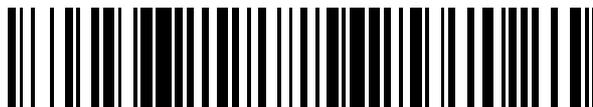


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 204**

21 Número de solicitud: 201700746

51 Int. Cl.:

G01R 19/165 (2006.01)
G01R 23/16 (2006.01)
G01R 29/00 (2006.01)
G01R 21/00 (2006.01)
G01R 21/06 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

30.10.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.04.2019

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

21.07.2020

Fecha de concesión:

30.12.2020

45 Fecha de publicación de la concesión:

11.01.2021

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ (100.0%)
C/ Ancha, 16
11001 Cádiz (Cádiz) ES

72 Inventor/es:

AGÜERA PÉREZ, Agustín;
GONZÁLEZ DE LA ROSA, Juan José;
FLORENCIAS OLIVEROS, Olivia;
PALOMARES SALAS, José Carlos;
ESPINOSA GAVIRA, Manuel Jesús;
JIMÉNEZ PRO, Álvaro y
SIERRA FERNÁNDEZ, José María

54 Título: **Procedimiento y sistema de análisis de calidad de la energía e índice de calidad 2S2PQ, caracterización de la señal en un punto del suministro eléctrico**

57 Resumen:

Procedimiento y sistema de análisis de la calidad de la energía e índice de calidad 2S2PQ para la caracterización de la señal en un punto del suministro eléctrico. El procedimiento comprende: adquirir una señal de tensión $u(t)$, obtener una señal preprocesada $u_e(t)$ adaptable al procesador, procesar la señal para obtener una serie de rasgos estadísticos S_1, S_2, \dots, S_N característicos de ella, almacenar dichos rasgos, representar gráficamente las frecuencias relativas de dichos rasgos asociadas a una ventana temporal de análisis Δt seleccionada por el usuario, computar el índice 2S2PQ de calidad del suministro eléctrico. La invención también comprende un sistema para la caracterización estadística en un punto de suministro e índice de calidad, así como un programa informático que incorpora código adaptado para realizar las etapas del procedimiento, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador o cualquier otra forma de hardware programable.

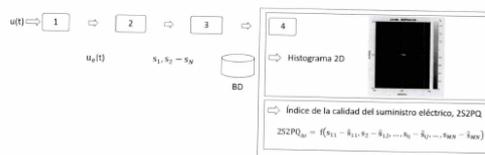


Fig. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 711 204 B2

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de análisis de calidad de la energía e índice de calidad 2S2PQ, caracterización de la señal en un punto del suministro eléctrico

5

Sector de la técnica

De acuerdo a sus características, esta invención se sitúa en el campo de investigación de la Metrología Industrial e Instrumentación, y de modo más específico en el campo de la instrumentación inteligente aplicada a los Analizadores de Calidad de la Energía (Power Quality, PQ), que constituyen actualmente una herramienta en pleno desarrollo en el contexto de la red eléctrica inteligente (Smart Grid).

10

Estado de la técnica

15

En este apartado se recogen los objetivos de los equipos de instrumentación actuales en el ámbito de la monitorización de la energía, los índices de calidad de la energía que implementan los equipos actuales, y las patentes relativas a métodos de medida asociados a calidad de la energía más cercana al objeto de la invención propuesta.

20

1.- Objetivos de los equipos de instrumentación actuales en la monitorización de la energía.

Con la inclusión de los sistemas de generación distribuida, surgen tipos no convencionales de carga y almacenamiento (por ejemplo, vehículos eléctricos) y las microrredes (microgrids), de modo que es necesario proponer nuevos índices que tengan en cuenta la energía que es entregada al usuario final y su comportamiento en la red. En el nuevo contexto de investigación en la Smart Grid, están surgiendo propuestas de procedimientos de monitorización que buscan optimizar los índices de calidad. Sin embargo, muchos de estos métodos no han sido validados en condiciones operativas reales sino que han sido validados en base a simulaciones numéricas.

25

30

La modernización de la red eléctrica está suponiendo la integración de dispositivos electrónicos inteligentes, los cuales permiten integrar soluciones para los medidores de energía cada vez más asequibles, tal como exponen Apparatus, E., 2008. *The key role of Intelligent Electronic Devices (IED) in Advanced Distribution Automation (ADA)*. In *CICED2008. Technical Session 3. Protection, control, communication and automation of distribution network*, pp. 1- 7).

35

Sin embargo, la monitorización de la red cuenta aún con un gran número de desafíos, asociados principalmente a la necesaria gestión de un creciente número de sitios de monitorización, y la adecuada gestión del gran volumen de datos que ello conlleva, así como el hecho de que los nuevos dispositivos electrónicos utilizados en instalaciones eléctricas son más sensibles a pequeños problemas de calidad de la energía y a variaciones de las condiciones del suministro, según Bollen, M.H.J. et al., 2010. *Trends, challenges and opportunities in power quality research. European Transactions on Electrical Power*, 20(1), pp.3-18. 2010.

40

45

En este sentido, durante las últimas dos décadas se viene observando un marcado interés por parte de la comunidad científica en alcanzar un consenso sobre el desarrollo de estos nuevos índices de calidad y los procedimientos que deben incorporarse en la instrumentación de medida de la red eléctrica (CIRED/CIGRE *working group C4.112 "Guidelines for power quality monitoring"*).

50

En este contexto, el nivel de calidad de la red depende del precio que los clientes estén dispuestos a asumir, siendo necesario cuantificar el estado de la red en condiciones normales,

de buena calidad, así como en condiciones críticas. Debido a ello surgen nuevos índices de calidad de la energía asociados a estándares, que en su mayoría se aplican con fines contractuales para exigir el cumplimiento del sistema de acuerdo a la buena calidad de la energía. Las normas EN 50160, UNE-EN 50160 y IEC 61000-3-6 son relativas a las características que debe cumplir la tensión suministrada por las redes generales de distribución, y la evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones distorsionadoras a sistemas de potencia MV, HV y EHV.

Es conocido que existen fenómenos que originan perturbaciones electromagnéticas clasificadas por la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC), que condicionan el comportamiento de determinadas redes. La variación de tensión originada por dichos eventos, se cuantifica de dos maneras diferentes: a través de índices descriptivos, y mediante índices de fiabilidad. Los primeros se utilizan para eventos de calidad de energía que tienen una naturaleza notoriamente aleatoria, pueden variar en el tiempo y son altamente dependientes de la topología del sistema; no se pueden limitar y sólo se dan cifras aproximadas después de su ocurrencia. Las variables más comúnmente monitorizadas son la frecuencia, la tensión RMS (siglas en inglés Root Mean Square o Raíz Cuadrática Media), los desequilibrios entre fases, los armónicos de tensión y de corriente, los huecos de tensión (sags) y las sobretensiones (swells).

En segundo lugar, se recomiendan prácticas tales como las del *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009 IEEE - Recommended Practices, así como por organismos como CENELEC y CIGRED, donde proponen la medida de parámetros de corriente así como de corriente-tensión en base a índices de fiabilidad (Reliability Indices). Los índices de fiabilidad, permiten al operador de la red, computar el número de interrupciones, la suma de la duración de todas ellas y la duración media de todas las interrupciones durante un año. Todos los registros se calculan a través de los índices SAIFI, SAIDI, CAIDI que cuantifican el rendimiento de la energía del sistema para todos los clientes. Por ejemplo a nivel industrial, las empresas eléctricas suelen informar sobre índices como el de Frecuencia de Variación RMS Promedio del Sistema (SARFI), que es esencialmente un recuento del número de veces que la magnitud y la duración caen por debajo de un umbral predeterminado.

No obstante, los índices de fiabilidad no son representativos de las perturbaciones que sufren directamente los usuarios finales del sistema. A nivel consumidor se establecen índices descriptivos, que se miden en un punto de conexión específico de un sistema de transmisión o distribución; los niveles medidos están influenciados por perturbaciones procedentes de todas las demás partes del sistema interconectado. En este sentido, los valores estadísticos dependen principalmente del comportamiento de la red durante un tiempo, reflejando la situación en un sitio dado o en un sistema como un todo. Se proponen así: índices descriptivos de sitios e índices descriptivos del sistema.

De este modo se calculan los percentiles diarios y semanales en intervalos de 3 ó 10 minutos, sin necesariamente almacenar cantidades inmanejables de datos brutos, así como en lecturas semanales y anuales. Por ejemplo: en el caso de los huecos de tensión, los índices del sitio se utilizan para la evaluación de la compatibilidad entre el equipo sensible y la fuente de alimentación, y se pueden utilizar como ayuda para la elección de un método de mitigación de la caída de tensión, ofreciendo información a los clientes locales sobre las caídas de tensión en un sitio durante un cierto período de tiempo (seguimiento de 3-5 años incorporando variaciones interanuales, según el *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2014. IEEE Std 1564 - *Guide for Voltage Sag Indices*).

Los índices del sitio pueden presentarse de diferentes maneras: en una tabla de tensión, en un gráfico de contornos, como el número de eventos más severos en una cierta curva (curva ITIC o la curva SEMI F47) o por debajo de una determinada tensión residual cuando ocurren

eventos tipo sag la gravedad es calculada a partir de la tensión residual (desde 90-10%) y la duración de la caída de tensión en combinación con la curva de referencia, tal como expresan Gallo, D., Landi, C. & Luiso, M., 2009. *Accuracy Analysis of Voltage Dip Measurement. XIX IMEKO World Congress, Portugal, pp.743-748.*

5 El índice del sistema es el valor del índice del sitio no excedido para un alto porcentaje de sitios. Los porcentajes se definen para cada índice y parámetro individual. Ejemplos de sitios de alto percentil son 90, 95 y 99% (IEEE 2009).

10 No obstante, la información que obtienen los consumidores no contempla mediciones de la calidad del suministro, ya que actualmente estos índices sólo pueden ser usados para detectar niveles típicos de la perturbaciones, y a lo es el operador de red quien puede disponer de ellos.

15 2. - índices de calidad de la energía que implementan los equipos actuales y optimización de los métodos e índices existentes.

20 La norma UNE-EN 6100-4-30: 2015 sobre técnicas de ensayo y medición, establece métodos de medición de la calidad de la energía para diferentes tipos de instrumentos, principalmente de clase A. Incluye un grupo de parámetros a calcular con especificación del rendimiento, tales como: frecuencia, valor RMS, parpadeo, interrupciones de tensión, sobretensiones, descompensación de fases, armónicos de tensión y corriente, así como inter-armónicos. Los analizadores de red que se encuentran actualmente en el mercado miden la energía en función de estos valores, de acuerdo a las características y tipos de distorsiones típicamente detectadas en las redes de distribución. La monitorización mediante estos procedimientos e

25 índices, busca clasificar la calidad de la energía para fines contractuales, dando como resultado de la lectura del instrumento un porcentaje de adecuación a los parámetros medidos en los estándares, como método para verificar el estado del sistema. No obstante, estos datos contienen una gran cantidad de información potencialmente valiosa sobre el comportamiento de la calidad del suministro eléctrico, que no son tratados ni almacenados.

30 A continuación, se exponen los procedimientos relacionados con la actual invención, todos basados en la FFT (Transformada Rápida de Fourier, Fast Fourier Transform).

35 El primero determina la respuesta de las cargas del sistema a caídas de tensión, en base a los valores máximos de corriente de un tipo de evento Molnar-Matei, F., Moga, M. & Iovan, M., 2011. *Procedure for determining the response of the system load to voltage sags. 2011 IEEE EUROCON - International Conference on Computer as a Tool, (April), pp. 1-4.* En este caso se gana en la detección de máximos, pero se pierde información.

40 Cheng et al. (Cheng et al 8th Conference on Industrial Electronics and Applications, 2011) proponen un método de alta resolución con el fin de extraer los componentes de parpadeo que conforman la señal. Este es un método robusto, sin embargo requiere de una alta computación matemática.

45 Los métodos de estimación del espectro de alta resolución, MUSIC y ESPRIT que proponen Leonowicz, Z & Lobos, T., 2006. *Power Quality Evaluation using Advanced Spectrum Estimation Methods. 2006 International Conference on Power System Technology, (April), pp. 1-6.* Como alternativa a los basados en el análisis de Fourier tradicional, pueden mejorar la precisión de parámetros espectrales de señales de potencia distorsionadas.

50 Otro método espectral antecedente, es el desarrollado por Meyer, J. & Schegner, P., 2006. *Characterization of power quality in low voltage networks based on modeling by mixture distributions. 2006 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, (January 2015), pp. 1-6.* Está enfocado a la clasificación y detección anomalías, a

partir del estudio de los armónicos de corriente en varias redes conectadas a un mismo operador del sistema. A partir de la evolución de estas intensidades se establecen criterios cualitativos para el análisis del comportamiento de la red. El método demuestra ser escalable ya que es capaz de analizar características del suministro tanto en redes domésticas, como en
 5 redes industriales. Realiza un estudio focalizado en el punto de entrega del consumidor, y a lo largo de un intervalo temporal predefinido.

Además, Bucci, G., Fiorucci, E. & Landi, C., 2003. *Digital measurement equipment for steady-state PQ measurements. 2003 IEEE Bologna PowerTech - Conference Proceedings, 4*,
 10 desarrollan equipos para mediciones de PQ en estado estacionario, en base a un algoritmo para la medición de V_{RMS} y $V_{THD\%}$ basado en la técnica de ventana deslizante. Sus resultados se han obtenido a partir de simulaciones y pruebas experimentales.

Con respecto a los estadísticos de orden superior (Higher-Order Statistics, HOS) y su uso en la
 15 detección de perturbaciones en las señales de tensión para el análisis de la calidad de la energía, destacan los estudios realizados por Ribeiro, M V. et al., 2007. *Detection of disturbances in voltage signals for power quality analysis using HOS. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2007*, donde se demuestra que el análisis en base a HOS, con respecto a otros métodos antes mencionados, requiere menor computación, lográndose una
 20 buena resolución temporal de análisis por debajo de un ciclo, así como detectar parámetros estables durante todo el tiempo de computación.

Los HOS también tienen la particularidad de permanecer constantes a lo largo del tiempo para una señal sin perturbar, tal como se demuestra en Agüera-Pérez et al. 2011. *Characterization of electrical sags and swells using higher-order statistical estimators, Measurement, 44*,
 25 *pp.1453-1460*. Esta particularidad es aprovechable por el instrumento que incorpora esta invención. Cabe apuntar que la presente invención aborda el estudio estadístico de la señal con un método aplicable a cualquier tipo de red (LV, MV, HV) y con una resolución capaz de detectar no sólo eventos, sino también el estado de la red en un intervalo de tiempo predefinido por el usuario, así como computar índices de sitio e índices de sistema, alineado todo ello a la
 30 normativa y el estado del arte en la materia.

En relación a las técnicas de inteligencia artificial, el primer antecedente alineado con la
 35 presente invención consiste en un índice de calidad de energía total para redes eléctricas utilizando redes neuronales: Raptis, T E. et al., 2015. *Total Power Quality Index for Electrical Networks Using Neural Networks. Energy Procedia, 74*, *pp.1499-1507*, que incorpora diferentes escalas de tiempo. El segundo método seleccionado ha sido desarrollado por Monedero, et al., 2005. *Classification of Electrical Disturbances in Real Time Using Neural Networks. IEEE Transactions on Power Delivery, 23(11)*, *pp.1-7*, que clasifica las perturbaciones eléctricas en tiempo real (en base a los índices estandarizados) utilizando redes neuronales. Se ha desarrollado un generador de patrones eléctricos como herramienta de entrenamiento. El sistema se integra en una herramienta de software para un PC con hardware conectado para la adquisición. Basado en señales sintéticas, este trabajo propone una metodología que tiene en
 40 cuenta el comportamiento de la red, sin embargo no es capaz de computar adecuadamente los índices, de acuerdo a una misma escala de tiempo.

3.- Patentes relativas a métodos de medida asociados a calidad de la energía

En la invención "Fundamental frequency stability and harmonic analysis" (US 2015/0355249
 50 A1), se desarrolla el método, aparato y soporte informático para medir la frecuencia de una señal eléctrica, a través de una ventana de muestreo principal que permite detectar el nivel armónico que contiene la señal. Se estima la precisión de la frecuencia fundamental a través de un grupo de subventanas de la ventana principal, comparando la frecuencia fundamental estimada de cada ventana.

Otro instrumento y técnicas para la monitorización no intrusiva de la red se explícita en la patente internacional WO 2017/066658 A1, que realiza la detección de parámetros físicos tales como campos eléctricos y/o magnéticos para monitorizar y/o controlar descargas eléctricas, permitiendo monitorizar el consumo de electricidad en hogares o negocios.

5 Para la detección armónica en tiempo real de sistemas de energía eléctrica, basado en el método de determinación de peso directo, la patente CN103383413 (A), propone una estructura de red de función sinusoidal neutra. Con este método se evitan los entrenamientos de redes redundantes en métodos de detección de armónicos tradicionales; los pesos de red
10 que contienen amplitudes armónicas e información de fase se obtienen mediante cálculo de un solo paso, resultando en una alta eficiencia de detección.

Otro método de análisis en el dominio del tiempo para la detección de componentes armónicos en una onda sinusoidal (de tensión y corriente) distorsionada que propone reducir la capacidad del cálculo de un procesador para asegurar la capacidad de almacenamiento es propuesto en
15 la patente KR20100049412 (A). La distorsión de la onda se estima en base a un valor ponderado. Las ondas distorsionadas de la tensión y de corriente estimadas se comparan con la forma de señal de entrada. Se realiza una extracción armónica usando una ecuación de relación.

20 Las patentes mencionadas con anterioridad ponen de manifiesto que es frecuente que los fabricantes desarrollen herramientas con escalabilidad temporal insuficiente. De igual modo, hay una falta de conocimiento y de acuerdo sobre una serie de aspectos del proceso de monitorización, y en particular sobre el procesamiento de los datos.

25 Un método más conveniente de verificación del rendimiento de los clientes (a través de los índices de sitios), consiste en medir los parámetros de calidad de la energía en paralelo con los contadores inteligentes de energía, reduciendo costes en la instalación *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2009. IEEE - Recommended Practices.

30 En ese sentido, están surgiendo novedosas propuestas que consisten en incorporar nuevas funcionalidades y procedimientos de medición de calidad de la energía en medidores inteligentes, con el fin de garantizar un mapeo del sistema en base a una representación más intuitiva de los estadísticos e índices ampliamente aceptados, según Meyer, J., Klatt, M & Schegner, P., 2011 en: *Power quality challenges in future distribution networks. 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1-6.

35 Precisamente en ese grupo de propuestas se enmarca la presente invención, como un nuevo procedimiento y sistema basado en la obtención de representaciones gráficas del comportamiento estadístico de la señal, acompañadas de un índice de calidad escalable en el tiempo, de modo que dicho sistema sea más intuitivo para los usuarios y fácilmente incorporable en la nueva instrumentación inteligente para acometer la monitorización en línea.

45 Explicación de la invención

La presente invención persigue resolver los inconvenientes planteados anteriormente mediante un método de caracterización de la señal del suministro donde concretamente se obtienen los datos de la señal eléctrica $u(t)$, de acuerdo a las características del punto de la red bajo test. Dicha señal se preprocesa en el dominio del tiempo, dando como resultado un vector $u_e(t)$
50 adaptado a las condiciones de procesamiento. Posteriormente se calculan una serie de rasgos estadísticos S_1, S_2, \dots, S_N característicos del vector $u_e(t)$. Los estadísticos son almacenados en una base de datos (data base). A continuación, se realizan las representaciones gráficas donde se muestran las frecuencias relativas de los estadísticos durante el intervalo de tiempo

seleccionado. En base a estos rasgos estadísticos se formula un índice de calidad representativo del intervalo de tiempo seleccionado.

5 En una posible realización, el preprocesado de la señal $u(t)$ comprende la adaptación de la señal en función de los valores nominales de la señal de suministro.

10 En una posible realización, el procedimiento comprende el cálculo de N estadísticos S_1, S_2, \dots, S_N , para caracterizar un determinado periodo T de muestreo de la señal (de aquí en adelante este conjunto de valores serán denominados N -upla). Estos estadísticos cumplen que, para una señal nominal (o sana) preprocesada, toman un valor conocido y fijo (\hat{S}_j valor nominal). Así, $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_N$ será la N -upla nominal asociada a una señal sana.

15 En una posible realización, el procedimiento comprende el cálculo de los estadísticos anteriores para M periodos de muestreo de la señal, tales que abarquen un intervalo de tiempo Δt , siendo $\Delta t = M \cdot T$. Se obtienen así un número M de N -uplas, que conforman un conjunto de estadísticos denotados por $\{S_{ij}\}$ donde $i = 1, \dots, M$ y $j = 1, \dots, N$

20 En una posible realización, el procedimiento comprende la representación de las frecuencias relativas de las N -uplas asociadas a un determinado intervalo de tiempo seleccionado y correspondiente cálculo del índice 2S2PQ que se detalla más abajo.

En una posible realización, la representación de frecuencias relativas comprende, el empleo de histogramas de una o más dimensiones.

25 En una posible realización, el índice de calidad de suministro eléctrico comprende el cálculo de las desviaciones de los estadísticos respecto a sus valores nominales. (Statistical Signal Processing Power Quality Index, 2S2PQ). Siguiendo la expresión:

$$30 \quad 2S2PQ_{\Delta t} = f(S_{11} - \hat{S}_{11}, S_{12} - \hat{S}_{12}, \dots, S_{ij} - \hat{S}_{ij}, \dots, S_{MN} - \hat{S}_{MN}),$$

35 donde Δt se corresponde con el intervalo de tiempo seleccionado, $S_{11}, S_{12}, \dots, S_{MN}$, son los estadísticos asociados a la señal bajo test; $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_N$ representan los estadísticos nominales que corresponderían a una señal sana; y 2S2PQ el índice de calidad asociado al i -ésimo período de computación de la señal bajo test.

40 En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para la caracterización estadística en un punto de suministro e índice de calidad, que comprende: medios para muestrear y preprocesar la señal de suministro eléctrico $u(t)$, medios para procesar la señal $u_e(t)$, medios para determinar los estadísticos $S_{11}, S_{12}, \dots, S_{MN}$, medios de almacenamiento para la creación de un registro de la señal bajo test, medios para que el usuario consigne (un intervalo temporal asociado a la representación de frecuencias y al índice 2S2PQ, umbrales críticos), medios para la representación gráfica de las frecuencias relativas de los estadísticos de acuerdo a uno o varios intervalos temporales y el empleo de histogramas de una o más dimensiones, medios para la computación del índice 2S2PQ, medios para que el proceso pueda ejecutarse de manera continua si el usuario así lo decide, medios para la comunicación de alarmas al usuario.

50 En otro aspecto de la invención, se proporciona un programa informático que comprende medios de código adaptados para realizar las etapas del procedimiento de caracterización de la señal de suministro eléctrico e índice de calidad 2S2PQ, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador o cualquier otra forma de hardware programable.

Finalmente, proporcionan múltiples usos para esta invención de acuerdo a las aplicaciones industriales que le son de aplicación en este sector.

Breve descripción de las figuras

5

Fig. 1. Se expone el procedimiento de medida del instrumento: Se enumeran los pasos mediante los cuales el procedimiento debe ser aplicado por un instrumento convencional. Comprende las diferentes etapas del análisis para la obtención de las características de la señal de suministro eléctrica, en un punto de la red: 1. Adquisición y Preprocesado de la señal,

10

Fig. 2. Histograma 2D: Posible representación de frecuencias y cálculo de 2S2PQ para el análisis en un punto de la red en base a las siguientes condiciones: $\Delta t = 24$ h, considerando dos estadísticos (kurtosis y varianza) que en una señal sin distorsión deberían obtener los valores $\hat{S}_1 = 1,5$ y $\hat{S}_2 = 0,5$, respectivamente. Así el punto de corte de los ejes en las coordenadas (0,5, 1,5) establece el punto de operación nominal.

15

Fig. 3. Histograma 2D: Para comparación con Fig.2, otra posible representación de frecuencias y cálculo de 2S2PQ para el análisis en un punto de la red en base a las siguientes condiciones: $\Delta t = 24$ h, considerando dos estadísticos (kurtosis y varianza) que en una señal sin distorsión deberían obtener los valores $\hat{S}_1 = 1,5$ y $\hat{S}_2 = 0,5$ respectivamente. Así el punto de corte de los ejes en las coordenadas (0,5, 1,5) establece el punto de operación nominal.

20

Fig. 4 Histograma 2D: Cambiando la escala temporal respecto a Fig. 2 y Fig. 3, otra posible representación de frecuencias y cálculo de 2S2PQ para el análisis en un punto de la red en base a las siguientes condiciones: $\Delta t = 2$ h, considerando dos estadísticos (kurtosis y varianza) que en una señal sin distorsión deberían obtener los valores $\hat{S}_1 = 1,5$ y $\hat{S}_2 = 0,5$ respectivamente. Así el punto de corte de los ejes en las coordenadas (0,5, 1,5) establece el punto de operación nominal.

25

30

Fig. 5. Histograma 2D: Para comparación con Fig 4, otra posible representación de frecuencias y cálculo de 2S2PQ para el análisis en un punto de la red en base a las siguientes condiciones: $\Delta t = 2$ h, considerando dos estadísticos (kurtosis y varianza) que en una señal sin distorsión deberían obtener los valores $\hat{S}_1 = 1,5$ y $\hat{S}_2 = 0,5$ respectivamente. Así el punto de corte de los ejes en las coordenadas (0,5, 1,5) establece el punto de operación nominal.

35

Fig. 6. Histograma 2D: Cambiando de nuevo la escala temporal al orden de los segundos, otra posible representación de frecuencias y cálculo de 2S2PQ para el análisis en un punto de la red en base a las siguientes condiciones: $\Delta t = 2$ s, considerando dos estadísticos (kurtosis y varianza) que en una señal sana deberían obtener los valores $\hat{S}_1 = 1,5$ y $\hat{S}_2 = 0,5$ respectivamente. Así el punto de corte de los ejes en las coordenadas (0,5, 1,5) establece el punto de operación nominal.

40

45 Modo de realización de la invención

La presente invención caracteriza el suministro de la red en un punto de entrega concreto. El método propuesto abre un abanico de posibilidades en lo que atañe al estudio a diferentes escalas temporales y rangos de tensión (LV-MV-HV).

50

Las siguientes realizaciones referidas se proporcionan a modo de ejemplos, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención.

5 Se propone un procedimiento que incrementa la flexibilidad del sistema de monitorización, dando respuesta a varias problemáticas esenciales de la medida de la calidad de la energía. El procedimiento, permite que el equipamiento trabaje bajo el concepto de escalabilidad, monitorizando distintos puntos de la red con el mismo método, así como habilitando el análisis en diferentes escalas temporales y mediciones en diferentes tipos de redes y puntos de la misma.

10 El procedimiento ofrece una caracterización de la señal del suministro eléctrico en un intervalo de tiempo seleccionado, que refleja si los estadísticos de la señal han experimentado variaciones significativas, transitorias o constantes con respecto a su rango nominal. Asimismo, se propone un nuevo índice de calidad del suministro eléctrico que aglutina en un valor numérico la información de los estadísticos representados, y que se computa en función del intervalo de tiempo seleccionado.

15 El desarrollo del procedimiento comprende varias etapas. La figura 1 muestra un esquema del método de la invención donde se ilustran las diferentes etapas que deben realizarse de modo consecutivo:

20 1.- Etapa 1. Adquisición y preprocesado de la señal

1.1.- Se obtienen los datos de la señal eléctrica $u(t)$, de acuerdo a las características del punto de la red bajo test.

25 1.2.- Posteriormente, se preprocesa la señal en el dominio del tiempo, dando como resultado un vector $u_e(t)$. Se define la zona de operación nominal de la red que queda determinada por un conjunto de estadísticos concretos: $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_N$ o N -upla nominal.

2.- Etapa 2. Procesado de la señal

30 La señal $u_e(t)$, se ventanea con el fin de trocearla en un número de M períodos de computación. Se calculan las M N -uplas que caracterizarán la señal $u_e(t)$, obteniéndose el conjunto de estadísticos $\{S_{ij}\}$, donde $i = 1, \dots, M$ (índice relativo al periodo) y $j = 1, \dots, N$ (índice relativo al estadístico considerado).

35 A continuación se obtiene la desviación de cada estadístico S_{ij} respecto al valor nominal de dicho estadístico \hat{S}_j asociado a la zona de operación nominal de la red: $S_{ij} - \hat{S}_j$. Esto permite definir índices en función de las desviaciones observadas en la señal de tensión sobre sus valores nominales.

40 3.- Etapa 3. Almacenamiento de los datos

Los datos son volcados en tiempo real en un registro que contiene la información asociada al punto de suministro bajo test.

45 4.- Etapa 4. Representación gráfica y computación del índice 2S2PQ.

El análisis se define de acuerdo al intervalo de tiempo preseleccionado por el usuario. Del mismo modo el análisis puede actualizarse conforme nuevos datos se incorporan al registro.

50 En cuanto a las representaciones gráficas, los histogramas caracterizan el comportamiento estadístico de la señal describiendo las frecuencias relativas de las N -uplas asociadas al tiempo de medida predefinido Δt , ofreciendo un resumen gráfico del estado de la red durante él. Las representaciones muestran la dispersión de los estadísticos respecto a la zona de operación nominal de la red. Las figuras de 2 a 6 se conciben como ejemplos considerando dos

estadísticos en el análisis: varianza y kurtosis. Así, una señal nominal preprocesada según este ejemplo arroja valores de 0,5 para la varianza y 1,5 para la kurtosis (Agüera-Pérez et al. 2011; *Characterization of electrical sags and swells using higher-order statistical estimators, Measurement, 44, pp.1453- 1460*). La 2-upla nominal queda definida por los valores (0,5, 1,5).

5 En estas condiciones, las figuras 2-6 presentan histogramas 2D para las 2-uplas correspondientes a diferentes intervalos de tiempo. Los ejes blancos sobre la figura con punto de corte en (0,5, 1,5) marcan la zona de operación nominal; esto es, una señal perfecta durante el intervalo estudiado arrojaría como resultado una frecuencia del 100% sobre dicho punto. Cualquier desviación sobre la señal perfecta hace que los estadísticos computados (y por tanto
10 las 2- uplas) varíen, apareciendo nuevas frecuencias sobre otras coordenadas de la gráfica en función de las características de la perturbación.

A continuación se calcula el índice 2S2PQ asociado a cada tiempo de medida predefinido Δt . Este índice numérico sintetiza las desviaciones observadas en los estadísticos respecto de sus
15 valores nominales. Así, una señal perfecta durante todo el intervalo seleccionado viene caracterizada por un valor del índice 2S2PQ fijo, dado que todas las diferencias son nulas. Del mismo modo cualquier desviación sobre la señal perfecta desencadena cambios sobre los valores nominales y por tanto el índice 2S2PQ adquirirá otros valores.

20 En consecuencia, en base a los estadísticos asociados al intervalo de tiempo predefinido, se formula el índice 2S2PQ para la calidad de la energía en ese punto de la red eléctrica de acuerdo a la expresión:

$$2S2PQ_{\Delta t} = f(S_{11} - \hat{S}_{11}, S_2 - \hat{S}_{12}, \dots, S_{ij} - \hat{S}_{ij}, \dots, S_{MN} - \hat{S}_{MN}),$$

25 Donde:

Δt = intervalo de tiempo seleccionado.

30 S_{ij} = estadístico j-ésimo correspondiente al período i-ésimo.

\hat{S}_j = estadístico nominal j-ésimo.

35 M = número de períodos considerados en el intervalo Δt .

N = número de estadísticos empleados para la caracterización de la señal.

El índice se calcula en función del número de períodos M de la señal contenidos en el intervalo Δt . Del mismo modo, la representación en histogramas se hace mediante frecuencias relativas.
40 Así, los resultados obtenidos son independientes de la duración del intervalo Δt considerado, permitiendo la comparación de diferentes escalas temporales en un mismo contexto. Sin embargo, cuando Δt es pequeño (es decir, el análisis se basa en pocas N -uplas), desviaciones puntuales influyen decisivamente tanto en la representación gráfica como en la computación del índice, permitiendo una caracterización de eventos transitorios. Cuando Δt crece, los
45 fenómenos puntuales quedan enmascarados, explicitando el comportamiento a largo a plazo de la señal. Seleccionando diferentes Δt es posible comparar, en un mismo marco cualitativo y cuantitativo, el comportamiento de la señal a diferentes escalas temporales.

50 Para una mejor explicación de la invención, a continuación se analizan las figuras que se exponen a modo de ejemplos, donde mediante histogramas 2D se representan las frecuencias relativas de las 2-uplas, definidas por varianza y kurtosis.

La figura 2 representa la tendencia del comportamiento estadístico de la señal a lo largo de una jornada de 24 h en un punto de la red. El punto de operación corresponde a los estadísticos

nominales (punto de intersección de los ejes coordenados). El índice 2S2PQ se ha definido para este ejemplo como el promedio de desviaciones en valor absoluto, y arroja un valor de 0,019.

5 Las figuras 2 y 3 se realizan en el mismo intervalo de 24 h, en dos días significativamente distintos según se describe a continuación. Si bien poseen un mismo valor del índice 2S2PQ (0,019), la representación gráfica demuestra que el comportamiento es cualitativamente distinto. En la figura 2 se observa que muchas de las mediciones caen en la zona nominal, aunque una cantidad importante de ellas se ha dispersado a la izquierda. Esta dispersión
10 provoca la disminución del valor del índice 2S2PQ. La señal de la figura 3 exhibe un comportamiento más estable (mayor número de puntos concentrados en la misma región del plano), pero existe un sesgo importante respecto al centro geométrico asociado al comportamiento nominal. Todo ello demuestra que, el procedimiento de caracterización de la señal mediante los histogramas ofrece información complementaria al valor numérico del índice
15 2S2PQ.

A continuación se muestran tres figuras (de 4 a 6) que muestran la escalabilidad del procedimiento (distintos intervalos de medida Δt) a partir de la información contenida en la figura 2. La figura 4 muestra un intervalo de muestreo de 2 h (de 8-10 AM). El índice 2S2PQ,
20 refleja un comportamiento aceptable de la señal de suministro eléctrico, en torno a 0,005.

En cambio la figura 5, presenta también un intervalo de muestreo de 2 h, ahora en la franja horaria de 13-15 PM. Al comparar ambas figuras 4 y 5, se concluye que en la figura 5 la señal se encuentra más deteriorada, reflejando un valor del índice 2S2PQ de 0,017.
25

Por último, en la figura 6, se realizan las representaciones durante un tiempo de medida de 2 s. Se observa una dispersión acusada de las medidas con respecto al centro geométrico nominal, lo cual denota un comportamiento asociado a un evento transitorio de la señal de suministro, reflejando un índice 2S2PQ de 0,05, que es incluso peor que el asociado al período de 24 h, y representado en la figura 2. Esta escala temporal de 2 s, permite en consecuencia una mayor resolución de las representaciones de las frecuencias absolutas; por tanto es adecuada para la detección de eventos transitorios que se presenten en la señal de suministro eléctrico.
30

35 **Aplicación industrial**

- La presente invención constituye un procedimiento concebido para instrumentos de medida inteligentes (smart meters) y analizadores de redes.

40 - Dada los bajos requerimientos computacionales habilita la detección de eventos en continuo con una resolución temporal de hasta un período (0,02 segundos).

- Ofrece la posibilidad de realizar análisis de la red en mayor profundidad al permitir la comparación entre diferentes escalas temporales. Podrían obtenerse resultados del tipo: “el punto A de la red ofrece históricamente una mala calidad de la energía eléctrica, aunque en el tramo horario de los lunes de 6:00 a 8:00 A.M. ésta es perfecta”. Esto es determinante para la programación de procesos con el menor impacto posible en la red, para la identificación de equipos problemáticos y para la selección de lugares donde conectar equipamiento sensible.
45

- La comparación de diferentes escalas temporales permite la implementación de consignas del tipo: “si el índice PQ en los últimos ciclos (0,2 segundos) tiene una variación del 5% respecto al índice observado en el último mes, ejecuta la acción X”.
50

- Vigilancia para reclamaciones al operador del sistema eléctrico a efectos contractuales.

- De acuerdo con la implementación a escala industrial, las entradas del procedimiento, características del sistema o red, son convenientemente escaladas, aumentando la flexibilidad del método y su capacidad de adaptarse a nuevos entornos y campañas de monitorización.
- 5 - Permite una fácil interoperabilidad entre diferentes instrumentos que incorporen este método de medida.

REIVINDICACIONES

- 5
1. Procedimiento de caracterización de una señal de suministro eléctrico, que comprende:
- 10
- muestrear y preprocesar la señal de suministro eléctrico $u(t)$, para obtener una señal escalable $u_e(t)$, en función de los valores nominales de la señal de suministro;
 - obtener una serie temporal de estadísticos s_1, s_2, \dots, s_n , asociados al patrón temporal de la forma de onda de la señal $u_e(t)$, que tomen un valor conocido y fijo (valor nominal) para una señal sana (o nominal) preprocesada $\hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{MN}$ y computar sus diferencias respecto a los valores de un registro sano o ideal, dando como resultado el índice de calidad 2S2PQ (Statistical Signal Processing Power Quality Index, 2S2PQ): $2S2PQ_{\Delta t} = f(s_{11} - \hat{s}_{11}, s_{12} - \hat{s}_{12}, \dots, s_{ij} - \hat{s}_{ij}, \dots, s_{MN} - \hat{s}_{MN})$; y
 - representar las frecuencias relativas y el índice 2S2PQ asociado a un determinado intervalo temporal de las N-uplas, mediante mapas de intensidad que muestran, a través de histogramas, las frecuencias relativas de los estadísticos durante dicho intervalo temporal determinado, de modo que se aprecia la dispersión de los estadísticos respecto de una zona de operación nominal de la red.
- 20
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde los estadísticos comprenden la varianza y la curtosis.
- 25
3. Sistema para la caracterización de una señal de suministro eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, que comprende:
- 30
- medios para muestrear y preprocesar la señal de suministro eléctrico $u(t)$.
 - medios para procesar la señal $u_e(t)$.
 - medios para determinar los estadísticos s_1, s_2, \dots, s_N , asociados a la función densidad de probabilidad de la señal de suministro.
 - medios para que el usuario consigne un intervalo temporal asociado al almacenamiento de los estadísticos y representación de frecuencias con el índice 2S2PQ asociado.
 - medios para el almacenamiento y la representación de los estadísticos asociados a la distribución estadística de la señal de suministro.
 - medios para la representación de las frecuencias con las que se presentan los valores de los estadísticos mediante mapas de intensidad que muestran, a través de histogramas, las frecuencias relativas de los estadísticos durante dicho intervalo temporal determinado, de modo que se aprecia la dispersión de los estadísticos respecto de una zona de operación nominal de la red.
 - medios para la computación del índice 2S2PQ.
- 35
- 40
- 45
4. Un programa informático que comprende medios de código adaptados para realizar las etapas del procedimiento de caracterización de la señal de suministro eléctrico e índice de calidad 2S2PQ de cualquiera de las
- 50

reivindicaciones 1 o 2, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador o cualquier otra forma de hardware programable.

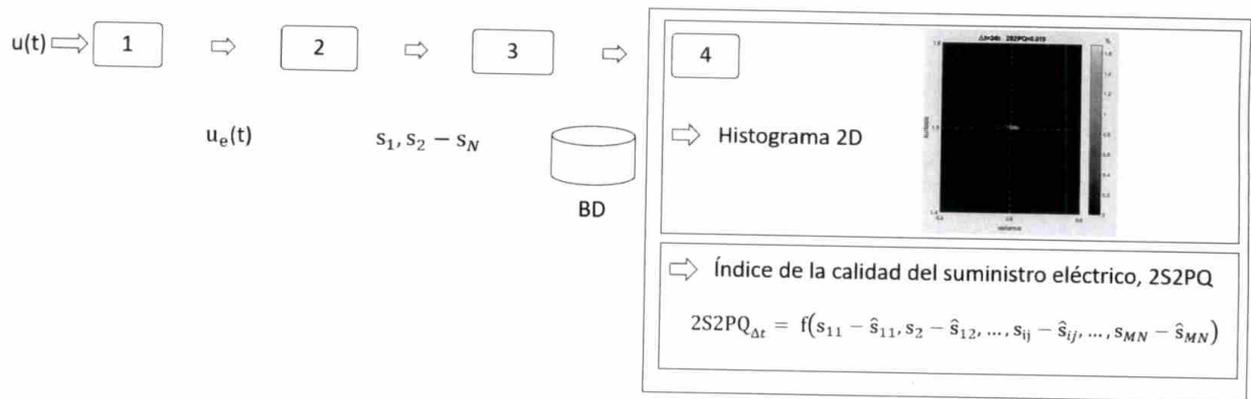


Fig. 1

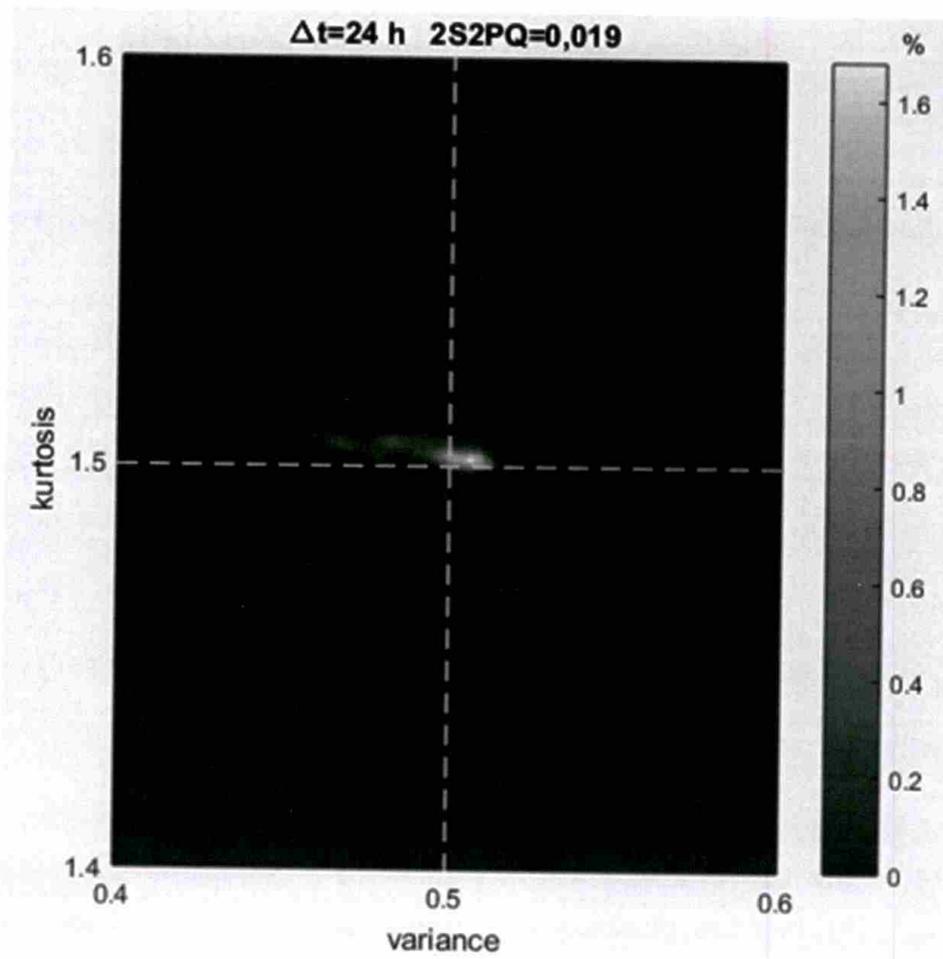


Fig. 2

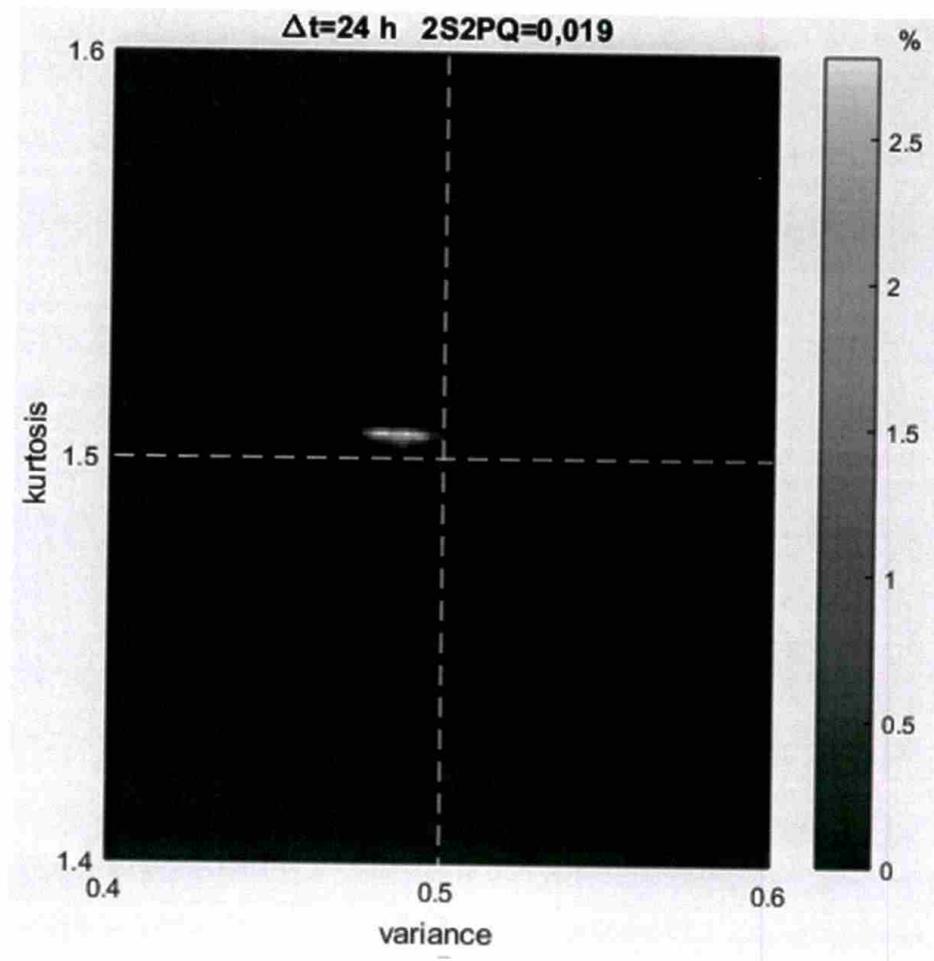


Fig. 3

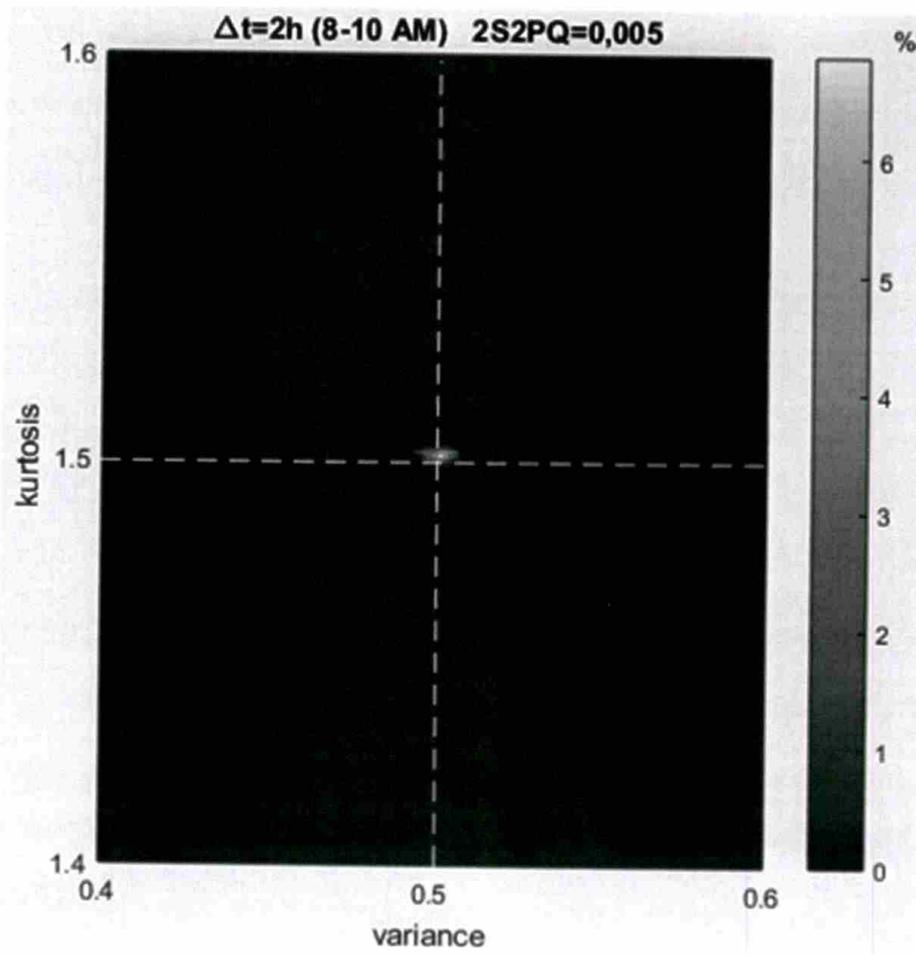


Fig. 4

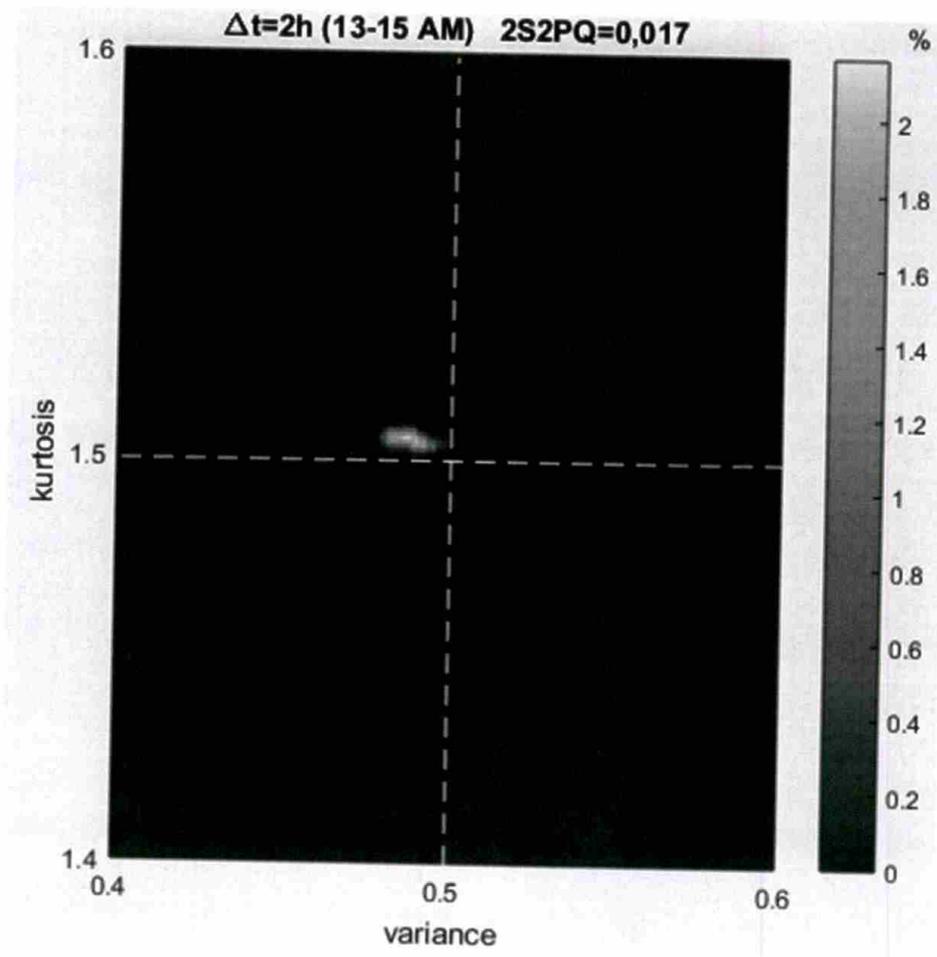


Fig. 5

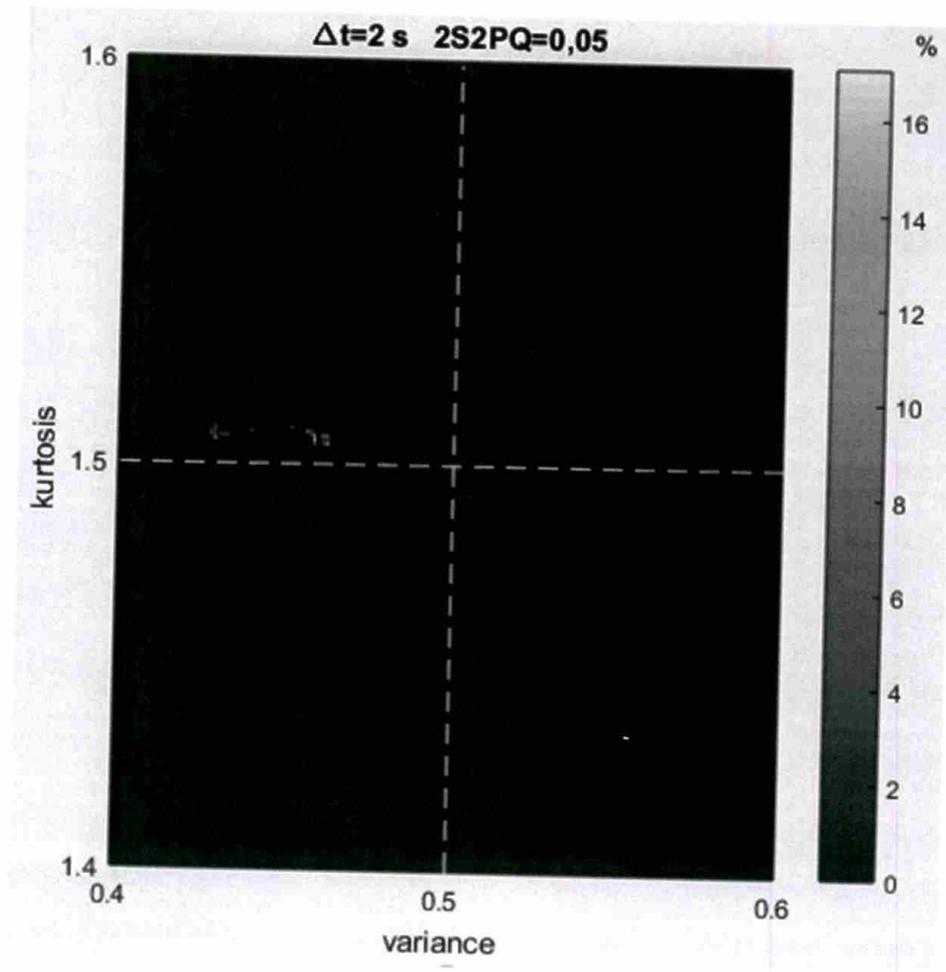


Fig. 6