

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 922 849**

51 Int. Cl.:

G01R 23/02 (2006.01)

G01R 21/00 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

G01R 19/25 (2006.01)

G01R 23/15 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.08.2014 PCT/FI2014/050628**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.02.2015 WO15022451**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.08.2014 E 14836412 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.05.2022 EP 3036550**

54 Título: **Método y sistema y programa informático para medir cantidades de sistemas de corriente alterna**

30 Prioridad:

16.08.2013 FI 20135835

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.09.2022

73 Titular/es:

**ARCTEQ RELAYS OY (100.0%)
Kvartsikatu 2 A 1
65300 Vaasa, FI**

72 Inventor/es:

VIRTALA, TERO

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 922 849 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

Método y sistema y programa informático para medir cantidades de sistemas de corriente alterna

5 La presente invención se refiere a un método para medir cantidades de sistemas de corriente alterna a través de conexiones de medición que producen errores dependientes de la frecuencia de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 La invención también se refiere a un sistema y un programa informático correspondientes para implementar el método.

Aunque la invención se refiere de manera general a sistemas trifásicos, también puede aplicarse en sistemas eléctricos monofásicos.

15 La medición de frecuencia de las redes de energía eléctrica es una parte importante de la monitorización y el control de una red de energía eléctrica. Muchas protecciones de frecuencia y automatización de control diferentes se basan en el uso de la medición de frecuencia. En base a la medición de frecuencia, varios componentes de la red de energía eléctrica pueden protegerse contra sobrecargas y frecuencias perjudiciales. Además, la medición de frecuencia puede usarse como base para controlar generadores. La medición de frecuencia también se usa para el
20 cálculo de potencia y energía, en los que se basa la compra y venta de electricidad.

25 Del estado de la técnica se conocen varios frecuencímetros, que convierten las señales de corriente y tensión de una red de energía eléctrica en ángulo de fase y magnitud, usando la denominada transformada de Fourier, en particular el cálculo FFT (transformada rápida de Fourier). También puede usarse el análisis de ondículas. En términos generales, las señales periódicas se examinan usando el análisis de frecuencia elegido. La señal analógica se muestrea a una frecuencia constante específica a través del intervalo de medición.

30 El problema con esta técnica es que no tiene en cuenta el error de medición creado por las diferencias de frecuencia. Si la frecuencia de muestreo es, por ejemplo, una fija de 50 Hz, y el voltaje medido de la red eléctrica es de 60 Hz, la magnitud del error de la medición será ya de aproximadamente el 5% en las distintas fases de la corriente.

35 La Publicación de Patente de Estados Unidos 5.014.229 presenta un método que comprende el muestreo de una señal analógica, el cálculo de una pluralidad de señales armónicas, la corrección de cada señal armónica y finalmente la combinación de señales armónicas en una señal calibrada. Se usan tablas de corrección para cada frecuencia armónica. Las tablas contienen curvas de corrección de desplazamiento de fase y amplitud de no linealidad.

40 La Publicación de Patente de Estados Unidos 5,832, 414 presenta un método que compensa los errores en la estimación de fasores debidos a las oscilaciones provocadas por transformadas discretas de Fourier usadas para estimar la frecuencia de la señal.

45 La Publicación de Patente de Estados Unidos 5.151.866 presenta un método de muestrear rápida y continuamente el voltaje AV y señales de corriente. La desviación de la señal sinusoidal se detecta en un punto de cruce cero.

50 La Publicación de Patente de Estados Unidos 8.108.165 B2 es conocida del estado de la técnica y divulga un frecuencímetro, que usa un muestreo dependiente de la frecuencia de señales analógicas. El muestreo dependiente de la frecuencia se usa en todo el intervalo de medición de 6 a 75 Hz (más generalmente, de 5 a 100 Hz). Si la frecuencia medida está fuera del intervalo de medición, en la medición se usan la frecuencia de muestreo más baja o más alta y un factor de corrección, que busca compensar el error. A pesar del muestreo dependiente de la frecuencia, en una medición de frecuencia de este tipo aparecen errores de medición considerables, ya que la medición no tiene en cuenta el error provocado por los componentes de la tarjeta de medición.

55 La invención pretende crear un método que sea más preciso y fiable que los métodos del estado de la técnica para medir la frecuencia en una red de energía eléctrica. Los rasgos característicos del método de acuerdo con la presente invención se exponen en la Reivindicación 1 adjunta y los rasgos del sistema que aplica el método se exponen en la Reivindicación 9. Como, de acuerdo con la invención, la no linealidad del componente analógico de cada conexión de medición se calibra a diferentes frecuencias y se crea una función de corrección dependiente de la
60 frecuencia, el método de acuerdo con la invención proporciona un resultado extremadamente preciso en un amplio intervalo de frecuencias. La corrección dependiente de la frecuencia se hace preferiblemente a los valores de magnitud y ángulo de fase de varios componentes de frecuencia. La función de corrección es preferiblemente una matriz, en los elementos correspondientes a una entrada específica se encuentran los valores de corrección para
65 frecuencias discretas. Estos pueden usarse de forma escalonada, pero es preferible interpolar los valores intermedios. Pueden usarse valores extremos fuera del intervalo de frecuencia nominal.

Los valores de magnitud y/o ángulo de fase se calculan preferiblemente para 7-64, preferiblemente 15-31 componentes de frecuencia armónica.

5 En una realización, el dispositivo se calibra dependiendo de la magnitud y se crea una tabla de corrección similar. El cálculo de la corrección real es completamente el mismo que el descrito con respecto a la tabla de corrección dependiente de la frecuencia.

10 A continuación, la invención se describe con detalle en referencia a los dibujos acompañantes que representan algunas realizaciones de la invención, en los que

- Figura 1 muestra el cableado del dispositivo de protección en la monitorización de una línea de alimentación trifásica,
- Figura 2 muestra las conexiones de mediciones analógicas de cinco canales de medición de corriente en una tarjeta analógica especial,
- 15 Figura 3 muestra la conversión de valores obtenidos de un conversor A/D en valores actuales,
- Figura 4 muestra una vista general del procesamiento de cada secuencia,
- Figura 5 muestra la corrección a realizar para cada componente de frecuencia,
- Figuras 6, 7 y 8 muestra la disposición de actualización programática de cinco tablas de corrección de un canal de medición de corriente,
- 20 Figura 9a muestra el error de una medición conocida en función de la frecuencia,
- Figura 9b muestra el error de medición de frecuencia de acuerdo con la invención usando corrientes trifásicas,
- Figura 10 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de la corrección de frecuencia de la medición de voltaje,
- 25 Figura 11 muestra un diagrama de flujo de un programa principal que inicia el recálculo de una tabla de corrección,
- Figura 12 muestra un diagrama de flujo del recálculo.

30 El dispositivo de protección 20 de la Figura 1 monitoriza una línea secundaria, que está conectada a un terminal de cable 14, conectado a la línea principal 16. La alimentación a la línea secundaria, que está representada por el terminal de cable 14, se toma de las fases L1, L2, L3 de la línea principal 16. La línea secundaria está protegida por un disyuntor trifásico 12 y un interruptor de puesta a tierra 13. El disyuntor 12 está controlado por un dispositivo de protección inteligente 20. Este puede medir las entradas de voltaje U1-U4 y las entradas de corriente IL1 - IL3, I01 y 102. El dispositivo de funcionamiento del disyuntor trifásico 12 y el detector de estado del interruptor de puesta a tierra 13 están conectados a las salidas D01 - D04 del componente de I/O 22. El interruptor de puesta a tierra 13 se maneja manualmente, pero se toman datos de estado del mismo a través del componente de I/O 22 al dispositivo de protección 20, que evita que el disyuntor 12 se cierre, si la puesta a tierra está conectada.

40 La detección de voltaje usa una serie de bobinas primarias conectadas en estrella común 29. Las entradas de voltaje U1-U3 (voltajes de fase) usan una serie de bobinas secundarias conectadas en estrella 28 y el voltaje cero a la entrada de voltaje U4 está formado por la conexión delta abierta 27 de los convertidores de tensión. Los voltajes son llevados a los convertidores de control de voltaje 26 del dispositivo de protección.

45 La detección de corriente IL1, IL2, IL3 de las fases de la línea de alimentación usa bobinas conectadas inductivamente 15 en cada conductor de fase. Además, la corriente I01 del conductor de tierra del terminal del cable se detecta mediante una bobina 15.1. En este caso, la entrada de corriente 102 no está en uso. Las mediciones de corriente se llevan al transformador de mediciones de corriente 24.

50 Una condición previa para un funcionamiento de primera clase es la medición precisa de las cantidades de fase lo que, cuando varía la frecuencia, es un desafío, porque la electrónica de medición convencional solo funciona bien a la frecuencia nominal, por ejemplo, 50 Hz.

55 La entrada de las mediciones de corriente y voltaje consta de componentes analógicos, que pueden tener una divergencia considerable en las propiedades eléctricas, particularmente más allá de la frecuencia nominal.

60 La Figura 2 muestra la configuración de las entradas de mediciones de corriente hasta el conversor A/D. Las cuatro cadenas de mediciones de voltaje están de manera correspondiente en una tarjeta diferente (no mostrada). Todos los componentes analógicos están instalados en una tarjeta de circuito reemplazable especial 21, en la que también hay una memoria no volátil 21.1 y sus medios de conexión 21.2. La importancia de esta memoria se hará evidente más adelante. Los componentes analógicos, incluyendo el conversor A/D, en cada circuito de medición forman una no linealidad principal. En la cadena de izquierda a derecha están: un transformador de corriente 22, una resistencia en derivación 'Sh_x' 24.1, resistencias divisoras de voltaje 24.2, un filtro analógico 24.3, un amplificador 24.4 y finalmente el conversor A/D 24.5. Lo mismo ocurre con los circuitos de medición de voltaje (no mostrados).

65

Cada señal analógica se muestrea en el conversor A/D a un múltiplo de la frecuencia medida aproximadamente f_m (6-75 Hz, tolerancia de aproximadamente 100 mHz) creando una serie base que representa el período de tal manera que las muestras del período forman una memoria intermedia de FFT de longitud de onda fundamental para cada canal de medición de esencialmente un período eléctrico completo (por ejemplo, la onda fundamental de un período eléctrico de 50 Hz es de 20 ms). El conversor A/D está controlado por una señal de muestreo S traída desde el procesador huésped, cuya frecuencia f_s se ajusta de acuerdo con la frecuencia base medida aproximadamente f_m , preferiblemente usando la ecuación:

$$f_s = f_m \times \text{número de muestras de la memoria intermedia de FFT}$$

Las Figuras 3-8 muestran esquemáticamente las implementaciones de software del cálculo.

La Figura 3 muestra la conversión de valores brutos 24.6 obtenidos del conversor A/D en valores reales. El intervalo de lectura del conversor A/D -132000...+132000 corresponde, por ejemplo, a un intervalo de corriente de 0...100 A. La conversión se realiza extrayendo de una tabla de búsqueda 24.7 un factor de escala específico del canal, que se toma junto con el valor a un multiplicador 24.8. Esto no es importante en términos de la invención.

En la Figura 4, la serie base de cada canal, es decir, la memoria intermedia de FFT, se lleva a la transformación de FFT 31, que calcula, además de la frecuencia base 31, la media cuadrática RMS de la magnitud y el ángulo de fase del componente de frecuencia armónica. Del cálculo de FFT 31 se obtienen 64 vectores, 32 de los cuales son imágenes especulares, que terminan en el selector 32. La Figura 4 sigue principalmente el procesamiento de un solo componente de frecuencia. Aquí, el cálculo FFT es una forma de cálculo numérico eficaz para realizar el análisis de Fourier. La técnica de ondulada proporcionaría ventajas en el cálculo de corrientes de compensación y protectores de impedancia. El análisis de frecuencia necesario también puede realizarse usando algún otro método.

Los 32 vectores seleccionados para procesamiento adicional se amplían a escala para formar valores de media cuadrática en el multiplicador 33 (vector complejo \times (raíz cuadrada(2)/número de muestras)). Después de esto, se lleva el vector de cada componente de frecuencia (en este caso corriente) al módulo de corrección de calibración 34, el cual se muestra con mayor detalle en la Figura 5. Como resultado se obtiene el vector calibrado (salida 1) de cada componente de frecuencia. A partir de esto, un conversor cartesiano 38 forma un valor de magnitud (salida 2) y un ángulo de fase (salida 4) separados. En la calculadora 39 se forma un valor exacto de media cuadrática verdadera TRMS (salida 3) a partir de los valores de magnitud de todos los componentes de la frecuencia. Se obtiene sacando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de magnitud (32 artículos).

Un valor máximo aproximado (salida 5), que puede usarse para el ajuste aproximado de etapas posteriores, por ejemplo, se forma a partir de la señal de entrada no calibrada por la calculadora 38.

La Figura 5 muestra el funcionamiento de dicho módulo de corrección de calibración 34, que es esencial para la presente invención. El vector (por ejemplo, 100 V, $j100$ V) obtenido de la entrada 41 es dividido por el conversor cartesiano 44 en valores separados de magnitud y ángulo de fase ($|142$ V, $\angle 45^\circ$), para los cuales se realiza una corrección de calibración separada con la ayuda de factores de corrección dependientes de la frecuencia precalculados. En el caso de la Figura 5, el procesamiento es corrección de frecuencia base, porque el factor de corrección se lee en el pulso de reloj 0. El primer factor de corrección del vector es 40,0. El factor de corrección de magnitud específico del canal se lee del registro 42.M 'M1CT1_IL1MCF1U' (canal IL1) y se lleva al multiplicador 46, en el que se multiplica por el valor medido. Por consiguiente, el factor de corrección del ángulo de fase específico del canal se lee del registro 42.A 'M1CT1_IL1ACF1U' (canal IL1) y se lleva al sumador 48, donde se suma con el ángulo de fase recuperado. Finalmente, los valores calibrados obtenidos se vuelven a convertir en valores vectoriales mediante conversión polar y se envían a la salida 50 'Cal_out'.

Las correcciones de calibración de acuerdo con la Figura 5 se realizan en cada canal (5 canales de medición de corriente y 4 de voltaje) y en cada uno de estos para cada componente de frecuencia (32 artículos). Los coeficientes de calibración, que se aplican a frecuencias discretas y que se obtienen en un cálculo de calibración especial, se almacenan en la memoria 21.1 (Figura 2) de la tarjeta de circuito 21. De allí, son recuperados para su uso por el procesador central, que calcula valores momentáneos correspondientes a la frecuencia en dichos registros 42.M y 42.A (en este caso M1CT1_IL1MCF1U y M1CT1_IL1ACF1U). Como los factores de corrección calibrados se almacenan en la memoria de la tarjeta de circuito 21.1, puede cambiarse rápidamente y la nueva tarjeta de circuito junto con las matrices de corrección almacenadas proporcionarán resultados precisos inmediatamente.

Al calibrar la magnitud y el ángulo de fase de los componentes de frecuencia armónica, TRMS (media cuadrática verdadera), las mediciones que usan los diferentes componentes armónicos y dependientes de múltiples frecuencias se vuelven precisas, lo que de otro modo dependería completamente de las propiedades de las técnicas de medición disponibles. especialmente en frecuencias armónicas más altas. La técnica de medición típicamente

mide con precisión solo a la frecuencia fija de la onda fundamental.

Las Figuras 6, 7, y 8 muestran la actualización del software de los factores de corrección de las mediciones de corriente IL1, IL2, IL3, I01 y I02 de acuerdo con la frecuencia del momento.

El cálculo correspondiente se realiza en el caso de la medición de voltaje. El procesador huésped del sistema incluye una CPU, memorias RAM/ROM y medios de I/O, así como un sistema operativo para ejecutar el software de computación.

Cada entrada de corriente tiene tablas de corrección de ángulo de fase y magnitud separadas. Los valores de calibración momentáneos para cada canal se almacenan en los registros 52. Controladas por el pulso del reloj, las salidas 51.M (magnitud) y 51.A (ángulo de fase) leen los valores de corrección discretos momentáneos Y1 - Y8 a los módulos de cálculo de aproximación 54 y 55 (magnitud y ángulos de fase por separado, en todos los canales). El mismo pulso de reloj controla la lectura de los valores discretos de frecuencia (6, 15, 25, 30, 40, 50, 60 y 75 Hz), con los que se realiza la calibración, para todos los módulos de cálculo 54, 55 junto con el salidas X1 - X8 de los varios módulos de cálculo. Los factores calibrados Y1 - Y8 se recuperan de su propia columna específica del canal en la Tabla 1. Esto se calcula en todos los canales de medición de corriente IL1-IL3, I01 e I02. Los factores se calculan por la aproximación lineal de estos valores de corrección momentáneos usando el siguiente procedimiento.

$X=[X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8]$; el factor de dependencia de la frecuencia es un vector de 8 posiciones (frecuencias discretas 6 - 75 Hz);
 $Y=[Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8]$; el factor de corrección de magnitud o ángulo de fase es un vector de 8 posiciones, en el que hay factores correspondientes a las frecuencias discretas;

Se buscan la frecuencia discreta $X(i)$ inmediatamente debajo de la frecuencia medida 'freq' y el factor $Y(i)$ correspondiente. El valor de corrección es $freq_k = (Y(i) + ((freq-X(i)) * ((Y(i + 1)-Y(i)) / (X(i + 1)-X(i)))))$.

Los valores extremos Y1 e Y8 de los factores se usan por encima y por debajo de las frecuencias discretas. El factor calculado se lleva al registro de magnitud/ángulo de fase del canal correspondiente, por ejemplo, el factor de corrección de magnitud del canal IL1 al registro M1CT1_IL1MCF1_1' (56.M.IL1).

El diseño frontal analógico tiene un efecto considerable sobre el número de frecuencias de calibración requeridas y su selección. Si el diseño no es lineal, la precisión deseada puede lograrse aumentando el número de puntos de calibración. De manera similar, no se requiere necesariamente una aproximación lineal entre los puntos discretos, si hay un número suficientemente grande de puntos discretos.

A continuación se muestra un ejemplo de una tabla de corrección, en la que se encuentran los valores de corrección de ángulo y de magnitud de diferentes canales de medición de corriente IL1, IL2, IL3, I01 y I02 en las frecuencias discretas 6 - 75 Hz (8 artículos).

Tabla 1

| frecuencia [Hz] | IL1Cf | IL2Cf | IL3Cf | I01Cf | I02Cf |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 6 | 1.00870 | 1.00855 | 1.00673 | 0.90746 | 0.86719 |
| 15 | 1.00758 | 1.00756 | 1.00554 | 0.94732 | 0.90845 |
| 25 | 1.00758 | 1.00776 | 1.00565 | 0.98543 | 0.97558 |
| 30 | 1.00763 | 1.00774 | 1.00569 | 0.98928 | 0.98439 |
| 40 | 1.00842 | 1.00855 | 1.00617 | 0.98968 | 0.98666 |
| 50 | 1.00832 | 1.00836 | 1.00634 | 0.99051 | 0.98772 |
| 60 | 1.00815 | 1.00836 | 1.00573 | 0.99094 | 0.98884 |
| 75 | 1.00773 | 1.00802 | 1.00579 | 0.99111 | 0.98925 |
| | | | | | |
| frecuencia [Hz] | IL2ang | IL3ang | I01ang | I02ang | |
| 6 | -0.03 | 0.00 | -4.63 | -4.23 | |
| 15 | -0.02 | 0.00 | -2.53 | -2.70 | |
| 25 | -0.01 | 0.00 | -0.88 | -1.28 | |
| 30 | -116.94 | -0.02 | -0.42 | -0.69 | |
| 40 | 20.52 | 0.01 | -0.28 | -0.47 | |
| 50 | 0.00 | 0.00 | -0.18 | -0.32 | |
| 60 | -0.01 | 0.00 | -0.12 | -0.25 | |
| 75 | -0.01 | 0.00 | -0.11 | -0.19 | |

El valor de ángulo del canal IL1 actúa como referencia para los valores de ángulo de los otros canales.

Estos valores se almacenan en la memoria de la tarjeta 21, desde donde se leen en la memoria RAM del procesador en relación con la inicialización relacionada con el arranque del dispositivo.

5 La Tabla 1 muestra la función dependiente de la frecuencia calibrada de la aplicación $k(f_n)$, con la ayuda de la cual se elimina dicho erro en cada conexión de medición.

En el modelo de cálculo de las Figuras 6-8, los valores momentáneos de acuerdo a cada frecuencia se toman de esta tabla para los registros de cálculo, por lo que luego se calibran los valores de medición. Los registros de cálculo se actualizan de acuerdo con el criterio seleccionado.

10 De acuerdo con la Figura 8, la frecuencia medida aproximadamente en Herz se redondea por la unidad 59.1 (función de celda) a un número entero. El módulo de condición 59.2 activa un nuevo cálculo, si la frecuencia medida ha cambiado en por lo menos 1 Hz desde la ronda de cálculo anterior de 5 ms. El bloque 50 contiene las funciones de las Figuras 6 y 7. Las lecturas de localización de memoria 57 que se muestran en la Figura 8 representan los puntos de frecuencia de calibración predefinidos.

En general, el núcleo del sistema es un programa informático, que comprende un código de programa para implementar el método descrito.

20 La salida aparente se calcula usando, como tal, la ecuación conocida:

$$\overline{S_{L1Fund}} = \overline{U_{L1Fund}} \times \overline{conj(I_{L1Fund})},$$

25 en la que

$$\overline{U_{L1h(1)}} = \text{Re}_{U_{L1h(1)}} + j \text{Im}_{U_{L1h(1)}}$$

30 y

$$\overline{I_{L1h(1)}} = \text{Re}_{I_{L1h(1)}} + j \text{Im}_{I_{L1h(1)}}$$

35 A partir de esto, la salida efectiva y la salida reactiva se calculan usando las ecuaciones:

$$\overline{S_{3PH}} = (\overline{S_{L1Fund}} + \overline{S_{L2Fund}} + \overline{S_{L3Fund}})$$

$$\overline{P_{3PH}} = \text{real}(\overline{S_{3PH}})$$

$$\overline{Q_{3PH}} = \text{imag}(\overline{S_{3PH}})$$

55 Un cálculo preciso requiere también tener en cuenta los componentes de la frecuencia armónica, en cuyo caso la salida aparente de cada fase se calcula como la suma de los componentes de frecuencia, de la siguiente manera:

$$\overline{S_{L1}} = (\overline{U_{L1Fund}} \times \overline{conj(I_{L1Fund})}) + (\overline{U_{L1h(1)}} \times \overline{conj(I_{L1h1})}) + \dots$$

$$+ (\overline{U_{L1hn}} \times \overline{conj(I_{L1hn})})$$

65 Después de esto, pueden aplicarse las ecuaciones de salida efectiva y salida reactiva mencionadas anteriormente.

De acuerdo con las Figuras 9a y 9b, el sistema de cálculo de acuerdo con la invención proporciona una estabilidad de frecuencia significativa. De acuerdo con la Figura 9a, la técnica de medición convencional para cantidades de fase es precisa solo a la frecuencia nominal, en este caso 50 Hz. El error en el intervalo de 6 - 75 Hz puede ser tanto como de decenas de porcentaje. Generalmente, el error es mayor cuanto más se aleja de la frecuencia nominal y mayor es la frecuencia múltiple que se está examinando.

Los errores de la tarjeta de medición de acuerdo con la invención, por ejemplo, a diferentes corrientes de fase son, de acuerdo con la Figura 9b, menos del 0,25% en todo el intervalo de frecuencia (6-75 Hz).

La Figura 10 muestra el procedimiento de medición de las Figuras 2, 3, 4, y 5 como un diagrama de flujo (aquí se mide el voltaje u). Los valores de corrección momentáneos están marcados con las cantidades ' C_i ' (46) y ' α_i ' (48). En la implementación del software, el desafío es la gran cantidad de cálculos en tiempo real, porque cada vector de medición muestreado por separado se divide, en este caso, en 32 vectores separados, en los que se realiza una conversión polar, de modo que hay 64 valores para corregir en cada período. El procesador funciona en periodos de 5 ms, por lo que hay 115 200 cálculos de corrección (46, 48) por segundo en nueve canales. La potencia de cálculo del sistema prototipo es de 300 Megaflops, más que suficiente para el cálculo. Cuando la frecuencia cambia, debe recalcularse el registro de corrección (Figuras 6, 7, y 8, así como los diagramas de flujo de las Figuras 11 y 12), por lo que se debe realizar una transformada de Fourier o similar sobre el flujo de datos de cada canal, y el número de operaciones de cálculo necesarias continúa aumentando. Por tanto, se ha observado que una tolerancia de frecuencia de 1 Hz (generalmente 0,4-2,5 Hz) es óptima en términos de precisión y capacidad computacional.

Este recálculo del registro de calibración se muestra como un diagrama de flujo en las Figuras 11 y 12, correspondientes a los diferentes tipos de presentación gráfica en las Figuras 6-8. Se lee la frecuencia momentánea (58) y se redondea el valor a un número entero (59.1), después de lo cual se compara con el valor anterior (59.2), en el que se tiene la condición '¿Hay un cambio de por lo menos 1 Hz desde el anterior?', y continúa la ejecución del programa, ya sea como un bucle directamente a través de un retardo preestablecido hasta la medición de la frecuencia (NO), o hasta el procedimiento de recálculo (50), Figura 12.

Del diagrama de flujo del procedimiento de recálculo (Figura 12), puede verse que se requieren tres índices ($i, k, 1$) y dos bucles anidados en el cálculo. Si la frecuencia medida es, por ejemplo, 41,5 Hz, se encuentra entre 40 Hz (X_4) y 50 Hz (X_5), cuando el índice $l = 4$ y el elemento ($Y_{4, 1, k}$ e $Y_{5, 1, k}$) se toma de cada tabla de calibración 4. y 5. a la aproximación lineal.

REIVINDICACIONES

1. Método para medir las cantidades de sistemas de corriente alterna a través de canales de medición que producen errores dependientes de la frecuencia, el método comprendiendo los pasos de
- a) producir una señal analógica a través de cada canal (IL1-3, 101, 102), representando una cantidad seleccionada de corriente/voltaje (22, 24.1-4), y
 - b) muestrear por lo menos una señal analógica (24.5) a una frecuencia f_s que es un múltiplo de una frecuencia f_m medida aproximadamente, creando una serie base que representa un período en el canal de medición correspondiente (IL1, IL2, IL3, 101, 102),
 - c) calcular a partir de cada serie base obtenida, valores de una frecuencia base y una magnitud y/o un ángulo de fase, de por lo menos una componente de frecuencia armónica con la ayuda de un análisis de frecuencia seleccionado (31, 32),
 - d) corregir cada valor de magnitud y/o de ángulo de fase calculado con la ayuda de una función dependiente de la frecuencia calibrada $k(fn)$ (34) dando un valor de corrección dependiente de la frecuencia para cada valor calculado, para eliminar dicho error de cada canal de medición y obtener valores de magnitud y/o ángulo de fase calibrados,
 - e) calcular las cantidades seleccionadas, a partir de los valores de magnitud y/o ángulo de fase calibrados,
- caracterizado porque** se producen valores de corrección momentáneos dependientes de la frecuencia con una función de corrección para el cálculo cuando la frecuencia f_m medida aproximadamente cambia en más de un criterio seleccionado.
2. El método de acuerdo con la Reivindicación 1, **caracterizado porque** cada función de corrección comprende una tabla que contiene valores de corrección discretos en las frecuencias de calibración seleccionadas.
3. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-2, **caracterizado porque** los valores de magnitud y/o de ángulo de fase se calculan para 7 - 64, preferiblemente 15 - 31 componentes de frecuencia armónica.
4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, **caracterizado porque** dicho intervalo de medición es de 5-100 Hz, preferiblemente de 6-75 Hz.
5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, **caracterizado porque** el análisis seleccionado pertenece al grupo: análisis convencional de Fourier, FFT, ondícula.
6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, **caracterizado porque** cada canal de medición también se calibra dependiendo de la magnitud.
7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, **caracterizado porque** se usa el cálculo de FFT y la frecuencia de muestreo se ajusta continuamente con respecto a la frecuencia medida f_m usando la ecuación
- $$f_s = f_m \times \text{número de muestras de la memoria intermedia de FFT}$$
8. Un sistema para medir cantidades de corriente alterna, dicho sistema incluye
- a) un componente analógico (22, 24.1-4) que comprende varios canales de medición (IL1-3, 101, 102), cada uno para producir una señal analógica que representa una cantidad de corriente/voltaje seleccionada, y
 - b) medios (24.5) para muestrear cada señal analógica a una frecuencia f_s que es un múltiplo de una frecuencia medida aproximadamente f_m , creando una serie base que representa un período en cada canal de medición (IL1, IL2, IL3, 101, 102), y
 - c) medios de análisis de frecuencia para calcular valores de una frecuencia base y una magnitud y/o un ángulo de fase, de por lo menos un componente de frecuencia armónica de cada una de las series base obtenidas, y
 - d) medios (34) para corregir cada valor calculado de magnitud y/o ángulo de fase con la ayuda de una función dependiente de la frecuencia calibrada $k(fn)$ que proporciona un valor de corrección dependiente de la frecuencia para cada valor calculado para eliminar dicho error en cada canal de medición y para obtener valores calibrados de magnitud y/o ángulo de fase, y
 - e) medios para calcular las cantidades seleccionadas, a partir de los valores de magnitud y/o ángulo de fase calibrados,
- caracterizado porque** dicha función de corrección $k(fn)$ comprende una tabla de corrección que contiene valores de corrección discretos dependientes de la frecuencia precalculados almacenados en medios de memoria y medios de cálculo para realizar la aproximación seleccionada de acuerdo con la frecuencia medida.
9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** el sistema incluye por lo menos una tarjeta de medición (21) que comprende un componente analógico y un conversor A/D (24.5) de un canal de medición.

10. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** dicha tarjeta de medición (21) incluye los componentes analógicos de varios canales y una memoria no volátil (21.1) dispuesta para almacenar los factores de calibración de la tarjeta de medición.
- 5
11. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10, en donde el sistema incluye además una CPU, memorias RAM/ROM y medios de I/O, así como un sistema operativo.
- 10
12. Un programa informático, que comprende código de programa para hacer que el sistema de la reivindicación 11 ejecute los pasos del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7.

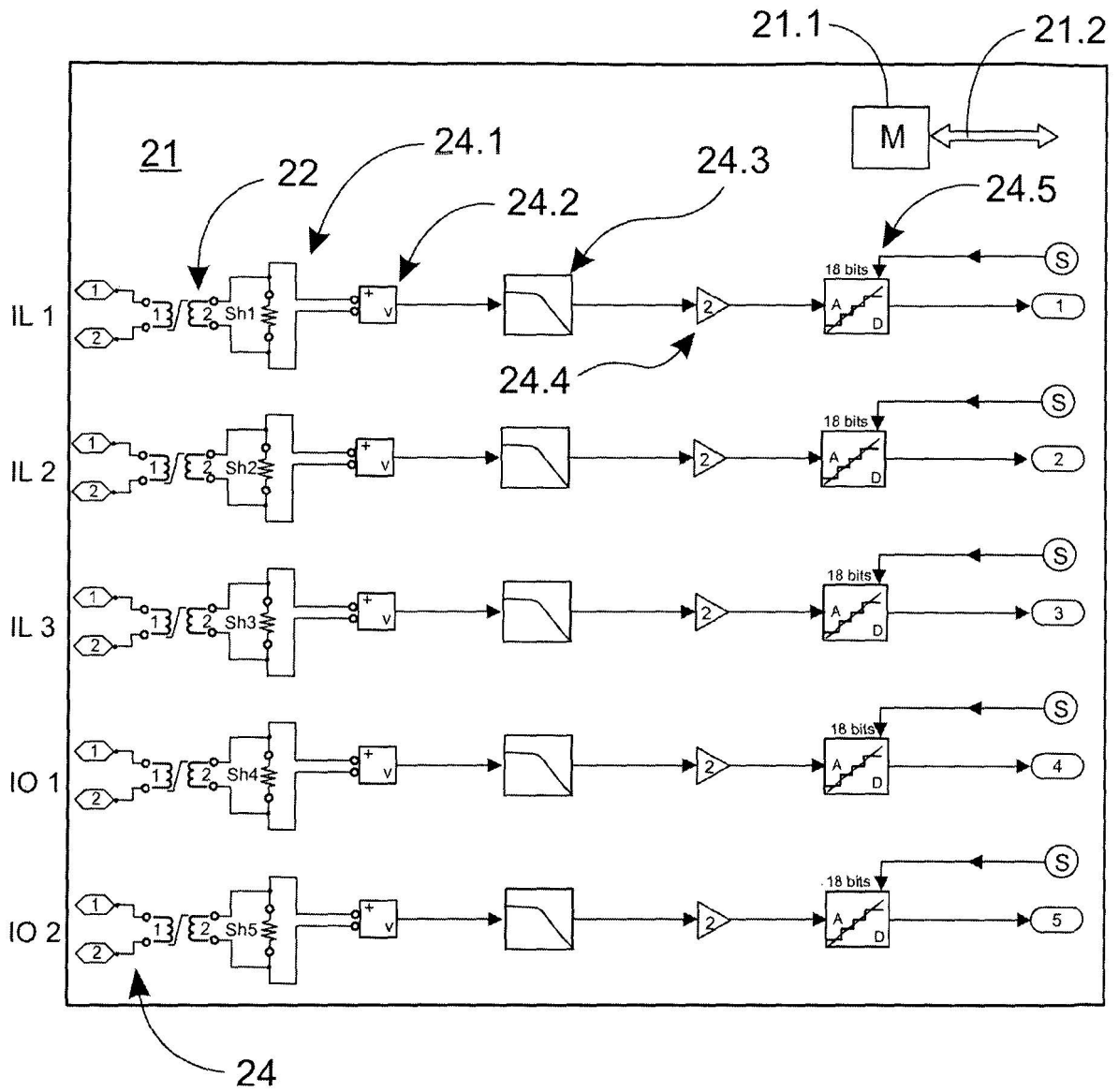


Fig. 2

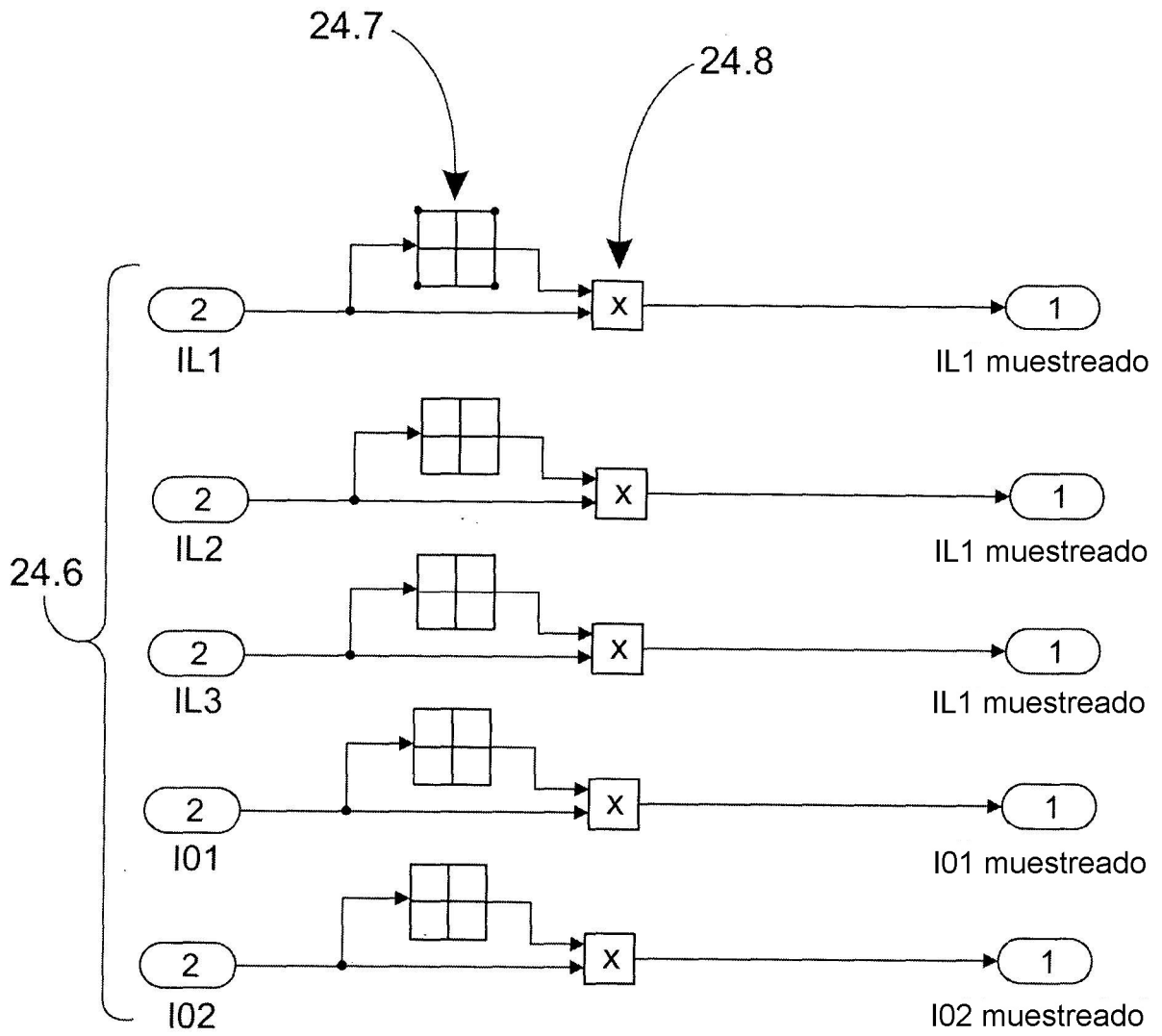


Fig. 3

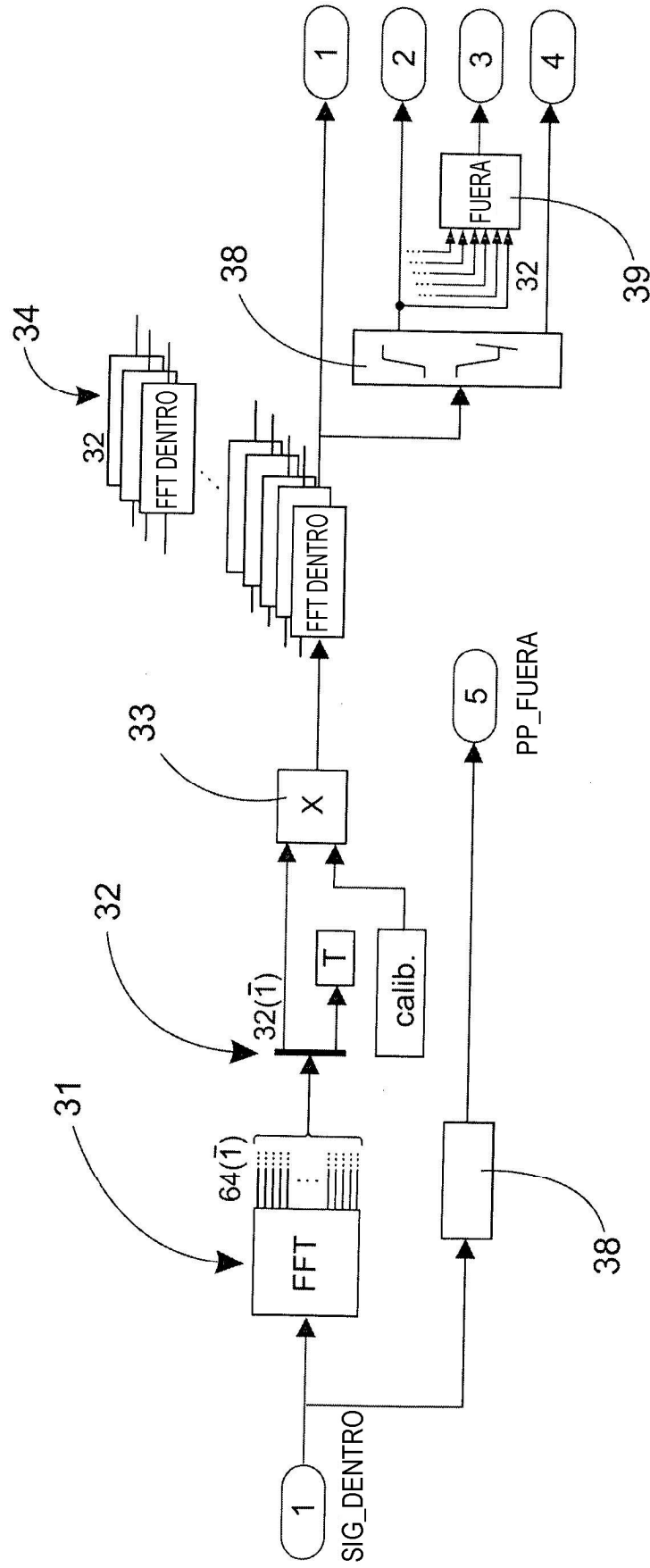


Fig. 4

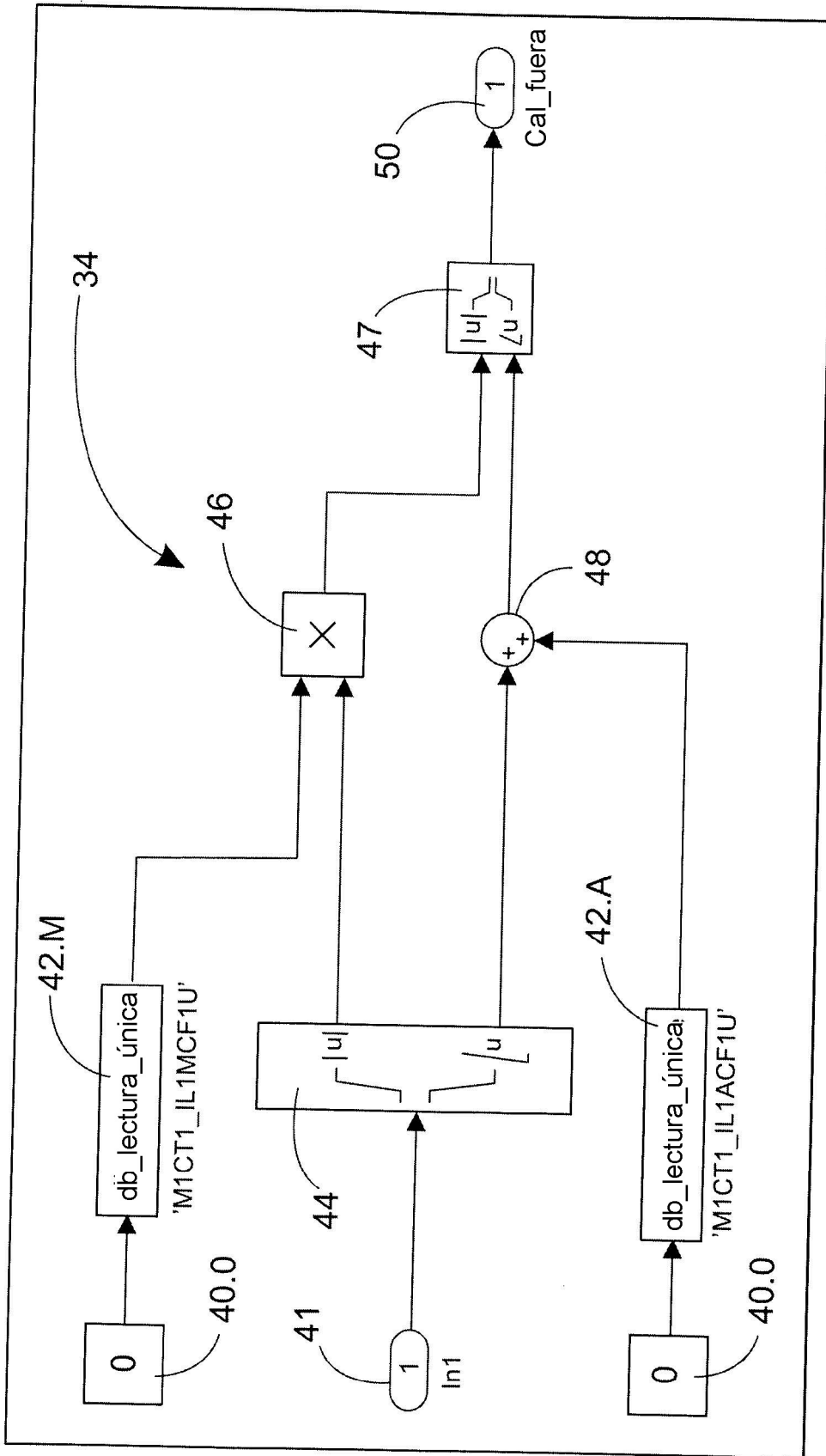
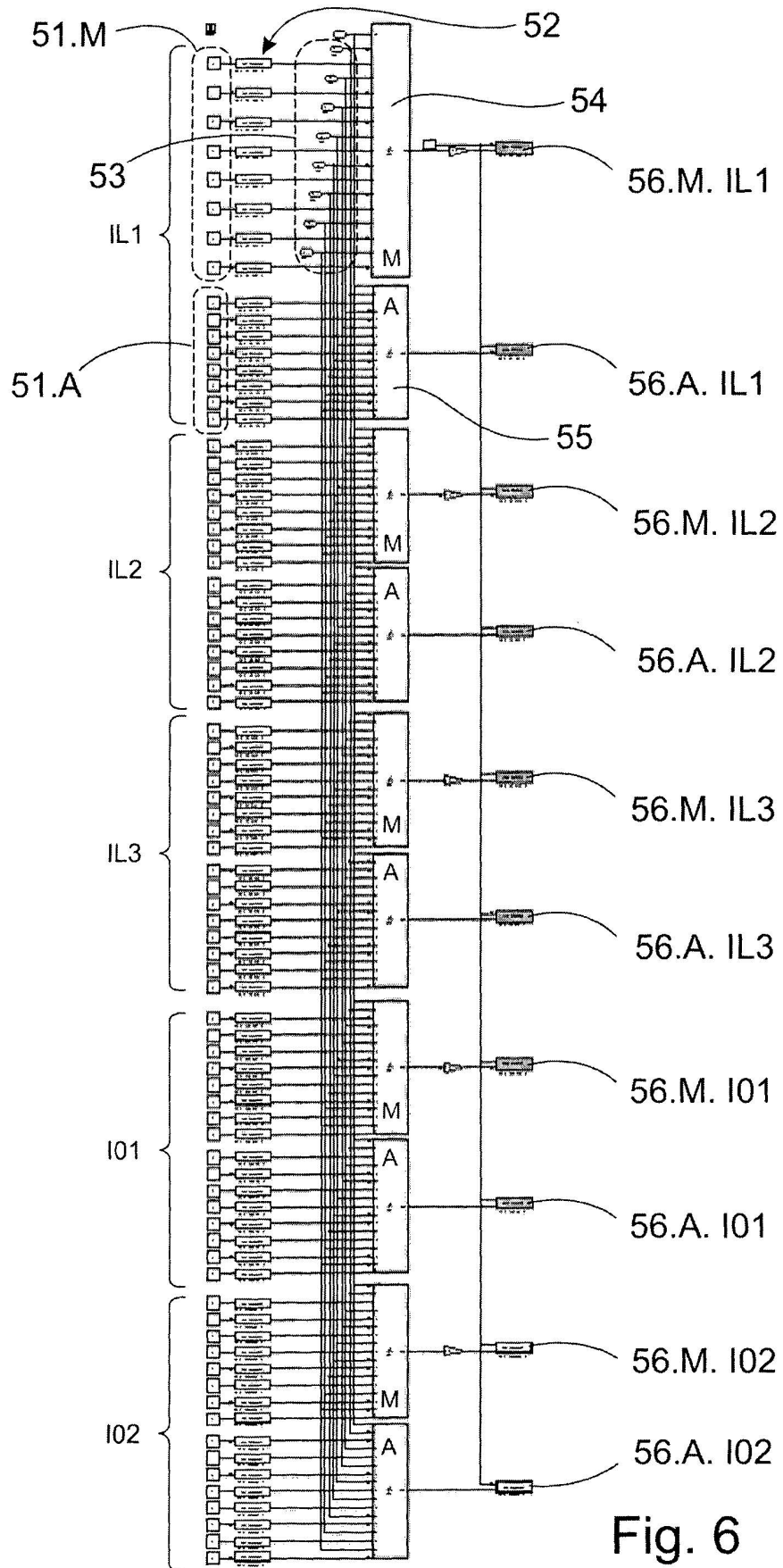


Fig. 5



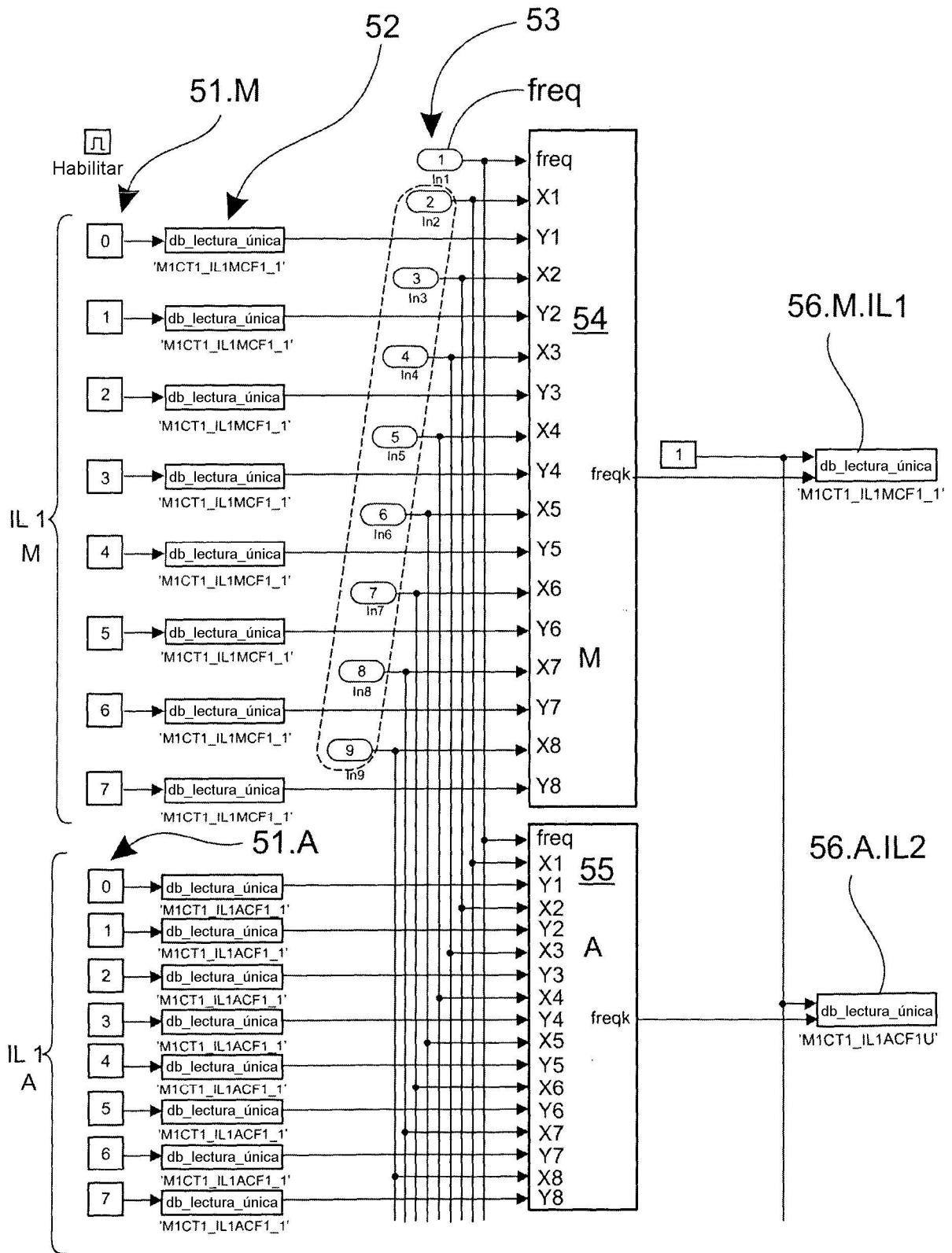


Fig. 7

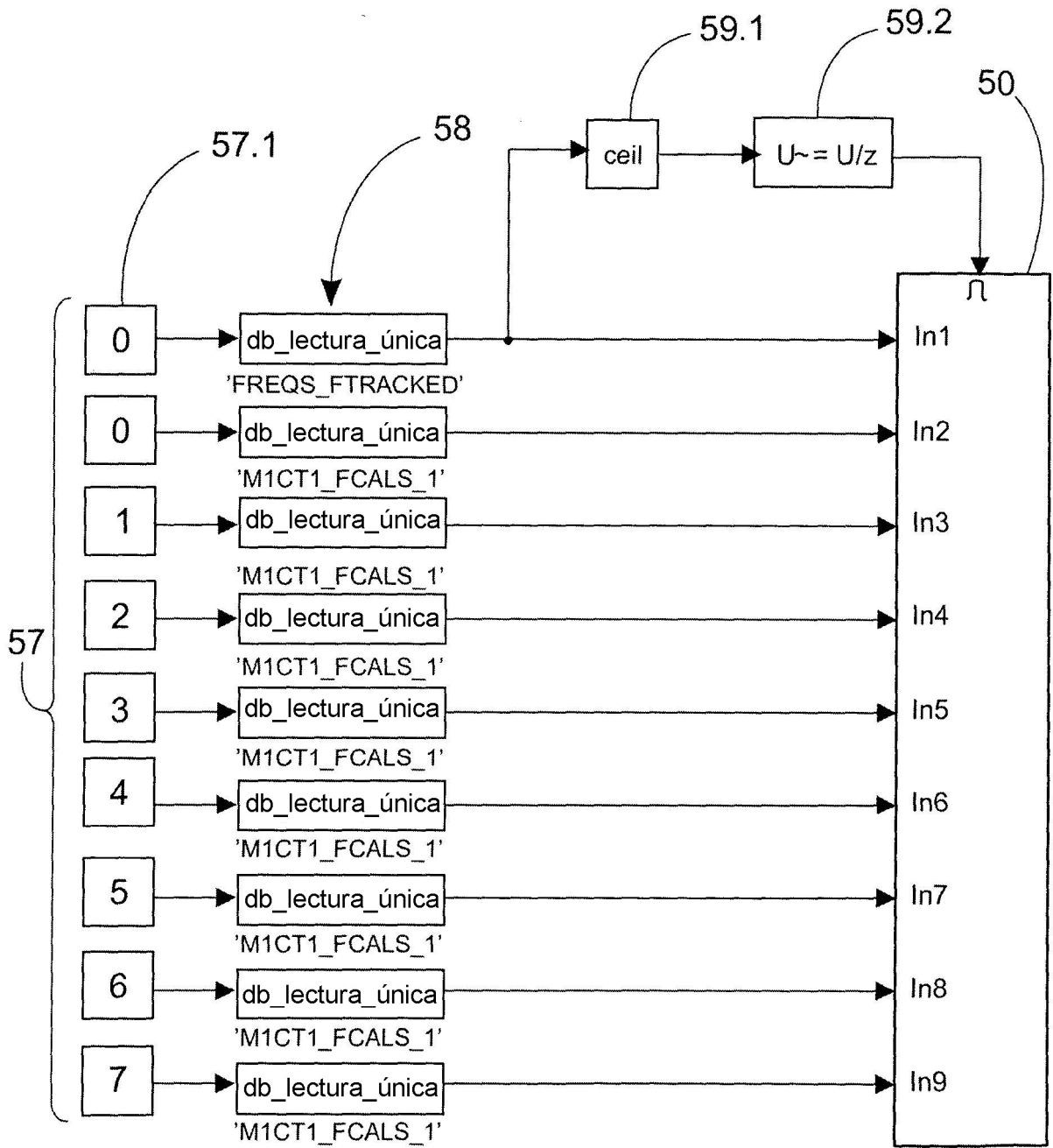


Fig. 8

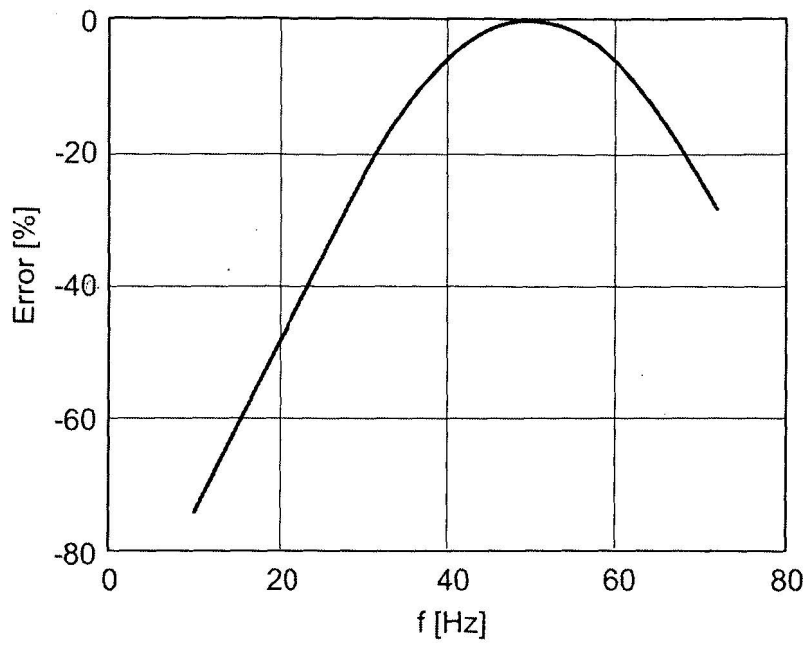


Fig. 9a

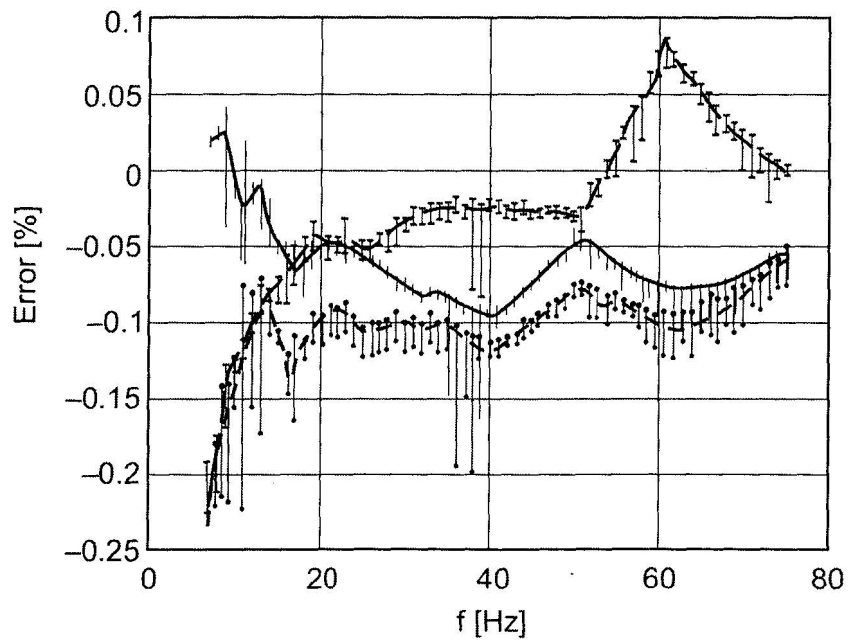


Fig. 9b

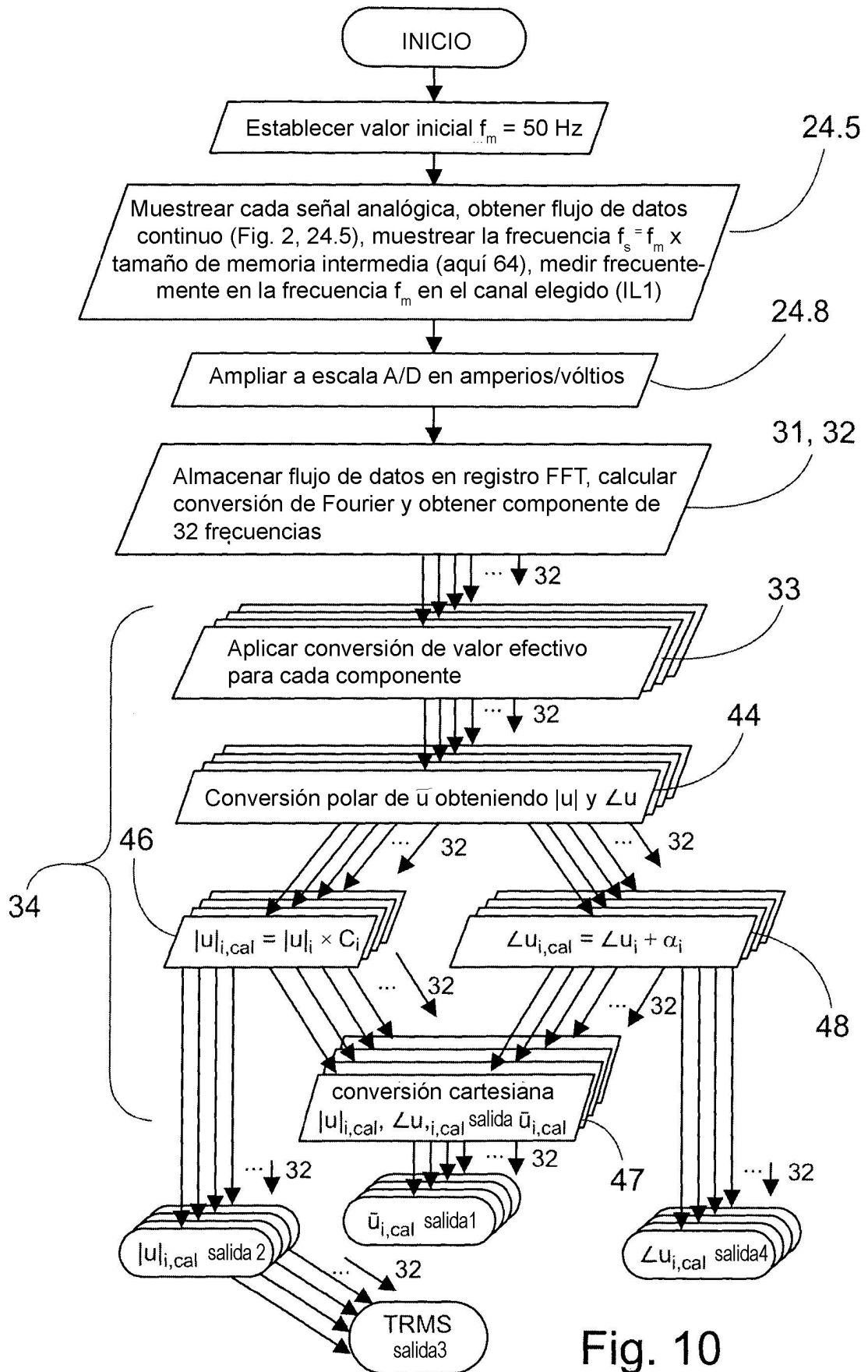


Fig. 10

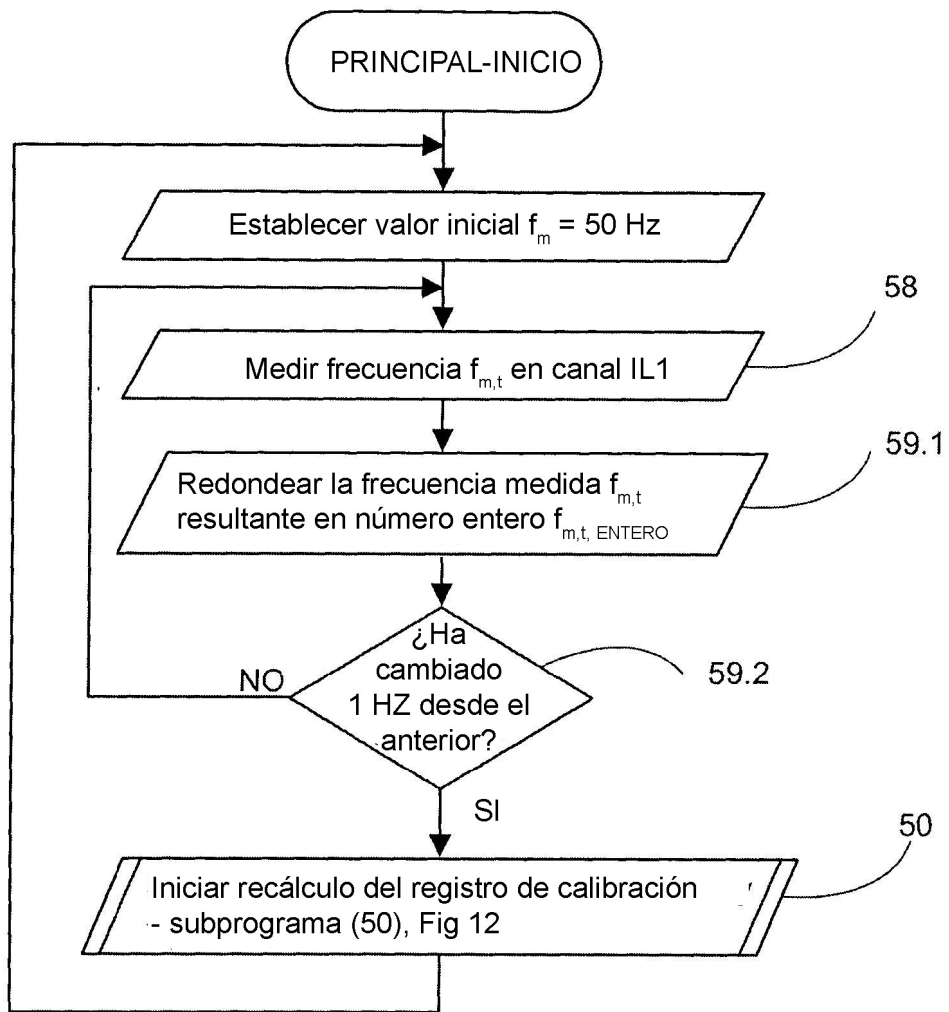


Fig. 11

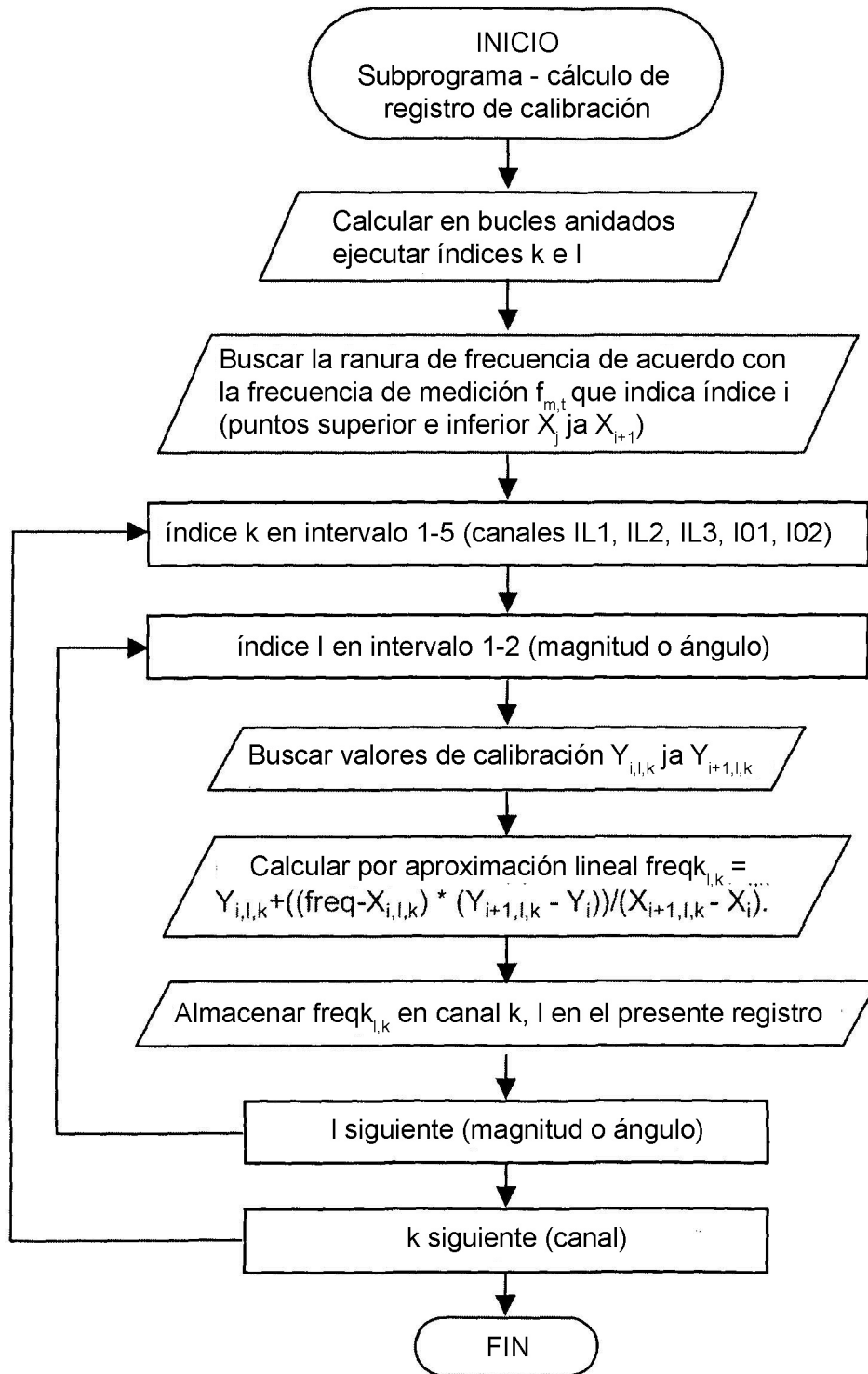


Fig. 12