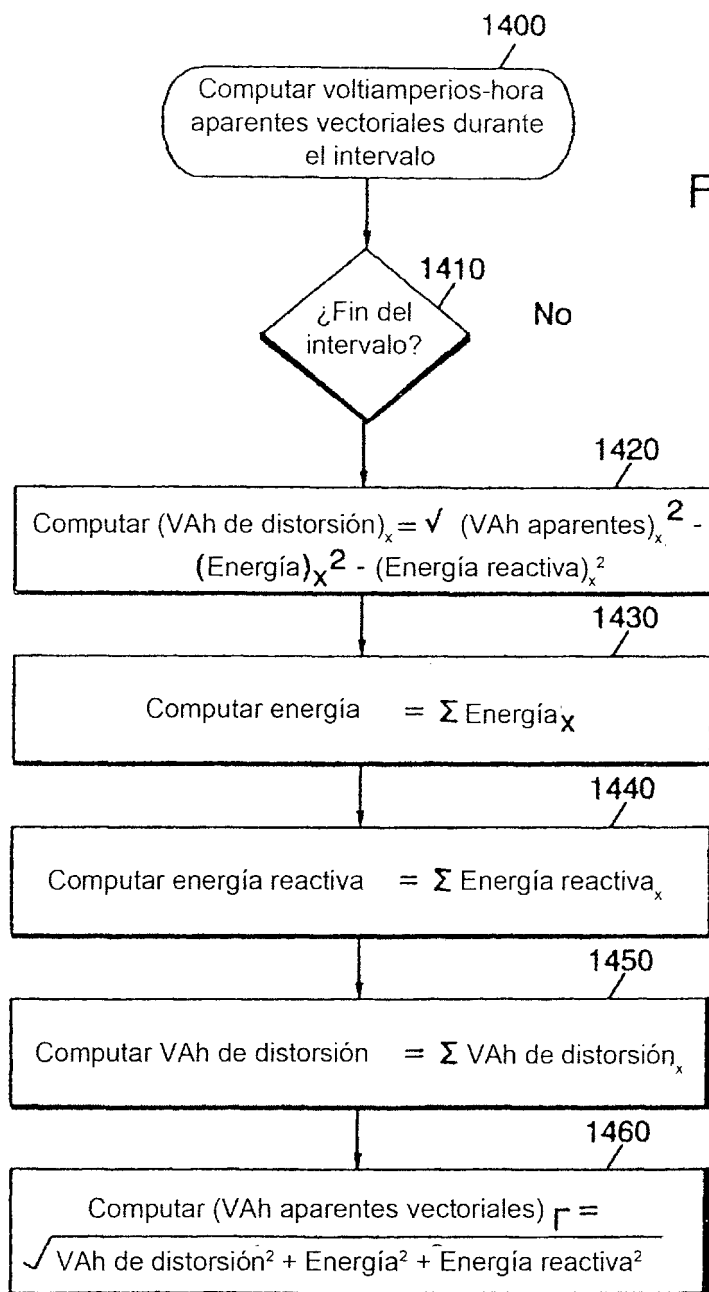


FIG. 14

FIG. 15A

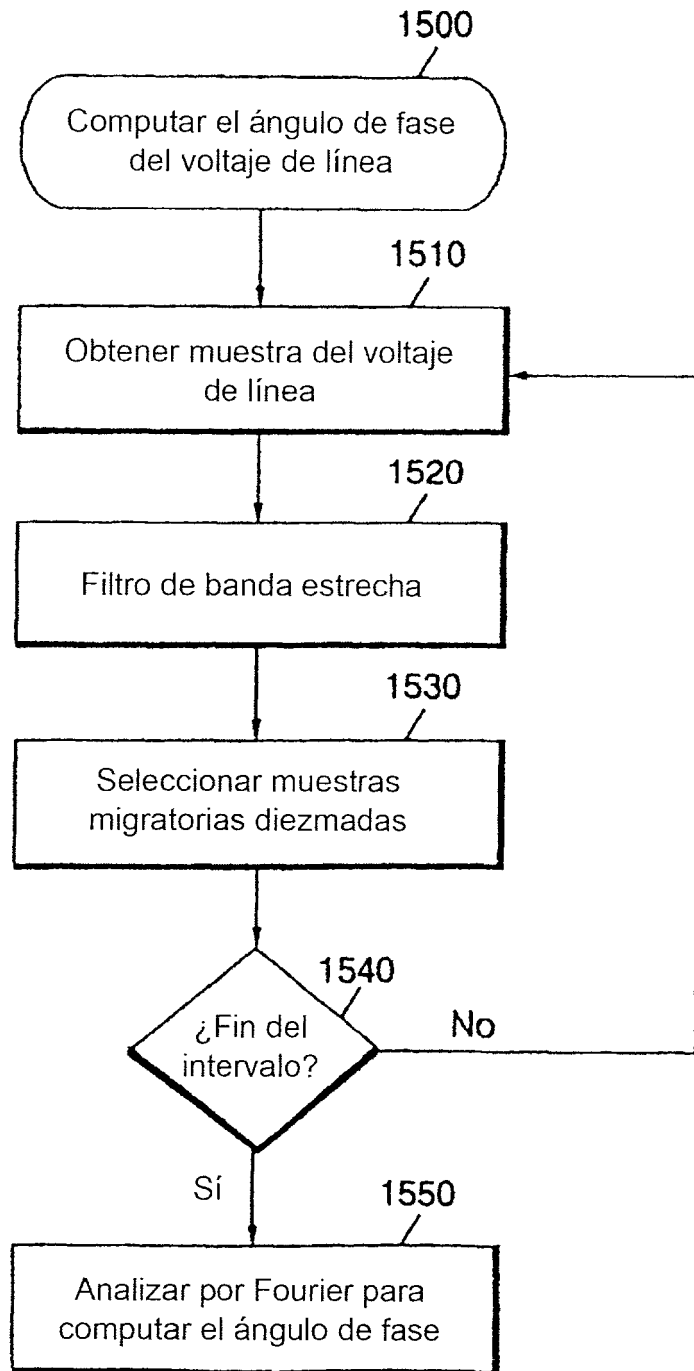


FIG. 16A

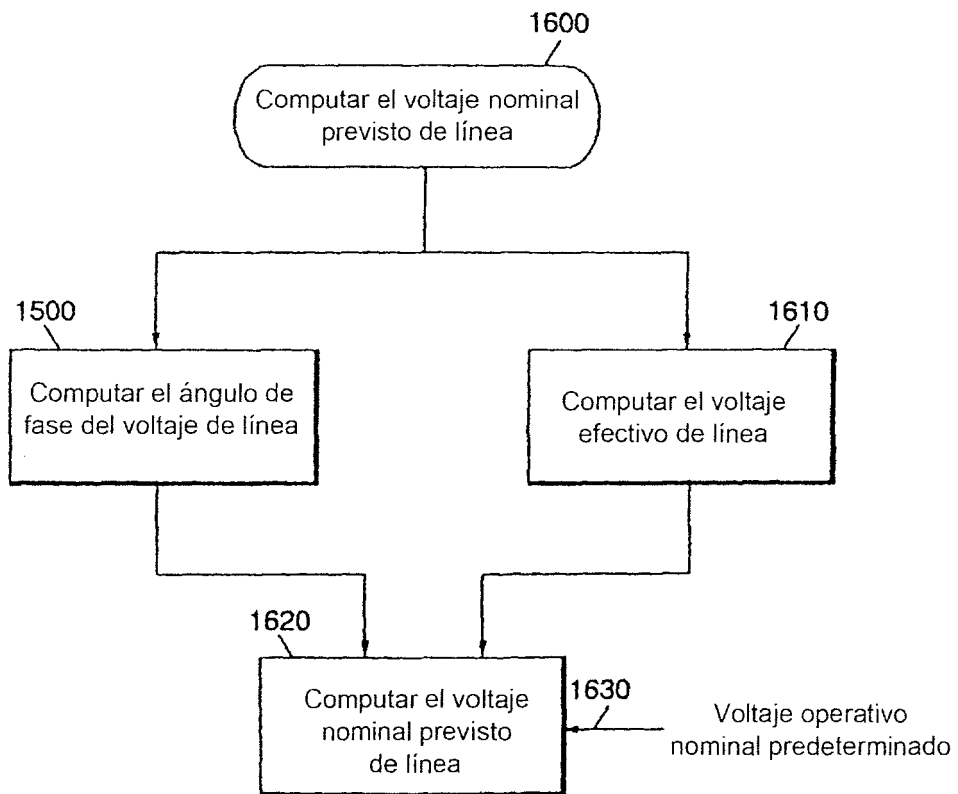


FIG. 16B

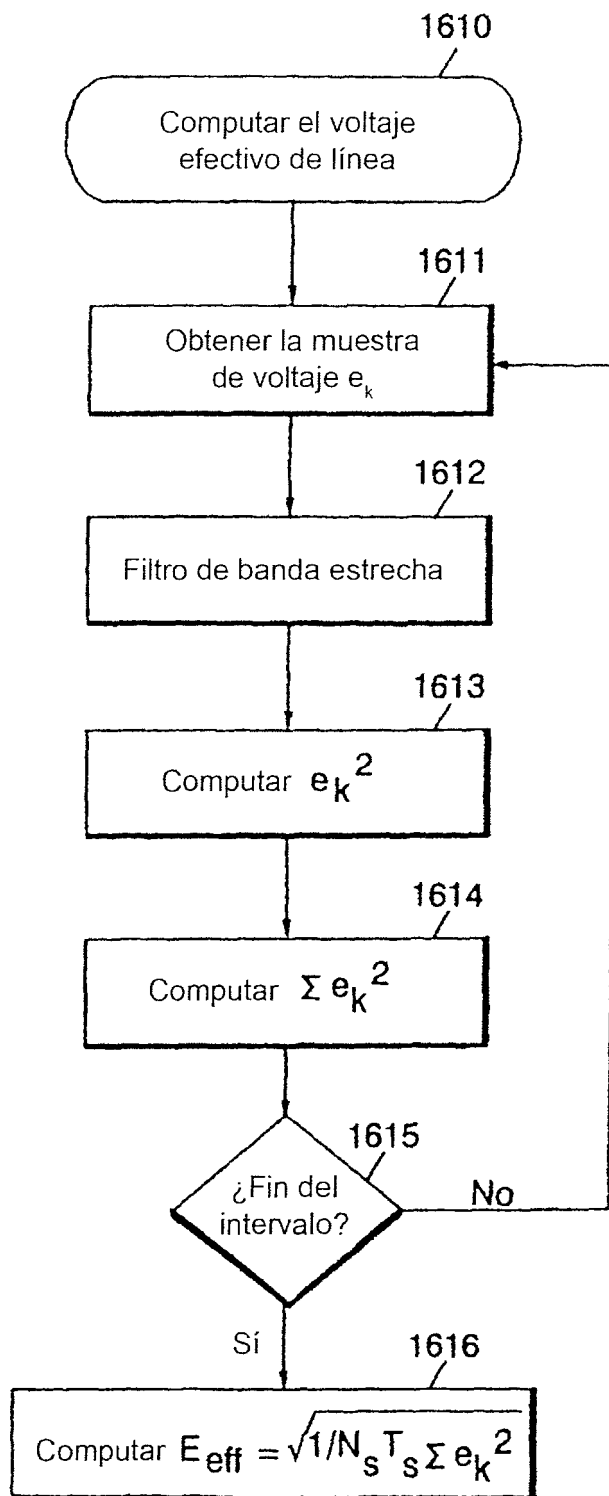


FIG. 17

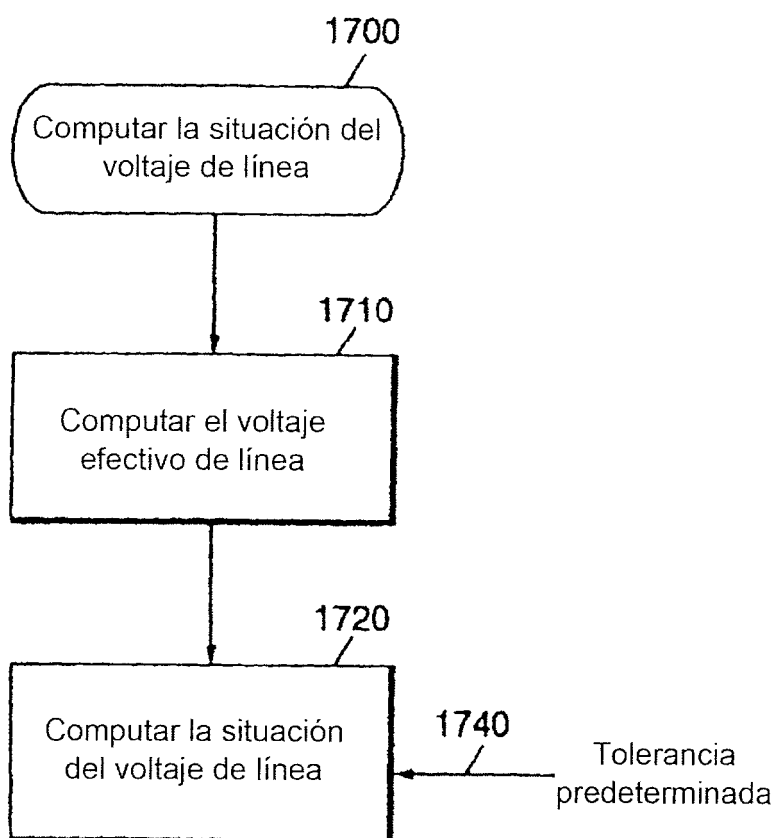


FIG. 18

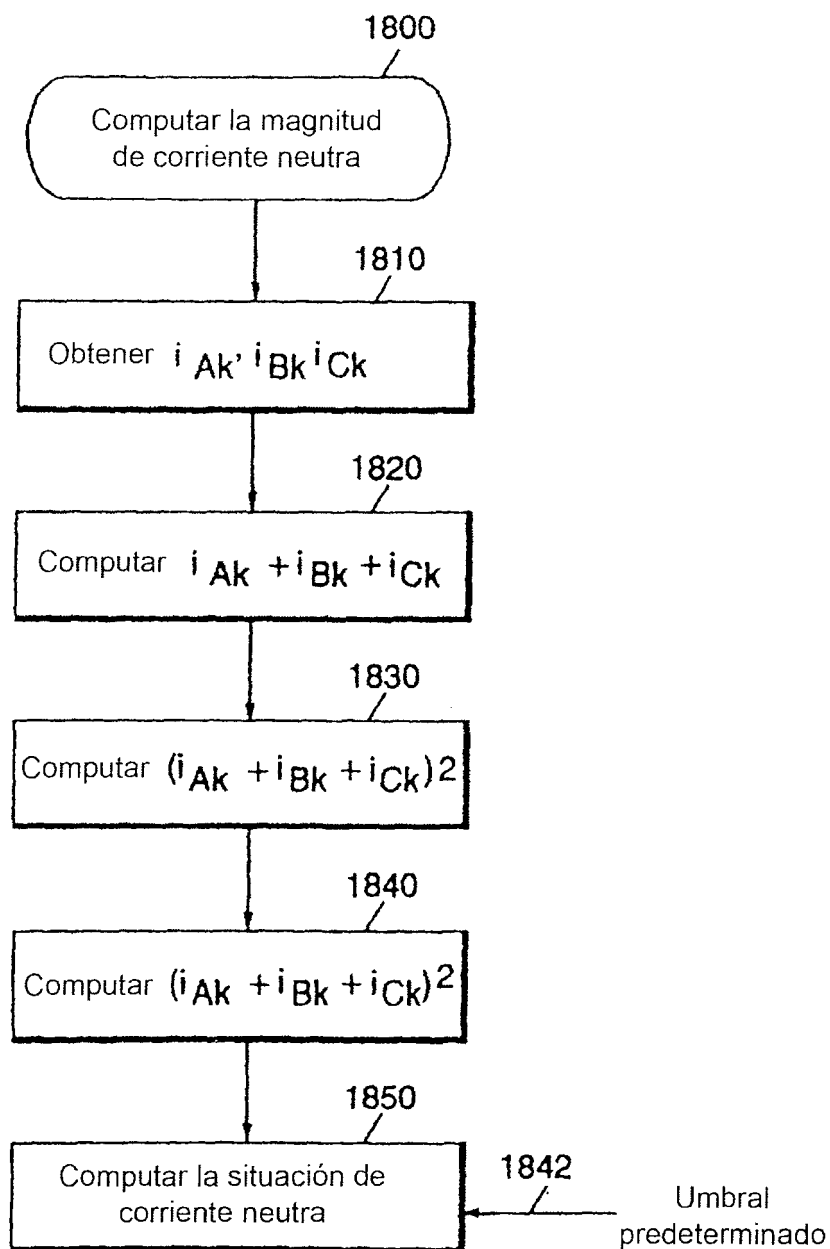


FIG. 19

