

**SISTEMA, MÉTODO Y DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LA ENTROPÍA MUTUA
ENTRE LA CORRIENTE ELÉCTRICA DE FUGA Y EL CAMPO ELÉCTRICO
ATMOSFÉRICO DE PARARRAYOS EN APLICACIONES DE INTERNET DE LAS
COSAS**

5

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se ubica dentro del campo técnico de los sistemas, dispositivos y métodos en pararrayos. Particularmente, el mantenimiento preventivo de los pararrayos mediante procedimientos especialmente no invasivos, que ayudan a tomar decisiones en el análisis, diseño, operación, control, calibración y reemplazo.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

En la actualidad, resulta de vital importancia mantener la estabilidad del sistema eléctrico en aras de brindar protecciones y seguridad a equipos y usuarios dentro del mismo. Para tal efecto, una de las consideraciones que juegan un papel importante se refiere al mantenimiento preventivo de pararrayos, en donde, una de sus aplicaciones más generales se ubica en las protecciones de los transformadores, siendo las altas descargas eléctricas, las que causan daños en el aislamiento del pararrayos ZNO.

20

Por lo anterior, resulta de vital importancia monitorear el estado de los pararrayos, toda vez que permiten garantizar la seguridad y mitigar posibles daños.

25

Así las cosas, existe en el estado de la técnica una pluralidad de divulgaciones relacionadas con este tipo de sistemas y procedimientos de monitoreo, entre ellas:

30

La patente CN107679445 proporciona un método para diagnosticar una falla de envejecimiento de un pararrayos basado en la entropía de energía del paquete de ondículas. El método comprende los pasos de eliminar el ruido de la forma de onda de la corriente de fuga del pararrayos muestreada a través de un paquete de ondículas; realizar la descomposición de paquetes de ondículas, resolver la entropía de energía y comparar la entropía de energía obtenida de la corriente de fuga del pararrayos real con la entropía de energía de la corriente de fuga del pararrayos normal. Adicionalmente, el método comprende los pasos de: paso 1, la forma de onda de corriente de fuga del pararrayos de las muestras reales se convierte en un alboroto por el filtro de paquetes de ondículas; paso 2, la forma de onda después de pasar al filtro del paso 1 lleva a cabo la

35

descomposición de paquetes de ondas, que obtiene la descomposición de cada nodo en la secuencia del árbol de paquetes de ondículas; paso 3, se solicita energía-entropía para la secuencia de descomposición de cada nodo en el árbol de paquetes de ondículas del paso 2; paso 4, mediante la energía-entropía de la corriente de fuga real del pararrayos obtenida en el paso 3, se contrasta la energía con la entropía normal de la cantidad de corriente de fuga del pararrayos, de modo que se determina si el pararrayos real tiene una falla por degradación. Sin embargo, el método mencionado no permite resolver el problema técnico de calcular y determinar en tiempo real la entropía multiescalar (MSE) mutua entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos basado en un transformador de audio para determinar de manera efectiva el estado de un pararrayos, tampoco permite conocer dicho estado en tiempo real mediante dispositivos conectados al Internet de las Cosas.

De otra parte, la patente CN107992962 divulga una protección contra rayos de líneas de transmisión de energía y el campo de los valores de entropía de la teoría de la información, en particular a un método basado en el método de ponderación de entropía para seleccionar de manera óptima la protección contra rayos. El método recopila datos necesarios para calcular la tasa de descarga de rayos de la línea de transmisión de energía, calcular la tasa de descarga de rayos de cada torre de la línea de transmisión de energía y/o torres de energía, dividiendo el grado de riesgo de rayos de cada torre mediante la combinación de la tasa de descarga de rayos con la evaluación del grado de riesgo de rayos, determina la torre que necesita reconstrucción de protección contra rayos combinando la condición de descarga de la línea de transmisión de energía y/o torre de energía, y finalmente establece una medida de protección contra rayos. Sin embargo, el documento referido no permite determinar en tiempo real el estado actual de un pararrayos mediante el cálculo y determinación de la entropía multiescalar (MSE) mutua entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos, a partir de dispositivos conectados a una red de IoT.

Finalmente, la patente CN108872732 divulga un tipo de método de diagnóstico del grado de envejecimiento del pararrayos basado en el método máximo del módulo de ondículas. Mediante el coeficiente de transformación de ondícula de alta frecuencia; Se busca de nuevo la relación D_n de 3 capas de módulo de coeficiente de transformación de ondícula de alta frecuencia, un valor máximo de secuencia de muestra de corriente de fuga máxima; Se comparan D_n y el valor de umbral preestablecido, para determina las condiciones de envejecimiento del pararrayos. La invención puede ser mediante la búsqueda de la transformación de ondículas módulo de coeficiente de alta frecuencia, máximo de la secuencia de muestra de corriente de fuga y la relación D_n del valor máximo de la

secuencia de muestra, se identifican los puntos elevados inusuales presentes en la forma de onda de corriente de fuga del pararrayos envejecido, de modo que el diagnóstico preciso permite determinar el grado de envejecimiento del pararrayos. Sin embargo, el documento mencionado no permite resolver el problema técnico de conocer el estado en tiempo real del pararrayos mediante dispositivos conectados al Internet de las Cosas (IoT) para calcular y determinar la entropía multiescalar (MSE) mutua entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos.

De acuerdo con lo anterior, ninguno de los documentos contenidos en el campo técnico, permiten resolver el problema técnico de determinar en tiempo real del estado actual de los pararrayos y determinar de manera anticipada posibles fallos, mediante el monitoreo y supervisión de pararrayos a partir de relación obtenida entre la entropía mutua de la corriente de fuga y el campo eléctrico atmosférico en aplicaciones de internet de las cosas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención está relacionada con un sistema, dispositivo y método que permita de manera anticipada establecer en los descargadores de protección contra sobretensiones DPS con baja entropía de la corriente de fuga del pararrayos (pararrayos de óxido de zinc) ZNO, y así poder determinar su pronto reemplazo, anticipándose a la falla del activo.

La invención está relacionada con un sistema, dispositivo y método de monitoreo de pararrayos en aplicaciones de internet de las cosas.

El sistema de monitoreo de pararrayos comprende: una pluralidad de pararrayos ZNO interconectados entre sí mediante internet de las cosas, una pluralidad de sensores electromagnéticos uno por cada pararrayos para medir la corriente eléctrica de fuga del pararrayos ZNO, basado en un transformador de audio, una pluralidad de antenas, una por cada pararrayos para transmitir una señal de audio, una pluralidad de amplificadores para incrementar la ganancia de la señal de audio, una pluralidad de circuitos de adquisición de señales, uno por cada pararrayos, una pluralidad de dispositivos de procesamiento para calcular y determinar en tiempo real la entropía multiescalar (MSE) mutua entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos, uno por cada pararrayos, una pluralidad de dispositivos de procesamiento de señales para procesar y desplegar los espectros de las corrientes de fuga, una pluralidad de dispositivos móviles conectados a internet para recibir la señal emitida por las antenas y un dispositivo ordenador o computador conectado a una red de internet de las cosas (IoT).

De igual manera, el dispositivo de monitoreo de pararrayos comprende: un pararrayos interconectado mediante internet de las cosas, un sensor electromagnético de internet de las cosas para medir la corriente eléctrica de fuga del pararrayos ZNO, basado en un transformador de audio, una antena para transmitir una señal de audio, un amplificador para incrementar la ganancia de la señal de audio, un circuito de adquisición de señales, un descargador de sobretensión MOSA, un dispositivo de procesamiento para calcular y determinar en tiempo real la entropía multiescalar (MSE) mutua entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos, un dispositivo de procesamiento de señales para procesar y desplegar los espectros de las corrientes de fuga, un dispositivo móvil conectado a internet para recibir la señal emitida por la antena y un dispositivo de visualización para presentar los espectros de las corrientes de fuga. Finalmente, el método de monitoreo de pararrayos comprende las etapas de: un sensor para medir la corriente eléctrica de fuga del pararrayos ZNO basado en un transformador de audio, un amplificar la señal adquirida por el sensor para medir la corriente de fuga, transmitir la señal amplificada del ítem anterior a un dispositivo móvil conectado al internet de las cosas, calcular y determinar en tiempo real la entropía mutua MSE entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos, procesar las señales calculadas y visualizar los espectros de las corrientes de fuga.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La presente invención se puede entender de una forma más adecuada a partir de las siguientes figuras que muestran todos sus partes y componentes, así como las características novedosas que lo difieren del estado de la técnica.

La figura 1. Es una vista del dispositivo y esquema del circuito de adquisición y transmisión de corriente de fuga I_f campo eléctrico atmosférico E_c .

La figura 2. Es una vista de dos péndulos acoplados en reposo.

La figura 3. Es una vista de un péndulo en modo con mayor frecuencia.

La figura 4. Es una vista del modo de oscilación en alta frecuencia en el dominio del tiempo de la onda $\Psi_a(t)$. Valor de entropía: 0.5 nats.

La figura 5. Es una vista de la nueva condición, oscilador desacoplado.

La figura 6. Es una vista de la forma de onda sinusoidal del oscilador desacoplado por disminución de la entropía mutua. Nuevo valor de entropía: 0.3 nats. La disminución de la entropía sugiere pérdida de entropía mutua entre el campo eléctrico y la corriente de fuga.

5

La figura 7. Es una vista de la muestra el espectro de la onda compleja de corriente de fuga del pararrayos Guayacanes. Su señal en el dominio del tiempo exhibe una alta complejidad, lo cual se verifica mediante el espectro rico en armónicos

10 **La figura 8.** Es una vista del espectro de la onda de corriente de fuga (Sierra del Este).

La figura 9. Es una vista del espectro de la corriente de fuga de Saravena. Observar la disminución de frecuencias en comparación con Guayacanes y Sierra del Este.

15 **La figura 10.** Es una vista del pararrayos de "Palermo más viejo" exhibe un espectro más pobre en frecuencias armónicas y libres.

La figura 11. Es una vista de valores de entropía de los pararrayos muestreados de un total de 20 en función de las escalas de multiresolución. Se observa que los valores cercanos a cero nats de entropía de multiresolución corresponden a los pararrayos más viejos.

20 **La figura 12.** Es una vista del diagrama del método de monitoreo de la entropía mutua.

25 **La figura 13.** Es una general del sistema de monitoreo de la entropía mutua.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La invención consiste en un sistema, dispositivo y método asociado de monitoreo en tiempo real, que permiten relacionar la entropía multiescalar mutua (MSE), de la corriente de fuga y el campo eléctrico vertical a través de una pluralidad de pararrayos hacia tierra física, los cuales están interconectados mediante internet de las cosas. La invención permite realizar un mantenimiento no invasivo para reducir las fallas, y tomar decisiones en el análisis, diseño, operación, control, calibración y reemplazo de los pararrayos.

35

Descargadores de sobretensiones tipo ZNO (varistor de óxido de zinc), que ofrecen protección a los equipos eléctricos contra sobretensiones causadas por rayos, constituyen una de las partes más importantes de la red de distribución eléctrica, ya que las

sobretensiones directas o indirectas pueden crear daños graves en los transformadores de distribución ocasionando inmensas pérdidas también permiten controlar y dirigir la energía de los rayos para proteger a las personas, los edificios y los equipos es una preocupación del ingeniero eléctrico.

5

Esta invención presenta la posibilidad de crear mapas de actividad eléctrica atmosférica para enriquecer los métodos actualmente disponibles en el mercado. Esto es posible si se dispone de una red de pararrayos que permitan graficar el gradiente tridimensional de la actividad eléctrica atmosférica.

10

El mantenimiento preventivo del pararrayos ZNO, es parte vital para la estabilidad del sistema eléctrico. Representa uno de los equipos fundamentales en los servicios públicos y por lo tanto demandan vigilancia. Así, es obligatorio mejorar el mantenimiento preventivo para garantizar una buena función y disminuir daños en los transformadores.

15 El cálculo de su vida útil es esencial tenerla en cuenta en la gestión de riesgos y activos.

Los pararrayos son ampliamente utilizados para proteger los transformadores de distribución eléctrica y así reducir la tasa de sobretensión de falla anual. Los pararrayos ZNO se instalan entre fase y tierra y se comportan como aislantes para el funcionamiento del sistema y como conductores para condiciones de sobretensión, debido a su intensa característica tensión-corriente. Descargas eléctricas atmosféricas sobre el pararrayos ZNO, da como resultado una mayor tensión térmica de los discos de varistores cerca del electrodo de alto voltaje, lo que conduce a un envejecimiento más rápido de los discos en la parte superior y, en consecuencia, una reducción en la eficacia y fiabilidad de este.

20

Condiciones transitorias de altas descargas pueden causar daños al aislamiento del pararrayos, lo que lleva a una falla prematura.

25

El conocimiento de la entropía de la corriente eléctrica de fuga es útil para aumentar la confiabilidad del pararrayos ZNO y proteger mejor el equipo eléctrico contra sobretensiones eléctricas. En este contexto, se propone un nuevo y más amplio procedimiento para el monitoreo a través de la Internet de las cosas y en tiempo real de las condiciones propias del pararrayos ZNO.

30

El Internet de las cosas, llamado IoT para abreviar, es una nueva interconexión anunciada como la próxima revolución industrial, lo que implica un cambio radical, disrupción y un paradigma completamente nuevo para el planeta.

35

En esta invención se ofrece la IOT como una nueva tecnología para realizar conexiones digitales de pararrayos con salas de control y monitoreo ubicadas en las oficinas de mantenimiento. Algunas ventajas son: el IoT fomenta la comunicación también a transformadores, motores, líneas y otros dispositivos de protección entre otros con servidores inteligentes con la información compartida en los teléfonos celulares de los ingenieros de mantenimiento, se enriquece y facilita la automatización y control al proveer mecanismos de respuesta desde los centros remotos de control del suministro de energía eléctrica, la comunicación de los pararrayos con las salas de control genera resultados de mantenimiento más rápido y oportuno, permite el ahorro de dinero pues no es necesario trasladarse al sitio de ubicación para realizar mediciones, permite también la automatización de las tareas diarias conduce a una mejor supervisión de los dispositivos, también puede mejorar la calidad del servicio y se puede lograr una utilización óptima de la energía y los recursos adoptando esta tecnología y manteniendo los dispositivos bajo vigilancia, finalmente, permite ser alertados en caso de posibles cuellos de botella, averías y daños en el sistema.

Las compañías energéticas presentan tasas móviles de quema de transformadores, en algunas estas tasas anuales son representativas. Este método busca aportar conceptos y resultados que complementen o ajusten la metodología de reducción de falla de transformadores con base en la medición de las corrientes de fuga en DPS, que permita disminuir la tasa de falla de transformadores, con un pronóstico de falla de sus DPS y una intervención preventiva. Se propone un método que permita de manera anticipada establecer los DPS que se encuentran con una baja entropía de la corriente de fuga del pararrayos ZNO y de esta manera poder determinar su pronto reemplazo, anticipándose a la falla del activo

La teoría de la entropía es una nueva herramienta para procesar los valores de los campos y ondas electromagnéticas de tal forma que se revelen comportamientos ocultos para otras técnicas. Así pues, el mantenimiento preventivo de los pararrayos puede ahora contar gracias a esta patente de invención con nuevos procedimientos especialmente no invasivos, que ayudan a tomar decisiones en el análisis, diseño, operación, control, calibración y reemplazo. Diferentes fallas en los pararrayos de ZNO, pueden llevar a daños en la operación especialmente cuando las cargas son sensibles a distorsión armónica, picos de voltaje, interrupciones y en general una diversidad de anomalías y patologías de la pureza de las ondas de tensión y voltaje. Por lo tanto, hay un interés por parte de las empresas del sector eléctrico en mejorar la estabilidad de la red y en disminuir pérdidas por causa de las fugas a través de los pararrayos de ZNO.

El nuevo método propuesto se relaciona con la entropía multiescalar (MSE), de la corriente de fuga fluyendo por el pararrayos hacia tierra física, es no invasivo y por tanto facilita el mantenimiento.

5 De acuerdo con la figura 1, el dispositivo (100) permite realizar la medición y adquisición las señales provenientes del campo eléctrico atmosférico E_c (101) producido por la nube (102) que induce un potencial eléctrico y la línea de alta tensión crea una corriente de fuga I_f que fluye a través del DPS (103). El resistor (104) limita la magnitud de la corriente de fuga para protección de los varistores. La corriente de fuga (105) que fluye por el DPS
10 (pararrayos de óxido de zinc) genera un campo electromagnético (107) detectado por el sensor inductivo (108) en donde las señales electromagnéticas de la corriente de fuga y su entropía mutua con el campo eléctrico atmosférico, muestra unas componentes aprovechables para tomar decisiones de reemplazo del pararrayos en el rango de las frecuencias de audio. Por lo tanto, un pequeño transformador de audio realiza la tarea de
15 adquisición fácilmente.

El potencial obtenido es amplificado por el amplificador de instrumentación (109) con una ganancia fija de 1000, debido al tamaño pequeño de las señales suministradas por el transformador de audio y de la antena de recepción del campo eléctrico atmosférico se
20 requiere el uso de amplificadores.

Cada pararrayos dispone de una dirección y autonomía de comunicación. Es necesario entonces adjudicar en el internet de las cosas su propio canal de transmisión, y por lo tanto una antena (113).

25 El campo eléctrico atmosférico (101) induce un potencial eléctrico en la compuerta del MOSFET (110) mediante la antena (113) y aparece un potencial en el drenador del Mosfet (110). Los resistores (111) y (112) polarizan al transistor Mosfet. A la entrada del interruptor (114) se conectan las salidas del drenador del transistor y del amplificador de
30 instrumentación.

El interruptor (114) selecciona la señal correspondiente a la corriente de fuga o al campo eléctrico atmosférico, conduciendo la onda respectiva al pin de modulación del circuito (115). Los circuitos integrados correspondiendo a (115) y (116) forman un modulador de
35 PWM.

El circuito (116) crea una señal de reloj que se aplica al circuito (115) cuya salida es una señal PWM conectada al terminal de entrada de micrófono del teléfono celular (117) y

desde este al dispositivo ordenador y/o servidor (123). El teléfono o dispositivo móvil transmite a la red de internet de las cosas. Los componentes (116), (118), (119), (120), (121) y (122) determinan la frecuencia de la señal PWM.

5 La entropía de la corriente de fuga del pararrayos ZNO es la idea clave, el enfoque y la herramienta para esta patente de invención. Esta métrica ha inspirado este método instrumental para evaluar el comportamiento eléctrico del pararrayos ZNO. Por ejemplo, el envejecimiento del pararrayos ZNO disminuye el tiempo de vida esperada del transformador, pues disminuye su protección.

10

La pérdida de entropía, por lo tanto, se sugiere como una pieza genérica de patología del sistema formado por el pararrayos y el transformador. La entropía de la información es máxima para el sistema pararrayos-transformador joven y sano. Esto de acuerdo con esta patente de invención.

15

Es oportuno aclarar que la entropía dispone de dos alas: termodinámica en relación con la disipación de calor e información contenida en las ondas emitidas por el pararrayos. Desde el punto de vista informático, mayor entropía indica salud y juventud. Para facilitar el análisis de la información emitida por ambos componentes actores del fenómeno, es decir
20 la corriente de fuga y el campo eléctrico atmosférico es conveniente seleccionar un modelo matemático. Así es como se eligió el oscilador armónico. En este caso, se considera que el movimiento de dos péndulos acoplados mediante un resorte modela la relación entre la corriente de fuga y el campo eléctrico atmosférico.

25 Esta invención se inspira en el bien conocido sistema de dos péndulos figura 2 que modelan al campo eléctrico atmosférico y a la corriente de fuga unidos por un componente físico usando un sistema masa resorte como modelo.

Los tiempos entre modos aumentan la entropía, porque la oscilación se vuelve más
30 compleja. Cada modo es una oscilación armónica con una frecuencia conocida. La figura 3 ilustra el modo de alta frecuencia.

La ecuación que describe el movimiento de los dos péndulos acoplados es:

35
$$\psi_a(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \quad (1)$$

También se escribe para este estudio así,

$$\psi_a(\theta) = I_f(\theta) + E_c(\theta) \quad (2)$$

Para simplificar se definen,

$$I_f; \text{ corriente de fuga} \quad (3)$$

$$E_c; \text{ campo eléctrico} \quad (4)$$

La función $\psi_a(\theta)$ simulada es una onda compleja con dos frecuencias ω_1 y ω_2 y se muestra en el dominio del tiempo, en la figura 4.

El fenómeno está entonces soportado por un modelo de 2 oscilaciones creadas por el campo eléctrico y la corriente de fuga y conformando una onda compleja. Pero si un oscilador, se desconecta debido a la disminución de la entropía mutua entre el campo eléctrico atmosférico y la corriente de fuga a través del pararrayos, la nueva situación es la siguiente y se muestra en la figura 5:

Y la ecuación (2) cambia a:

$$\psi_a(\theta) = I_f(\theta); \theta = \omega_1 t + \varphi_1 \quad (5)$$

$$\psi_f(t) = I_f \cos \omega_f t; \varphi = 0 \quad (6)$$

La oscilación toma la forma que se muestra en la figura 6:

Retomando la ecuación (1), igualando $\theta = (\omega t + \varphi)$, y en forma general se llega a,

$$\psi(t) = A \cos \theta \quad (7)$$

Para una variable aleatoria continua $\Psi(\theta)$ con función de densidad de probabilidad $p(\theta)$, la entropía $h(\theta)$ de $\Psi(\theta)$ se establece de acuerdo con Shannon,

$$h(\theta) = - \int p[\Psi(\theta)] \log[p(\Psi(\theta))] d\theta \quad (8)$$

Reemplazando (1) en (8) se obtiene,

$$h(\theta) = - \int p[(A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)) \log[p[(A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2))] d\theta$$

(9)

La ecuación anterior define la entropía de la onda compleja creada por la entropía mutua entre el campo eléctrico atmosférico y la corriente de fuga a través del pararrayos. Las frecuencias ω_1 y ω_2 responden a las frecuencias del campo eléctrico vertical atmosférico y a la corriente de fuga.

Además, si (θ) es el ángulo de la onda formada por la entropía mutua entre el campo eléctrico y la corriente de fuga del pararrayos y conforma una serie de tiempo,

$$\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m, \dots\} \quad (10)$$

Y la densidad de probabilidad $P(\theta)$ está definida por,

$$P(\theta) = \text{Probabilidad } \{\theta = \theta_m\} \quad (11)$$

La entropía $h(\theta)$ de la corriente de fuga $I_f(\theta)$ es entonces, aplicando la ecuación de Shannon,

$$h(\theta) = -\sum_m P(\theta) \log P(\theta) \quad (12)$$

O, también

$$h[I_f(\theta)] = -\sum_m P(I_f(\theta)) \log p[I_f(\theta)] \quad (13)$$

Ambos componentes $I_f(\theta)$ del pararrayos y el campo eléctrico E , $E_c(\theta)$ emiten ondas complejas y están unidos gracias a la entropía mutua que las modula como pareja. De acuerdo a Shannon, las siguientes ecuaciones pueden ser aplicadas a la formación de la entropía mutua entre la corriente de fuga y el campo eléctrico vertical.

$$h(I_f) = \frac{1}{2} (\log_2 e \sigma_{I_f}^2) \quad (14)$$

$$h(E_c) = \frac{1}{2} (\log_2 e \sigma_E^2) \quad (15)$$

La entropía mutua entre la corriente de fuga y el campo eléctrico se define entonces según Shannon como:

$$M(E, I_f) = h(E) + h(I_f) - h(E, I_f) \quad (16)$$

O en forma similar,

$$M(E_c, I_f) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} (\log_2[(1 - p^2)]) \right) \quad (17)$$

Siendo p el coeficiente de correlación entre la corriente de fuga y el campo eléctrico atmosférico.

5

El método de la presente invención está entonces apoyado en la teoría de la entropía de múltiple resolución.

10

La teoría de la entropía de múltiple resolución es una nueva herramienta para procesar los valores de los campos y ondas electromagnéticas de tal forma que se revelen comportamientos ocultos para otras técnicas.

15

Así pues, el mantenimiento preventivo de los pararrayos puede ahora contar con nuevos procedimientos especialmente no invasivos, que ayudan a tomar decisiones en el análisis, diseño, operación, control, calibración y reemplazo.

20

Diferentes fallas en los pararrayos de ZNO, pueden llevar a daños en la operación especialmente cuando las cargas son sensibles a distorsión armónica, picos de voltaje, interrupciones y en general una diversidad de anomalías y patologías de la pureza de las ondas de tensión y voltaje. Por lo tanto, hay un interés por parte de las empresas del sector eléctrico en mejorar la estabilidad de la red y en disminuir pérdidas por causa de las fugas a través de los pararrayos de ZNO.

25

El nuevo método propuesto en esta patente de invención se basa en la entropía multiescalar (MSE) de la corriente de fuga fluyendo por el pararrayos hacia tierra física, es no invasivo y por tanto facilita el mantenimiento. Los siguientes resultados expresados en gráficas y tablas fueron obtenidos utilizando el circuito de adquisición y transmisión.

30

La presente invención está así apoyada en algunas medidas de la entropía multiescalar MSE de pararrayos de diferentes edades tipo ZNO de media tensión. Mayor conocimiento de la entropía del pararrayos ZNO puede ser útil como indicador para mejorar el mantenimiento preventivo y optimizar la gestión de activos de la compañía pudiendo disminuir el costo de retención por mantenimiento al poder ofrecer nuevos procedimientos que disminuyan la tasa de mortalidad de los transformadores de distribución gracias a una comunicación en tiempo real de las condiciones internas y externas de los pararrayos ZNO. Además, conocer en tiempo real una baja entropía de la corriente de fuga del pararrayos ZNO, puede determinar su pronto reemplazo.

35

Se efectuó un experimento para medir las entropías de las corrientes eléctricas de fuga que fluyen a través de los pararrayos ZNO en un circuito de distribución eléctrica en el barrio Palermo de la ciudad de Manizales en Colombia. El circuito de adquisición y programa de computación de las ondas de corriente de fuga se aplicó a un grupo de 4
5 ítems. Se escogieron 4 pararrayos: 2 mayores de 40 años de funcionamiento y los otros 2 menores de 5 años.

La señal adquirida por el sensor basado en un transformador de audio es amplificada y conducida a un celular operando en una red. El celular transmite a la red de internet y
10 desde allí puede ser recuperada con los otros celulares conectados al grupo IOT del pararrayos.

Finalmente, en el programa de computación MSE se calculan las entropías de las corrientes de fuga de los pararrayos ZNO. Adicionalmente el computador mediante otro
15 procedimiento que ejecuta una serie de instrucciones en un medio de almacenamiento no transitorio de procesamiento de señales despliega los espectros de las corrientes de fuga.

El procesamiento de las señales eléctricas de las corrientes de fuga, obtenidas al colocar el sensor electromagnético sobre cada uno de los 4 pararrayos ZNO, permite la
20 visualización de sus respectivos espectros y el cálculo de sus entropías. Se seleccionó una muestra de 4 pararrayos ZNO, para ilustrar la diferencia de entropía de las corrientes de fuga de dos transformadores viejos "mayores de 40 años," en relación con dos transformadores jóvenes "menores de 5 años".

25 a) Pararrayos del edificio Guayacán con edad menor a 5 años. Su espectro de la onda compleja de corriente de fuga se presenta en la figura 7, en la cual se puede apreciar el pico mas alto de -12 dB a una frecuencia de 200 Hz, su señal en el dominio del tiempo exhibe una alta complejidad, lo cual se puede verificar mediante el espectro rico en armónicos.

30 b) El pararrayos Sierra del Este cuya edad es inferior a 5 años también presenta una alta complejidad, figura 8. El espectro de la corriente de fuga para este caso también presenta una alta complejidad con un pico de -12 dB a una frecuencia de 400 Hz.

35 c) El Pararrayos Saravena con edad mayor a 40 años ofrece menor complejidad, figura 9 respecto a los dos anteriores, debido a que se puede observar una disminución de frecuencias, con un pico máximo de -42 dB a una frecuencia de 200 Hz.

d) Finalmente, el pararrayos Palermo “más viejo y mayor de 40 años” también presenta escasa complejidad, tal y como se puede apreciar figura 10, debido a que exhibe un espectro más pobre en frecuencias armónicas y libres.

5

La determinación de las entropías produjo los siguientes valores, ver tabla (1), la cual corresponde a valores en nats de las entropías de los pararrayos. Resulta del caso señalar que, dichos valores de entropía muestreados en cada pararrayos permiten deducir la correspondencia entre los valores en nats y las edades de los pararrayos. Particularmente, se observa que valores cercanos a cero nats de entropía de múltiple resolución corresponden con pararrayos más viejo.

10

Tabla 1. Valores en NAT de las entropías de los parrarayos

ESCALA	SIERRA ESTE	GUAYACAN	SARAVENA	ITALIA 45
1	0.288	0.011	0.002	0
2	0.262	0.022	0.004	0.001
3	0.225	0.033	0.006	0.001
4	0.194	0.045	0.007	0.001
5	0.171	0.057	0.006	0.002
6	0.153	0.069	0.004	0.002
7	0.146	0.082	0.004	0.002
8	0.142	0.088	0.005	0.003
9	0.139	0.104	0.006	0.003
10	0.129	0.113	0.006	0.004
11	0.129	0.12	0.007	0.004
12	0.133	0.133	0.007	0.004
13	0.126	0.141	0.008	0.005
14	0.132	0.153	0.009	0.005
15	0.129	0.128	0.009	0.005
16	0.128	0.138	0.01	0.006
17	0.129	0.139	0.011	0.006
18	0.134	0.159	0.011	0.006
19	0.133	0.159	0.012	0.007
20	0.129	0.169	0.013	0.007

15

En donde los valores de la tabla 1, conduce a los valores de la figura 11, en donde se puede corroborar que para valores cercanos a cero nats de entropía de multiresolución corresponden a los pararrayos mas viejos.

20

De manera análoga, la figura 12 presenta el diagrama de bloques del método (200) de la invención, el cual contiene las etapas de: una primera etapa (201) en la cual el sensor (108) sirve para medir la corriente eléctrica de fuga del pararrayos ZNO basado en un transformador de audio, una segunda etapa (202) encargada de amplificar (109) la señal adquirida por el sensor para medir la corriente de fuga, una tercera etapa (203) para transmitir (113) la señal amplificada del ítem anterior a un dispositivo móvil conectado al internet de las cosas, una cuarta etapa (204) encargada de calcular (117) (123) y

25

determinar en tiempo real la entropía mutua MSE entre el campo eléctrico vertical y la corriente de fuga del pararrayos, una quinta etapa (205) en la cual se procesan las señales calculadas y una sexta etapa (206) para presentar y visualizar (117) los espectros de las corrientes de fuga. Finalmente, una séptima etapa para transmitir y almacenar los datos consolidados en un ordenador (123) conectado a internet de las cosas.

Cada pararrayos está conectado a través de una interfaz compuesta por el amplificador a una unidad de cómputo con capacidad de procesamiento y comunicaciones. La visualización del espectro se consigue con el teléfono celular en el contexto de internet de las cosas.

La pluralidad de dispositivos móviles permite la creación de una red de mantenimiento preventivo a la cual tienen acceso en forma remota los ingenieros de mantenimiento. Suministra además información valiosa para la conservación de los activos. Mientras que el servidor ubicado en las oficinas de la electrificadora concentra la multiplicidad de canales de radio correspondientes a los pararrayos y debe ser un computador con capacidad de comunicaciones y control en el dominio del internet de las cosas IOT.

La figura 13 presenta un esquema general del sistema (1000), en donde el campo un campo eléctrico atmosférico E_c (101) (no mostrado en esta figura) es producido por la nube (102) induce un potencial eléctrico y la línea de alta tensión crea una corriente de fuga I_f que fluye a través del DPS (103) (no mostrado en esta figura). Posteriormente estos datos son adquiridos, procesados y analizados por una pluralidad de dispositivos (100) los cuales se encuentran interconectados entre si y a un ordenador (123) en una red de internet de las cosas para consolidar, analizar y procesar la información en tiempo real.