

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 948**

51 Int. Cl.:

G01R 19/25 (2006.01)

G01R 21/133 (2006.01)

G01R 25/00 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2015** **E 15153694 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018** **EP 3054303**

54 Título: **Aparato de medición de magnitudes eléctricas y método de medición de magnitudes eléctricas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.09.2018

73 Titular/es:
ABB S.P.A. (100.0%)
Via Vittor Pisani 16
20124 Milano, IT

72 Inventor/es:
RAGAINI, ENRICO y
LOCATELLI, EMILIO

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 682 948 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato de medición de magnitudes eléctricas y método de medición de magnitudes eléctricas

Antecedentes

Campo técnico

- 5 La presente descripción versa sobre un aparato adaptado para medir una magnitud eléctrica. En particular, dicha magnitud eléctrica puede ser una corriente eléctrica, una tensión eléctrica o una potencia eléctrica asociada con un circuito eléctrico incluido, como ejemplo, en una red de distribución.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Con referencia particular a la medición de la potencia eléctrica, la potencia activa que fluye en un circuito eléctrico es el producto de la corriente y de la tensión, según la conocidísima fórmula $P(t)=v(t)i(t)$. Para circuitos de CA, es preciso llevar a cabo la medición de la potencia a lo largo de un ciclo completo, o posiblemente de un número entero de ciclos.

- 15 Se conocen medidores digitales de potencia, que miden la potencia haciendo un muestreo de la corriente y la tensión y calculando luego el producto, muestra a muestra, y promediando en un periodo (ciclo) o en un número entero de periodos (ciclos). El producto entre corriente y tensión en la anterior fórmula considera valores de corriente y de tensión en el mismo instante temporal.

El documento EP-A-853364 describe un método de medición de una única carga de potencia eléctrica en una red de distribución eléctrica. Según este documento, el ángulo de fase entre la tensión y la corriente se calcula determinando los instantes de cruce por cero, respectivamente de la tensión y de la corriente.

- 20 El solicitante observa que la medición de potencia descrita en el documento EP-A-853364 puede verse afectada por distorsiones en la las formas de onda medidas de la corriente y la tensión.

El documento "Harmonic power flow determination using the Fast Fourier Transform" —T.A. George, D. Bones, IEE Transaction on Power Delivery Vol. 6, nº 2, abril de 1991— describe el uso de coeficientes de una transformada rápida de Fourier para calcular el flujo de potencia asociado con cada armónico individual para contribuir a ubicar su origen.

Compendio

- 25 El solicitante ha notado que podrían ser deseables mejoras en la fiabilidad de la medición de magnitudes eléctricas junto con una técnica de cálculo no pesada.

Según una realización, un aparato de medición de magnitudes eléctricas comprende:

- un módulo de sincronización estructurado para generar una señal de sincronización;
- 30 – un primer aparato de medición conectable a un circuito eléctrico y estructurado para recibir la señal de sincronización y para proporcionar:
 - primeros coeficientes de una transformada de Fourier que representan una primera magnitud eléctrica asociada con dicho circuito eléctrico;
 - un primer valor de retardo que depende del desfase temporal entre un instante de medición asociado con la medida de la primera magnitud eléctrica y un instante de recepción de la señal de sincronización en el primer
- 35 – un módulo de procesamiento estructurado para procesar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier y el primer valor de retardo y para proporcionar unos primeros coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal que representan una primera magnitud eléctrica medida sincronizada.

- 40 En particular, dicho primer aparato de medición está estructurado para proporcionar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier como coeficientes complejos de una transformada rápida discreta de Fourier.

Breve descripción de los dibujos

Resultarán evidentes características y ventajas adicionales a partir de la siguiente descripción de una realización preferente y de sus alternativas, dada a título de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 45 la FIG. 1 muestra una realización de un sistema eléctrico que comprende un circuito eléctrico y un aparato de medición de magnitudes eléctricas;

la FIG. 2 muestra esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo de medición de la corriente eléctrica;

la FIG. 3 muestra esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo de medición de la tensión eléctrica;

la FIG. 4 ilustra tres diagramas que se refieren a la operación del aparato de medición de magnitudes eléctricas, según un primer ejemplo;

5 la FIG. 5 muestra, por medio de un diagrama de flujo, un ejemplo de operación del aparato de medición de magnitudes eléctricas.

Descripción detallada

10 La FIG. 1 muestra una realización de un sistema eléctrico 100 que comprende un circuito eléctrico 1 y un aparato 2 de medición de magnitudes eléctricas. Como ejemplo, el circuito eléctrico 1 es una porción de una red de distribución eléctrica, tal como una red de alta tensión, de tensión media o, preferentemente, de baja tensión. Según una realización, el circuito eléctrico 1 es un circuito monofásico que comprende una primera línea 3 y una segunda línea 4. En particular, el circuito eléctrico 1 puede ser un panel de distribución de potencia o un dispositivo de conmutación similar y las líneas primera y segunda 3 y 4 son barras colectoras correspondientes.

15 En particular, el circuito eléctrico 1 mostrado en la Figura 1 puede estar conectado a una primera carga 5 y a al menos a una segunda carga 6. El circuito eléctrico 1 puede estar proporcionado por interruptores, disyuntores y dispositivos de protección y control (no mostrados).

Alternativamente al ejemplo de la Figura 1, el circuito eléctrico 1 puede ser un circuito bifásico o trifásico o, en general, un circuito n-fásico con o sin línea neutra.

20 El aparato 2 de medición eléctrica está configurado para medir al menos una magnitud eléctrica asociada con el circuito eléctrico 1, tal como la corriente, la tensión y/o la potencia. Según la realización descrita, el aparato 2 de medición eléctrica está configurado para medir la potencia eléctrica $P(t)$ asociada con una carga del circuito eléctrico 1 (como ejemplo, la primera carga 5) mediante la medición de la corriente eléctrica $I(t)$ que fluye en la primera carga 5 y de la tensión eléctrica $V(t)$ aplicada a la primera carga 5. El aparato 2 de medición eléctrica también puede estar adaptado para medir la potencia eléctrica asociada con las otras cargas del circuito eléctrico 1.

25 Según la realización mostrada en la Figura 1, el aparato 2 de medición de magnitudes eléctricas comprende un módulo 7 de sincronización, un aparato 8 de medición de la corriente, un aparato 9 de medición de la tensión y un módulo 10 de procesamiento.

El módulo 7 de sincronización está estructurado para generar una señal de sincronización $S1$ que ha de ser transmitida, según un primer ejemplo, por un canal 11 de sincronización conectado al aparato 8 de medición de la corriente y al aparato 9 de medición de la tensión.

30 Según una primera realización, la señal de sincronización $S1$ tiene el objetivo de sincronizar la operación del aparato 8 de medición de la corriente y del aparato 9 de medición de la tensión o el objetivo de proporcionar una referencia temporal para el aparato 8 de medición de la corriente y el aparato 9 de medición de la tensión.

35 El módulo 7 de sincronización puede ser un generador de señales estructurado para transmitir la señal de sincronización $S1$ en forma de impulsos analógicos de tensión por un circuito cableado. Alternativamente, el módulo 7 de sincronización puede ser un aparato digital estructurado para transmitir la señal de sincronización $S1$ en forma de telegramas digitales por un canal en serie o una línea de Ethernet u otro tipo de canal de comunicación.

40 Según un ejemplo, el módulo 7 de sincronización está configurado para transmitir periódicamente la señal de sincronización $S1$ en forma de un impulso que es recibido por el aparato 8 de medición de la corriente y el aparato 9 de medición de la tensión. El canal 11 de sincronización es, como ejemplo, una línea cableada de transmisiones o puede ser un enlace inalámbrico.

El aparato 8 de medición de la corriente comprende un sensor 12 de corriente conectado a un terminal eléctrico de la primera carga 5 y un dispositivo 13 de medición de la corriente (CM). El sensor 12 de corriente puede ser, como ejemplo, un transformador de corriente, una bobina de Rogowski o un dispositivo de efecto Hall.

45 El dispositivo 13 de medición de la corriente es un instrumento digital configurado para recibir del sensor 12 de corriente una primera señal eléctrica detectada $S_i(t)$ (tal como una señal de corriente o de tensión) correlacionada con la corriente $I(t)$ que fluye a la primera carga 5.

50 Según una realización mostrada en la Figura 2, el dispositivo 13 de medición de la corriente está dotado de un primer módulo transceptor 14 (TRX), un primer módulo 15 de procesamiento (PRC), un primer contador 16 (CNT) y un primer módulo 17 de conversión (CONV), que pueden estar implementados por uno o más módulos de soporte físico o de soporte lógico.

El primer módulo 17 de conversión está estructurado para procesar la primera señal eléctrica detectada $S_i(t)$ para efectuar el acondicionamiento de la señal y la conversión analógico-digital. La conversión analógico-digital de la primera señal eléctrica detectada $S_i(t)$ comprende las etapas de muestreo, cuantificación y codificación, llevadas a

cabo para obtener un conjunto de valores digitales de corriente que representan la corriente $I(t)$ en el correspondiente intervalo temporal de medición. Como ejemplo, se obtienen los valores digitales DI de corriente que representan la corriente $I(t)$ para un intervalo temporal de medición igual a un periodo de la corriente $I(t)$ o un número entero de tales periodos.

- 5 En particular, en funcionamiento, el módulo 17 de conversión del dispositivo 13 de medición de la corriente proporciona el siguiente conjunto de N muestras (y los correspondientes valores digitales) de la corriente $I(t)$:

$$I_n = I(T_{sti} + n \cdot \delta t), \text{ siendo } n = 0 \dots N-1 \quad (1)$$

Las N muestras I_n se toman en un instante de inicio T_{sti} , con un intervalo temporal entre muestras igual a δt . Se puede suponer que T_{sti} es 0 sin pérdida de la generalidad.

- 10 El primer módulo 15 de procesamiento está estructurado para calcular la transformada de Fourier de la corriente medida $I(t)$. En particular, el primer módulo 15 de procesamiento está configurado para recibir el conjunto de valores digitales DI de corriente y calcular la transformada discreta de Fourier proporcionando una pluralidad de coeficientes de una transformada discreta de Fourier.

- 15 Más en particular, el primer módulo 15 de procesamiento está configurado para calcular, a partir de las muestras I_n recibidas del módulo 17 de conversión, la transformada discreta de Fourier en forma compleja proporcionando una pluralidad de coeficientes complejos de una transformada discreta de Fourier (DFT), que pueden ser almacenados en una memoria del primer módulo 15 de procesamiento. Preferentemente, el cálculo de la DFT se lleva a cabo mediante un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT).

Como ejemplo, los coeficientes complejos FFT I_k se calculan en forma compleja como:

$$I_k = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{-i \frac{2\pi kn}{N}} \quad (2)$$

Los coeficientes complejos FFT pueden expresarse en forma real según se indica a continuación:

$$I_k = \sum_{n=0}^{N-1} I_n \left(\cos \frac{2\pi kn}{N} - i \cdot \text{sen} \frac{2\pi kn}{N} \right) \quad (3)$$

- 20 Según indica la expresión (3), el cálculo de la FFT es equivalente a la descomposición de la señal original en un conjunto finito de sinusoides (cada uno con una amplitud, una frecuencia y una fase diferentes), cuya suma da la señal original.

- 25 Además, es posible expresar la transformada de Fourier para que, para cada frecuencia que sea un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la señal, existan dos sinusoides: una con fase cero en el instante temporal inicial de la medición (es decir, en el momento en el que se toma la primera muestra de la señal), y una con fase de 90 grados. Estas dos sinusoides son denominadas componente "en fase" y "en cuadratura" para cada frecuencia. La FFT proporciona como resultados las amplitudes de las dos sinusoides. Tales amplitudes también son denominadas componentes "real" e "imaginaria". Esta forma particular de expresar el resultado de la FFT se denomina representación compleja FFT de la FFT, o FFT compleja.

- 30 Así, la componente "en fase" $\text{Re}(I_k)$ y la componente "en cuadratura" $\text{Im}(I_k)$ pueden expresarse según se indica a continuación:

$$\text{Re}(I_k) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n \cos \frac{2\pi kn}{N} \quad (4)$$

$$\text{Im}(I_k) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n \text{sen} \frac{2\pi kn}{N} \quad (5)$$

- 35 Se observa que, si la señal original $I(t)$ o $Si(t)$ es una senoide pura (como ocurre en una señal de CA sin armónicos), solo las componentes real e imaginaria relacionadas con la frecuencia fundamental son distintas de cero. Todos los demás resultados de la FFT son cero. La relación entre las amplitudes de las componentes real e imaginaria depende de la fase inicial en el instante de inicio de la medición (T_{sti}).

El primer módulo transceptor 14 está configurado para recibir la señal de sincronización $S1$ (a través del canal 11 de sincronización) desde el módulo 7 de sincronización y para transmitir hacia el módulo 10 de procesamiento valores digitales proporcionados por el primer módulo 15 de procesamiento.

El primer módulo 15 de procesamiento está conectado al primer contador 16 para calcular un primer valor de retardo $\Delta 1$ que representa un desfase temporal entre un instante de medición asociado con la medida de la corriente $I(t)$ y el instante de recepción de la señal de sincronización S1 en el dispositivo 13 de medición de la corriente. El primer contador 16 está conectado a un reloj del primer módulo 15 de procesamiento.

- 5 Más en particular, el primer valor de retardo $\Delta 1$ puede ser un retardo temporal entre el instante de recepción T_{rx} de la señal de sincronización S1 en el dispositivo 13 de medición de la corriente y el posterior instante inicial T_{sti} del proceso de medición llevado a cabo por el dispositivo 13 de medición de la corriente:

$$\Delta 1 = T_{sti} - T_{rx} \quad (6)$$

- 10 El instante inicial T_{sti} puede ser el instante en el cual el primer valor digital de la señal eléctrica detectada $S_i(t)$ es muestreado por el dispositivo 13 de medición de la corriente en un intervalo de medición que tiene una duración preestablecida.

Según otro ejemplo, el primer valor de retardo $\Delta 1$ es un retardo temporal entre el instante inicial T_{sti} del proceso de medición y el posterior instante de recepción T_{rx} :

$$\Delta 1 = T_{rx} - T_{sti} \quad (7)$$

Según otro ejemplo adicional, el primer valor de retardo $\Delta 1$ es un retardo temporal entre el instante de recepción T_{rx} de la señal de sincronización S1 y un posterior instante final T_{edi} del intervalo de medición en la siguiente fórmula:

$$\Delta 1 = T_{edi} - T_{rx} \quad (8)$$

- 15 El instante final T_{edi} puede ser el instante en el cual el último valor digital de la señal eléctrica detectada $S_i(t)$ es muestreado por el dispositivo 13 de medición de la corriente en el intervalo de medición.

- 20 Además, el primer módulo transceptor 14 está conectado a un canal 18 de comunicación de datos, tal como un enlace cableado de transmisión o un enlace inalámbrico. El canal 18 de comunicación de datos permite un intercambio de datos entre el dispositivo 13 de medición de la corriente y el módulo 10 de procesamiento, tal como la transmisión de la pluralidad de coeficientes complejos de DFT de la corriente y el primer valor de retardo $\Delta 1$. Puede ser, por ejemplo, una conexión de tipo Ethernet o un enlace en serie.

- 25 Según otra realización, el canal 18 de comunicación de datos se emplea también para transmitir la señal de sincronización S1 en forma de señal adecuada para la propagación por dicho canal de comunicación de datos. La señal de sincronización S1 transmitida por el canal 18 de comunicación de datos puede ser un paquete digital que pueda ser distinguido de los paquetes de transmisión de datos y, en este caso, se podría omitir el canal 11 de sincronización.

- 30 Según el ejemplo descrito, el aparato 9 de medición de la tensión comprende un sensor 19 de tensión y un dispositivo 20 de medición de la tensión. El sensor 19 de tensión se conecta entre la primera línea 3 y la segunda línea 4 del circuito eléctrico 1, para que esté en conexión eléctrica paralela con la primera carga 5 y la segunda carga 6 y detecte la tensión eléctrica $V(t)$ entre la primera línea 3 y la segunda línea 4. El sensor 19 de tensión puede ser, como ejemplo, un sensor capacitivo o un sensor resistivo.

El dispositivo 20 de medición de la tensión es un instrumento digital configurado para recibir del sensor 19 de tensión una segunda señal eléctrica detectada $S_v(t)$ (tal como una señal de tensión) correspondiente a la tensión $V(t)$ aplicada entre las líneas primera y segunda 3 y 4.

- 35 Según un ejemplo, mostrado en la Figura 3, el dispositivo 20 de medición de la tensión comprende un segundo módulo transceptor 21 (TRX), un segundo módulo 22 de procesamiento (PRC), un segundo módulo 23 de conversión (CONV) y, como ejemplo, un segundo contador 24.

- 40 El segundo módulo 23 de conversión (que puede ser análogo al primer módulo 17 de conversión) está estructurado para procesar la segunda señal eléctrica detectada $S_v(t)$ para efectuar el acondicionamiento de la señal y la conversión analógico-digital. La conversión analógico-digital de la primera señal eléctrica detectada $S_v(t)$ comprende las etapas de muestreo, cuantificación y codificación, llevadas a cabo para obtener un conjunto de valores digitales de tensión que representan la tensión $V(t)$ en el correspondiente intervalo temporal de medición.

- 45 Según el ejemplo presentado, se obtienen los valores digitales DV de tensión que representan la tensión $V(t)$ con referencia a un intervalo temporal de medición igual a un periodo de la tensión $V(t)$ de CA o un número entero de tales periodos.

En particular, en funcionamiento, el segundo módulo 23 de conversión proporciona el siguiente conjunto de N muestras de la tensión $V(t)$:

$$V_n = V(n \cdot \delta t), \text{ siendo } n = 0 \dots N-1 \quad (9)$$

5 El segundo módulo 22 de procesamiento está estructurado para calcular la transformada de Fourier de la tensión medida $V(t)$. En particular, el segundo módulo 22 de procesamiento está configurado para recibir el conjunto de valores digitales de tensión y calcular la transformada discreta de Fourier de dicho conjunto de valores digitales DV de tensión proporcionando una pluralidad de coeficientes de una transformada discreta de Fourier. Más en particular, el segundo módulo 22 de procesamiento está configurado para calcular la transformada discreta de Fourier en forma compleja proporcionando una pluralidad de coeficientes complejos de una transformada discreta de Fourier (DFT), que pueden ser almacenados en una memoria del segundo módulo 22 de procesamiento. Preferentemente, el cálculo de la DFT se lleva a cabo mediante un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT).

Como ejemplo, los coeficientes complejos FFT V_k de tensión se calculan en forma compleja como:

$$V_k = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{-i \frac{2\pi kn}{N}} \quad (10)$$

10 Los coeficientes complejos FFT de tensión pueden expresarse en forma real según se indica a continuación:

$$V_k = \sum_{n=0}^{N-1} V_n \left(\cos \frac{2\pi kn}{N} - i \cdot \text{sen} \frac{2\pi kn}{N} \right) \quad (11)$$

La componente "en fase" $\text{Re}(V_k)$ y la componente "en cuadratura" $\text{Im}(V_k)$ pueden expresarse según se indica a continuación:

$$\text{Re}(V_k) = \sum_{n=0}^{N-1} V_n \cos \frac{2\pi kn}{N} \quad (12)$$

$$\text{Im}(V_k) = \sum_{n=0}^{N-1} V_n \text{sen} \frac{2\pi kn}{N} \quad (13)$$

15 El segundo módulo transceptor 21 está configurado para transmitir los valores digitales proporcionados por el segundo módulo 15 de procesamiento hacia el módulo 10 de procesamiento por medio del canal 18 de comunicación de datos o por otro canal adecuado.

Según la realización mostrada en las Figuras, el segundo módulo transceptor 21 está configurado para recibir la señal de sincronización S1 (a través del canal 11 de sincronización) desde el módulo 7 de sincronización y para transmitir valores digitales proporcionados por el segundo módulo 22 de procesamiento hacia el módulo 10 de procesamiento.

20 El segundo módulo 22 de procesamiento está conectado al segundo contador 16 para calcular un segundo valor de retardo $\Delta 2$ que representa un desfase temporal entre un instante de medición asociado con la medida de la tensión $V(t)$ y el instante de recepción de la señal de sincronización S1 en el dispositivo 20 de medición de la tensión. El segundo contador 16 está conectado a un reloj del segundo módulo 22 de procesamiento.

25 Más en particular, el segundo valor de retardo $\Delta 2$ puede ser un retardo temporal entre el instante de recepción T_{rx} de la señal de sincronización S1 en el dispositivo 20 de medición de la tensión y el posterior instante inicial T_{stv} del proceso de medición llevado a cabo por el dispositivo 20 de medición de la tensión:

$$\Delta 2 = T_{stv} - T_{rx} \quad (14)$$

30 El instante inicial T_{stv} se define de manera análoga a la definición provista más arriba del instante inicial T_{sti} de la medición de la corriente. Se observa que, a todos los efectos prácticos, el tiempo de propagación de la señal de sincronización S1 necesario para alcanzar el dispositivo 20 de medición de la tensión es igual al tiempo de propagación necesario para alcanzar el dispositivo 13 de medición de la corriente, por lo que la señal alcanza los dispositivos 20 de medición de la tensión y 13 de medición de la corriente en el mismo instante de recepción T_{rx} .

Según otro ejemplo, el segundo valor de retardo $\Delta 2$ puede calcularse según la siguiente expresión (15), que es análoga a la fórmula (7):

$$\Delta 2 = T_{rx} - T_{stv} \quad (15)$$

Según un ejemplo adicional, el segundo valor de retardo $\Delta 2$ es un retardo temporal entre el instante de recepción T_{rx} de la señal de sincronización S1 y un posterior instante final T_{edv} del intervalo de medición de la tensión en la siguiente fórmula:

$$\Delta 2 = T_{edv} - T_{rx} \quad (16)$$

5 El instante final T_{edv} puede definirse de manera análoga a la definición del instante final T_{edi} dada anteriormente con referencia a la medición de la corriente.

Según se ha descrito con referencia al dispositivo 20 de medición de la corriente, el canal 18 de comunicación de datos puede ser empleado para transmitir la señal de sincronización S1 también al segundo transceptor 21 del dispositivo 20 de medición de la tensión, en lugar de al canal 11 de sincronización.

10 Se observa que, según otra realización, el módulo 7 de sincronización puede ser integrado en el aparato 9 de medición de la tensión o en el aparato 8 de medición de la corriente. Preferentemente, el módulo 7 de sincronización está integrado en el aparato 9 de medición de la tensión. En este caso, se puede omitir el cálculo del segundo retardo temporal $\Delta 2$, dado que la medición de la tensión puede ser directamente sincronizada con la señal de sincronización S1, que es una señal local.

15 Con referencia a la Figura 1, el módulo 10 de procesamiento está estructurado para procesar la pluralidad de coeficientes complejos de DFT de la corriente y el primer valor de retardo $\Delta 1$, recibidos del aparato 8 de medición de la corriente, y generar una correspondiente pluralidad de coeficientes de una transformada de Fourier de corriente con desfase temporal que representan una corriente medida sincronizada. En particular, los varios coeficientes de una transformada de Fourier de corriente con desfase temporal son coeficientes que representan la corriente medida $I(t)$ como si tal corriente fuera medida en un intervalo de medición sincronizado con el instante de recepción de la señal de sincronización S1 en el aparato 8 de medición de la corriente.

20 Como ejemplo, el módulo 10 de procesamiento está configurado para aplicar a los coeficientes I_k de la transformada de Fourier de corriente de la expresión (2) un procesamiento de desplazamiento según el teorema de desplazamiento circular de la transformada discreta de Fourier para obtener los coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal I'_k :

$$I'_k = I_k e^{-i \frac{2\pi k \Delta 1}{N \delta t}} \quad (17)$$

25 Los coeficientes I'_k representan los coeficientes que se obtendrían de muestras de la misma señal $I(t)$ correspondiente a un proceso de medición que tenga un instante inicial o un instante final en el momento $t = T_{rx}$, es decir, sincronizado con el instante de recepción de la señal de sincronización S1.

La expresión (17) muestra un factor $-ik\omega$ de fase lineal aplicado a cada coeficiente I_k . La expresión (17) puede reformularse como:

$$I'_k = I_k e^{-ik\omega} \quad (18)$$

30 En ella, ω es un retardo angular correspondiente al primer retardo $\Delta 1$ en la frecuencia fundamental:

$$\omega = 2\pi \frac{\Delta 1}{N \delta t} \quad (19)$$

En términos reales, la expresión compleja (13) se traduce en términos reales a:

$$I'_k = I_k (\cos k\omega + i \operatorname{sen} k\omega) \quad (20)$$

Por ello, los coeficientes DFT en fase y en cuadratura con desfase temporal son:

$$\operatorname{Re}(I'_k) = \operatorname{Re}(I_k) \cos k\omega - \operatorname{Im}(I_k) \operatorname{sen} k\omega \quad (21)$$

$$\operatorname{Im}(I'_k) = \operatorname{Re}(I_k) \operatorname{sen} k\omega + \operatorname{Im}(I_k) \cos k\omega \quad (22)$$

En caso de que se considere el segundo valor de retardo $\Delta 2$, el módulo 10 de procesamiento está estructurado para procesar la pluralidad de coeficientes complejos DFT de tensión y el segundo valor de retardo $\Delta 2$, recibidos del aparato 9 de medición de la tensión, y generar una pluralidad de coeficientes de una transformada de Fourier de tensión con desfase temporal que representan una tensión medida sincronizada.

- 5 En particular, los varios coeficientes de una transformada de Fourier de tensión con desfase temporal son coeficientes que representan la tensión medida $V(t)$ cuando dicha tensión es medida en un intervalo de medición sincronizado con el instante de recepción de la señal de sincronización S1 en el aparato 9 de medición de la tensión. El teorema de desplazamiento circular anteriormente mencionado de la transformada discreta de Fourier puede ser aplicado para obtener los coeficientes de una transformada de Fourier de tensión con desfase temporal V'_k :

$$V'_k = V_k e^{-ik\omega} \quad (23)$$

- 10 En ella, ω es un retardo angular correspondiente al segundo retardo $\Delta 2$ en la frecuencia fundamental:

$$\omega = 2\pi \frac{\Delta 2}{N\delta t} \quad (24)$$

En términos reales, la expresión compleja (23) se traduce en términos reales a:

$$V'_k = V_k (\cos k\omega + i \operatorname{sen} k\omega) \quad (25)$$

Por ello, los coeficientes de FFT en fase y en cuadratura con desfase temporal son:

$$\operatorname{Re}(V'_k) = \operatorname{Re}(V_k) \cos k\omega - \operatorname{Im}(V_k) \operatorname{sen} k\omega \quad (26)$$

$$\operatorname{Im}(V'_k) = \operatorname{Re}(V_k) \operatorname{sen} k\omega + \operatorname{Im}(V_k) \cos k\omega \quad (27)$$

- 15 El módulo 10 de procesamiento está estructurado para calcular la potencia activa $P(t)$ que fluye en la primera carga 5. La potencia activa que fluye en un circuito eléctrico es el producto de la corriente y de la tensión, como en la fórmula $P(t)=V(t)*I(t)$. Para circuitos de CA, la medición de la potencia se lleva a cabo a lo largo de un ciclo completo, o posiblemente de un número entero de ciclos.

En particular, el módulo 10 de procesamiento está configurado para llevar a cabo un producto, muestra por muestra, de dos señales que representan las magnitudes eléctricas $I(t)$ y $V(t)$ empleando los correspondientes coeficientes DFT con desfase temporal según el teorema de Plancherel:

$$\sum_{n=0}^{N-1} V_n I_n^* = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} V'_k I'^*_k \quad (28)$$

- 20 Empleando las expresiones (21), (22), (26) y (27), la expresión (28) se simplifica a:

$$\sum_{n=0}^{N-1} V_n I_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} V'_k I'^*_k = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [\operatorname{Re}(V'_k) \operatorname{Re}(I'_k) + \operatorname{Im}(V'_k) \operatorname{Im}(I'_k)] \quad (29)$$

Si no se calcula el segundo valor de retardo $\Delta 2$, el módulo 10 de procesamiento evalúa la expresión (29) usando los coeficientes de las fórmulas (12) y (13) con referencia a los coeficientes DFT de la tensión $V(t)$, en lugar de las fórmulas (26) y (27).

- 25 Ahora se describirá un primer ejemplo de un método de operación con referencia a las Figuras 4 y 5. Según este primer ejemplo, la señal de sincronización S1 tiene la función de proporcionar una referencia temporal para el procedimiento de medición y de adquisición llevado a cabo por el aparato 8 de medición de la corriente y/o el aparato 9 de medición de la tensión. En la siguiente descripción se hace referencia al aparato de medición de la corriente.

- 30 La Figura 4 muestra tres diagramas, en los que el diagrama 4a) se refiere a la señal de sincronización S1, el diagrama 4b) se refiere al procesamiento en el aparato 8 de medición de la corriente y el diagrama 4c) se refiere a la etapa de obtención de muestras en el aparato 8 de medición de la corriente, con desfase temporal según la ecuación (7). La Figura 5 muestra un diagrama 200 de flujo que ilustra algunas de las etapas de operación del aparato 8 de medición de la corriente.

Después de una etapa simbólica 101 de inicio, el primer contador 16 se pone a cero y se activa para llevar a cabo una etapa 102 de recuento (CNT-ST): los punteros se ponen a cero y comienza el muestreo y la obtención de datos en el instante inicial T_{sti} .

5 En el instante inicial T_{sti} el aparato 8 de medición de la corriente obtiene un primer valor digital correspondiente a una muestra de corriente $I(t)$, y la obtención de otras muestras (definidas por la fórmula (1)) sigue adelante en un intervalo de adquisición T-ACQ (Figura 4c) Además, el primer módulo 15 de procesamiento almacena la primera muestra digital obtenida en una etapa 104 de almacenamiento (STR-SAMP), según se muestra en la Figura 5, y obtiene muestras subsiguientes hasta que se obtenga la última muestra N-1, identificada por medio de una etapa IF 105 (LST-SAMP).

10 Si, durante el tiempo de adquisición, se recibe una señal de sincronización S1 (por ejemplo, el impulso P1 o un telegrama TR1), en el instante de recepción T_{rx} , se almacena un valor de corriente del primer contador 16 del dispositivo 13 de medición de la corriente. Esto proporciona una medición del desfase $\Delta 1$ según la fórmula (7).

15 Durante el intervalo temporal T-PRO (Figura 4b), se procesa la señal de sincronización S1 para comprobar la ausencia de errores. En caso de que se use el canal 18 de comunicación de datos también con fines de sincronización, también se usa este procesamiento para comprobar si el telegrama TR1 asociado con la señal de sincronización S1 es de tipo sincronización.

Según se indica en la Figura 4b), el primer módulo 15 de procesamiento almacena, en un intervalo de procesamiento T-STR, el primer valor de retardo $\Delta 1$ obtenido por el primer contador 16. El almacenamiento del primer valor de retardo $\Delta 1$ se produce, preferentemente, al final de la obtención de las N-1 muestras.

20 El cálculo del primer valor de retardo $\Delta 1$ puede efectuarse, alternativamente, con referencia al instante final T_{edi} según la expresión (8).

Además, en una etapa 106 de cálculo de la DFT (DFT-COMP) el primer módulo 15 de procesamiento lleva a cabo los cálculos de los coeficientes complejos de DFT, definidos por las anteriores expresiones (4) y (5), (preferentemente, por medio de algoritmos FFT). Los coeficientes complejos de la DFT y el primer valor de retardo $\Delta 1$ calculados por el aparato 8 de medición de la corriente son proporcionados al módulo 10 de procesamiento (mostrado en la Figura 1).

25 El aparato 9 de medición de la tensión funciona de manera análoga al aparato 8 de medición de la corriente y proporciona al módulo 10 de procesamiento los coeficientes complejos de la DFT según las expresiones (12) y (13) con el segundo valor de retardo $\Delta 2$, si ha sido considerado.

30 El módulo 10 de procesamiento lleva a cabo el cálculo del desfase temporal según las expresiones anteriormente mencionadas (21) y (22), obteniendo así los coeficientes de DFT con desfase temporal en fase y en cuadratura con referencia a la corriente $I(t)$:

$$\operatorname{Re}(I'_k) = \operatorname{Re}(I_k) \cos k\omega - \operatorname{Im}(I_k) \sin k\omega \quad (21)$$

$$\operatorname{Im}(I'_k) = \operatorname{Re}(I_k) \sin k\omega + \operatorname{Im}(I_k) \cos k\omega \quad (22)$$

Con referencia a la tensión eléctrica $V(t)$, si calcula el segundo valor de retardo $\Delta 2$, el módulo 10 de procesamiento lleva a cabo el cálculo del desfase temporal según las expresiones anteriormente mencionadas (26) y (27), obteniendo así los coeficientes de DFT con desfase temporal en fase y en cuadratura:

$$\operatorname{Re}(V'_k) = \operatorname{Re}(V_k) \cos k\omega - \operatorname{Im}(V_k) \sin k\omega \quad (26)$$

$$\operatorname{Im}(V'_k) = \operatorname{Re}(V_k) \sin k\omega + \operatorname{Im}(V_k) \cos k\omega \quad (27)$$

35 Además, el módulo 10 de procesamiento calcula la potencia activa $P(t)$ por medio de los coeficientes complejos de DFT expresados anteriormente y según la expresión (29) ya mencionada:

$$\sum_{n=0}^{N-1} V_n I_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} V'_k I_k^* = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [\operatorname{Re}(V'_k) \operatorname{Re}(I'_k) + \operatorname{Im}(V'_k) \operatorname{Im}(I'_k)] \quad (29)$$

Se observa que, una vez que se conocen los coeficientes de DFT de la corriente $I(t)$ y la tensión $V(t)$, además o alternativamente a la potencia activa, pueden calcularse varias magnitudes eléctricas adicionales en función de los coeficientes de DFT, tales como: el valor de la media cuadrática (RMS) de la corriente y de la tensión, la potencia aparente, la potencia reactiva (según varios métodos/definiciones disponibles).

40 El método anteriormente descrito también puede ser aplicado a sistemas trifásicos y polifásicos empleando los mismos procedimientos de cálculo. Como ejemplo, la potencia en un sistema de barra colectora que tenga varios circuitos

trifásicos paralelos puede ser medida usando solo un instrumento de medición de la tensión trifásica en lugar de uno por circuito.

- 5 El aparato 2 de medición de magnitudes eléctricas y el correspondiente método de medición anteriormente descritos proporcionan varias ventajas. La medición descrita de la magnitud eléctrica es particularmente fiable, dado que no emplea la forma de onda de la magnitud eléctrica para marcar una referencia temporal, a diferencia de las técnicas que emplean la detección del cruce por cero, que puede estar afectado por la distorsión de la onda.

Otra ventaja se debe al hecho de que el aparato 2 de medición de magnitudes eléctricas puede operar independientemente de la presencia de armónicos en la magnitud eléctrica que ha de medirse, lo que no compromete la calidad de los resultados.

- 10 Se observa que, dado que, normalmente, en un sistema eléctrico hay un número limitado de armónicos, la mayor parte de los coeficientes de Fourier son cero. El aparato 2 de medición de magnitudes eléctricas puede funcionar transmitiendo únicamente los valores muestreados distintos de cero. Como ventaja adicional, los requisitos de ancho de banda se reducen con respecto a la necesidad de transmitir el conjunto completo de muestras por el canal de comunicaciones.

- 15 Además, los coeficientes de Fourier calculados están disponibles para un procesamiento ulterior, tal como, por ejemplo, el cálculo de la potencia activa, de la potencia reactiva y de la potencia aparente.

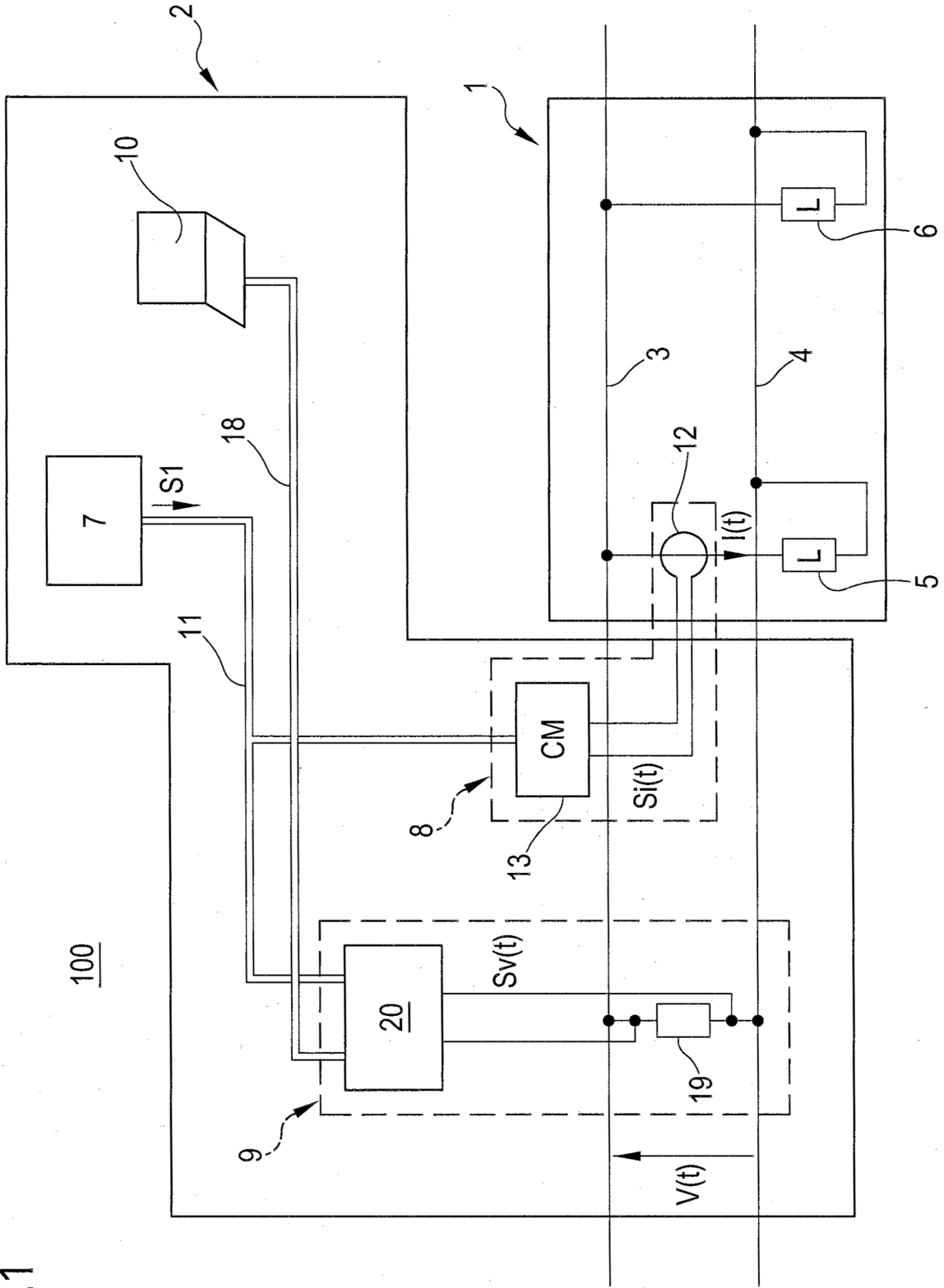
- 20 Además, el uso de una señal de sincronización generada por un módulo de sincronización y enviada al aparato de medición garantiza que no se introduzcan retardos relacionados con el soporte lógico ni errores consiguientes; por ello, se superan los problemas que se producen en sistemas de microprocesadores, en los que los tiempos de ejecución del soporte lógico no son previsibles, porque pueden ser modificados inesperadamente por interrupciones del soporte físico o por los criterios de planificación del sistema operativo.

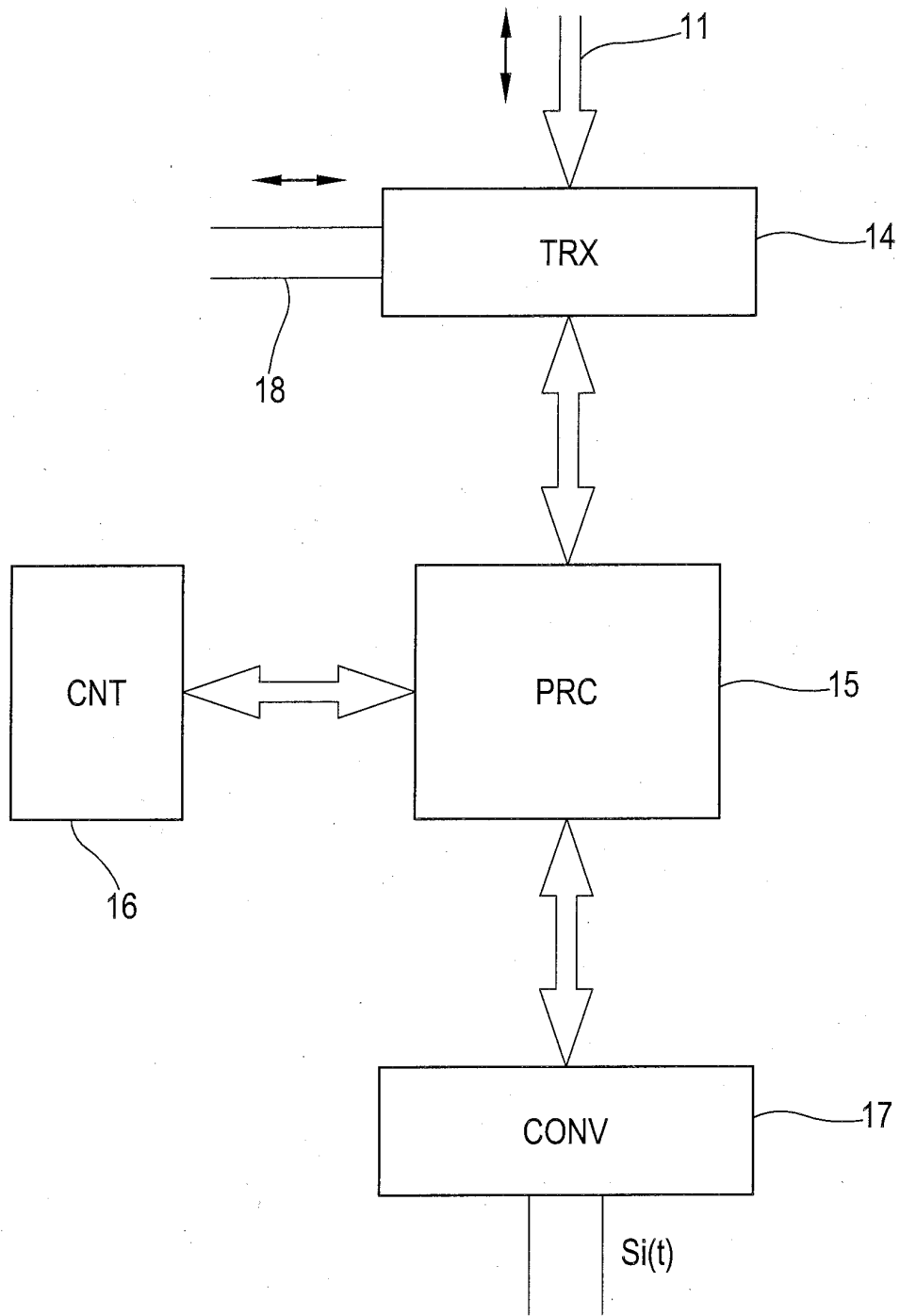
REIVINDICACIONES

1. Aparato (2) de medición de magnitudes eléctricas que comprende:
 - un módulo (7) de sincronización estructurado para generar una señal de sincronización (S1);
 - 5 – un primer aparato (8) de medición conectable a un circuito eléctrico (1) y configurado para medir al menos una magnitud eléctrica asociada con dicho circuito eléctrico, estando estructurado dicho primer aparato de medición para recibir la señal de sincronización (S1) y para proporcionar:
 - primeros coeficientes de una transformada de Fourier que representan una primera magnitud eléctrica (I(t)) asociada con dicho circuito eléctrico;
 - 10 – un primer valor de retardo ($\Delta 1$) que representa el desfase temporal entre un instante de medición (T_{sti}) asociado con la medida de la primera magnitud eléctrica y un instante de recepción (T_{rx}) de la señal de sincronización (S1) en el primer aparato (8) de medición;
 - un módulo (10) de procesamiento estructurado para procesar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier y el primer valor de retardo recibido de dicho primer aparato de medición y para proporcionar unos primeros coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal que representan una primera magnitud eléctrica medida sincronizada.
2. Aparato (2) según la reivindicación 1, estando estructurado dicho primer aparato (8) de medición para proporcionar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier como coeficientes complejos de una transformada rápida discreta de Fourier.
3. Aparato (2) según la reivindicación 2, estando estructurado dicho primer aparato (9) de medición para proporcionar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier como coeficientes complejos de una transformada rápida discreta de Fourier.
4. Aparato (2) según la reivindicación 2 en el que el módulo (10) de procesamiento está estructurado para aplicar a los primeros coeficientes de una transformada de Fourier un procesamiento de desplazamiento según el teorema de desplazamiento circular de la transformada discreta de Fourier para obtener los primeros coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal.
5. Aparato (2) de la reivindicación 4, siendo dicho primer aparato (8) de medición uno de los aparatos siguientes: aparato de medición de la corriente eléctrica, aparato de medición de la tensión eléctrica.
6. Aparato (2) según la reivindicación 5 que, además, comprende un segundo aparato (9) de medición conectado al circuito eléctrico (1) y perteneciente al siguiente grupo: aparato de medición de la corriente eléctrica, aparato de medición de la tensión eléctrica; estando configurado dicho segundo aparato (9) de medición para recibir dicha señal de sincronización (S1) y proporcionar segundos coeficientes de una transformada de Fourier que representan una segunda magnitud eléctrica (V(t)) asociada con dicho circuito eléctrico (1).
7. Aparato (2) según la reivindicación 6 en el que:
 - el segundo aparato (9) de medición está configurado para generar un segundo valor de retardo ($\Delta 2$) que representa un desfase temporal adicional entre un instante adicional de medición asociado con la medida de la segunda magnitud eléctrica (V(t)) y el instante de recepción de la señal de sincronización (S1) en el segundo aparato (9) de medición;
 - el módulo (10) de procesamiento está estructurado para procesar los segundos coeficientes de una transformada de Fourier y el segundo valor de retardo recibido de dicho segundo aparato de medición y para proporcionar segundos coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal que representan una segunda magnitud eléctrica medida sincronizada.
8. Aparato (2) según la reivindicación 6 o 7 en el que dicho módulo (10) de procesamiento está configurado para procesar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal y los segundos coeficientes de una transformada de Fourier o los segundos coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal para obtener una correspondiente potencia eléctrica medida.
9. Aparato (2) según la reivindicación 8 en el que el módulo (10) de procesamiento está configurado para procesar los primeros coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal y los segundos coeficientes de una transformada de Fourier o los segundos coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal para obtener una de las siguientes magnitudes: valor de la media cuadrática (RMS) de la corriente y de la tensión, potencia eléctrica aparente, potencia eléctrica reactiva.

10. Aparato (2) según la reivindicación 1, estando dotado dicho aparato de medición de:
- un módulo transceptor (14) adaptado para recibir dicha señal de sincronización (S1);
 - un módulo contador (16) adaptado para calcular el primer valor de retardo ($\Delta 1$);
 - un módulo (17) de conversión adaptado para proporcionar varios valores digitales que representan dicha primera magnitud eléctrica ($I(t)$) en un intervalo de medición; siendo dicho instante de medición (T_{sti}) un instante inicial en el que se ha muestreado un valor digital inicial de los varios valores digitales.
- 5
11. Aparato (2) según la reivindicación 1 en el que dicho instante de medición es un instante final en el que se ha muestreado un valor digital final de los varios valores digitales.
12. Aparato (2) según la reivindicación 1 en el que dicho módulo transceptor (14) está conectado al módulo (10) de procesamiento mediante un canal (18) de datos.
- 10
13. Aparato (2) según la reivindicación 12 en el que dicho módulo transceptor (14) está conectado al módulo (7) de sincronización por dicho canal (18) de datos.
14. Aparato (2) según la reivindicación 12 en el que dicho módulo transceptor (14) está conectado al módulo (7) de sincronización por un canal (11) de sincronización diferente de dicho canal (18) de datos.
- 15
15. Método (200) de medición de magnitudes eléctricas que comprende:
- conectar un aparato (8) de medición a un circuito eléctrico (1);
 - transmitir una señal de sincronización (S1) hacia el aparato (8) de medición;
 - recibir la señal de sincronización (S1) en el aparato (8) de medición;
 - medir mediante el aparato de medición una magnitud eléctrica ($I(t)$) asociada con dicho circuito eléctrico (1) y proporcionar los correspondientes coeficientes de la transformada de Fourier;
 - evaluar mediante el aparato de medición un valor de retardo ($\Delta 1$) que representa un desfase temporal entre un instante de medición (T_{sti}) asociado con la medida de la magnitud eléctrica y un instante de recepción (T_{rx}) de la señal de sincronización (S1) en el aparato (8) de medición;
 - recibir mediante un módulo (10) de procesamiento los coeficientes de la transformada de Fourier y el valor de retardo ($\Delta 1$);
 - procesar mediante el módulo de procesamiento los coeficientes de la transformada de Fourier y el valor de retardo ($\Delta 1$) y proporcionar mediante el módulo de procesamiento coeficientes de una transformada de Fourier con desfase temporal que representan una primera magnitud eléctrica medida sincronizada.
- 20
- 25
- 30

FIG.1





13

FIG.2

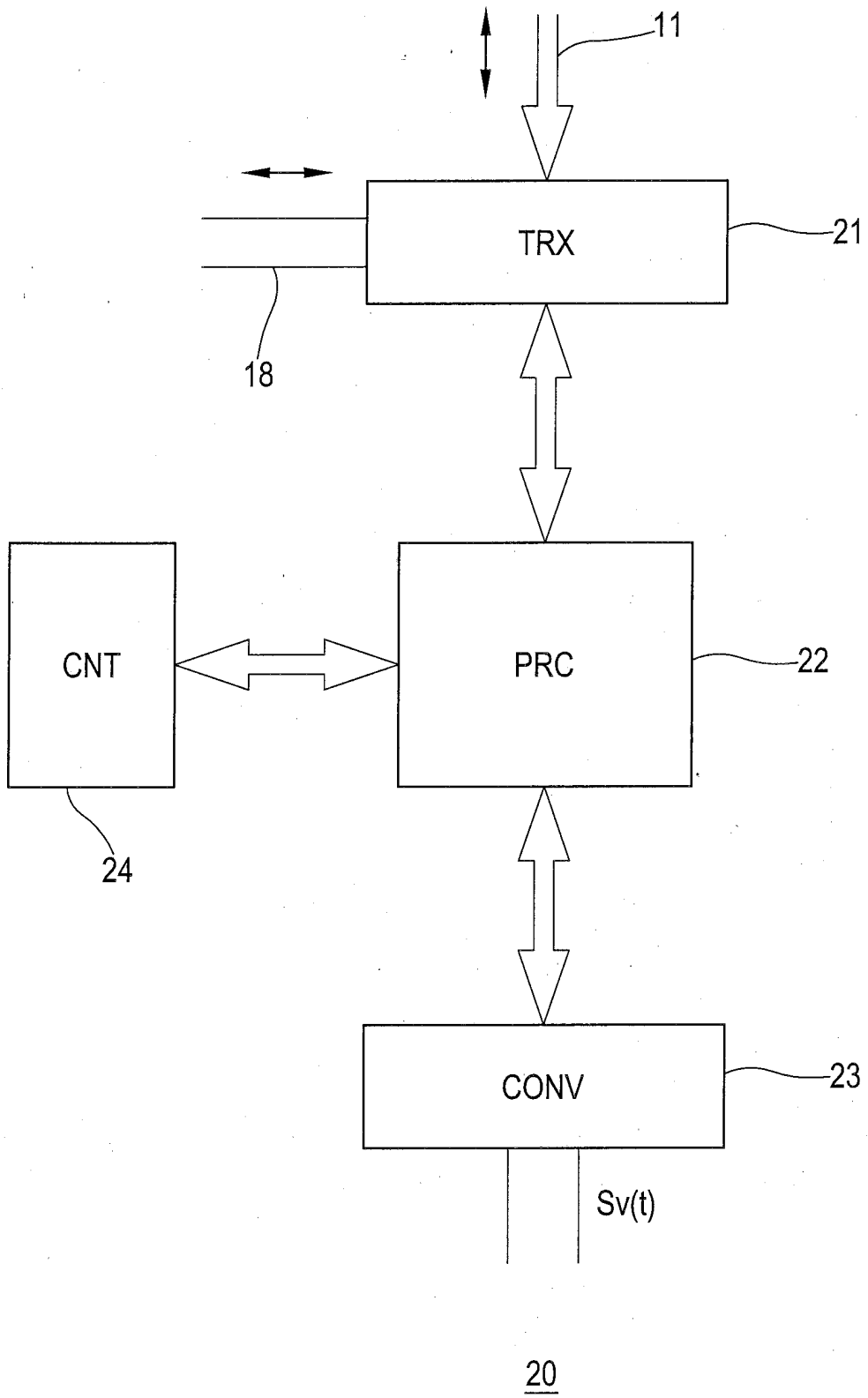


FIG.3

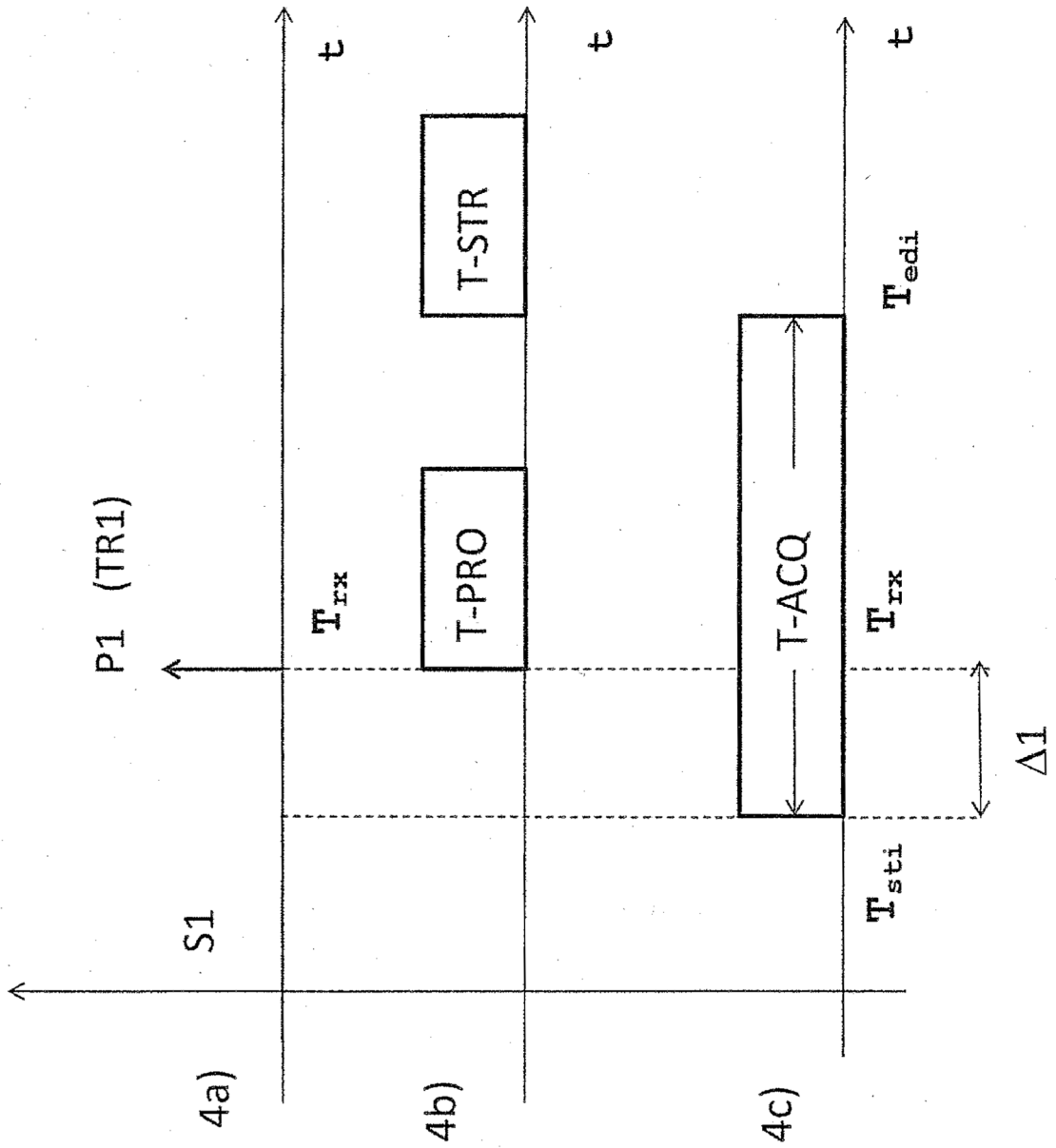


FIG.4

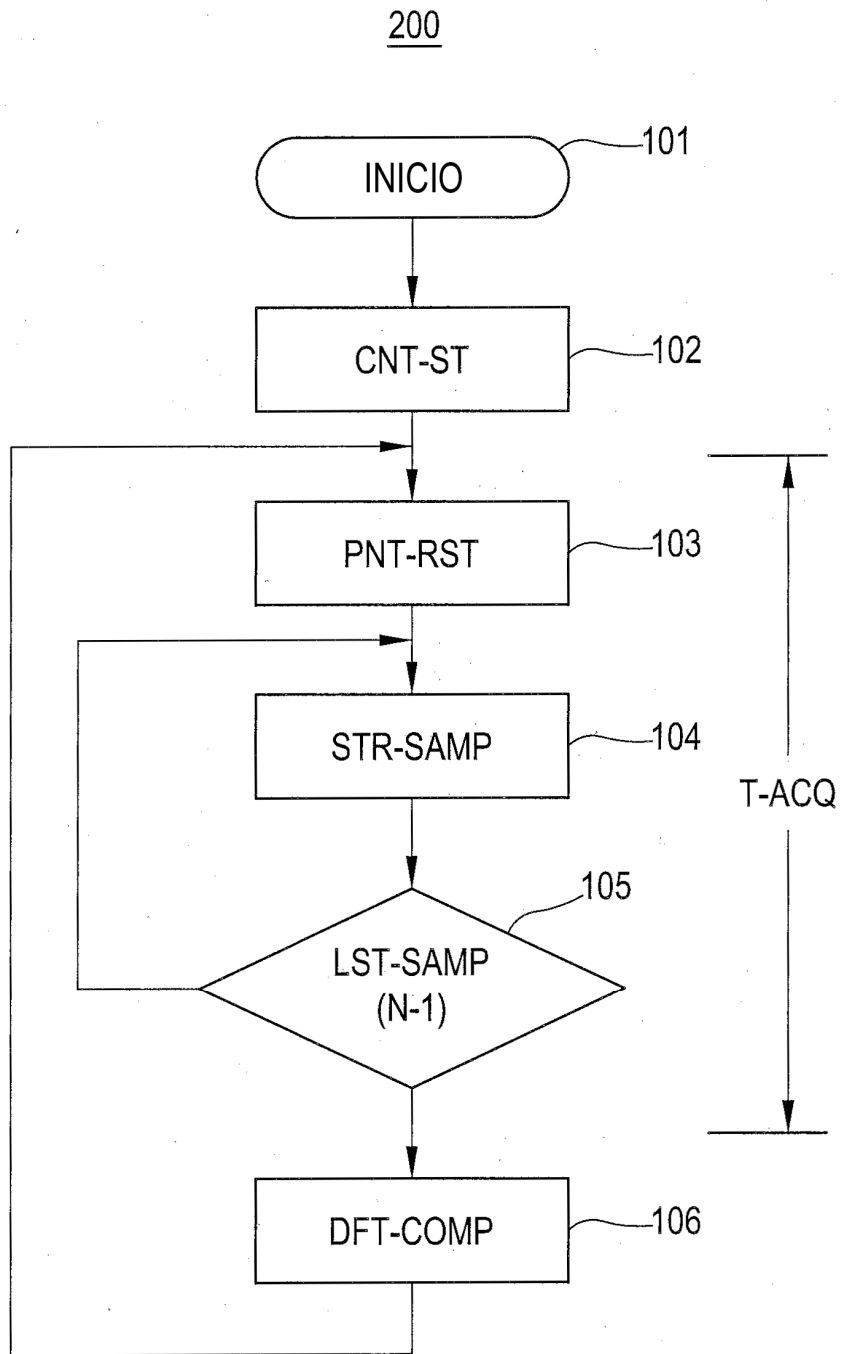


FIG.5