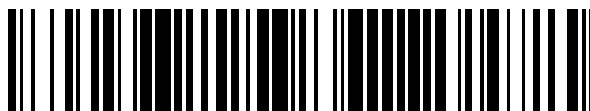


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 617**

51 Int. Cl.:

G06N 3/10 (2006.01)

G06N 3/04 (2006.01)

G06N 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.05.2013** **PCT/EP2013/059715**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014** **WO14180508**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2013** **E 13724774 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019** **EP 2994856**

54 Título: **Procedimiento de procesamiento de señales de descarga parcial y aparato que emplea una red neuronal**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.05.2020

73 Titular/es:

PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Via Chiese, 6
20126 Milano , IT

72 Inventor/es:

DI STEFANO, ANTONIO;
CANDELA, ROBERTO;
FISCELLI, GIUSEPPE y
GIACONIA, GIUSEPPE, COSTANTINO

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 760 617 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

Procedimiento de procesamiento de señales de descarga parcial y aparato que emplea una red neuronal

5 ANTECEDENTESCampo técnico

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento y aparato de procesamiento de señales de descarga
10 parcial. El procesamiento de descargas parciales se usa particularmente para analizar descargas parciales en
componentes y sistemas eléctricos, tales como: cables de media y alta tensión, empalmes de cables, aisladores de
líneas aéreas, cajas de cuadros de distribución de media y alta tensión, cables de alta y extra alta tensión que usan
GIS (Gas Insulated Switchgear - aparamenta con aislamiento gaseoso).

15 Descripción de la técnica relacionada

[0002] El término "descargas parciales" pretende indicar una recombinación no deseada de cargas eléctricas
que se producen en el material dieléctrico (aislante) de componentes eléctricos, en presencia de defectos de diversos
tipos, que conducen finalmente a la destrucción del dieléctrico. Aquí, se genera una corriente de impulsos en porciones
20 del material dieléctrico y hace que se propague una onda electromagnética a través de los cables de energía y de
tierra del sistema eléctrico pertinente, y que se irradie a través de los diversos medios circundantes (material
dieléctrico, metales, aire, etc.).

[0003] Cuando se realiza una medición de descarga parcial, se adquieren y procesan un gran número de
25 señales de impulsos. La instrumentación moderna permite digitalizar señales de impulsos a una frecuencia de
muestreo muy alta, por lo que pueden adquirirse y procesarse todas las formas de onda de impulso. Una operación
realizada durante el procedimiento de medición es la selección de impulsos específicos según criterios de
discriminación predeterminados. Como ejemplo, los posibles criterios de discriminación son: adquisición de señales
de descarga, filtrado de ruido de señales de descarga, clasificación de señales de descarga.

[0004] La adquisición de señales de descarga implica la selección de solo alguna forma de onda (que tenga un
nivel más alto que un umbral especificado) entre las detectadas. El filtrado de ruido de señales de descarga implica la
selección de impulsos de descarga parcial reales y rechazar el ruido. La clasificación de señales de descarga implica
seleccionar impulsos según sus características específicas y agrupar los más similares en clases diferentes.

[0005] La adquisición de señales de descarga puede basarse en el filtrado de frecuencia y el umbral de nivel,
implementado por circuitos analógicos. En cambio, el filtrado y la clasificación de ruido de señales de descarga se
realizan mediante procedimientos de selección basados generalmente en la extracción de características de la forma
de onda. Estos algoritmos generalmente funcionan extrayendo un pequeño conjunto de parámetros (características)
40 de cada forma de onda de impulso y comparándolos con umbrales específicos, intentando así estimar si cada impulso
entra dentro de una clase específica. La efectividad de estos algoritmos depende fundamentalmente del conjunto de
características específicas elegido.

[0006] Se conocen procedimientos de selección que emplean redes neuronales. El documento JP02-296162
45 describe un procedimiento para separar y detectar ruido externo y señales de descarga parcial. Según este
procedimiento, se corta una capa de apantallamiento de un cable para obtener dos extremos cortados opuestos. Una
forma de onda de tensión en forma de impulso generada en uno de los extremos de corte se compara con otra tensión
en forma de impulso generada en el otro extremo cortado por medio de una red neuronal. Las dos formas de onda de
tensión en forma de impulso son introducidas en una capa de entrada de la red neuronal. Esta comparación permite
50 distinguir señales de descarga parcial (para las que se generan impulsos similares en ambos extremos cortados) de
las señales de ruido.

[0007] El documento JP02-296161 describe un procedimiento para detectar la posición de descarga parcial
haciendo que una red neuronal aprenda diferentes formas de onda formadas por la descarga parcial. Un conjunto
55 eléctrico donde se genera la descarga parcial se detecta basándose en el resultado del aprendizaje y la onda de la
descarga parcial recién generada.

[0008] El documento JP08-338856 ilustra un procedimiento para decidir si está presente o no una descarga
parcial. El procedimiento incluye las etapas de: enseñar a una red neuronal; detectar señales de descarga parcial y
60 de ruido procedentes de un punto designado de un cable de energía una pluralidad de veces; alimentar una señal
detectada a la red neuronal y determinar un valor de evaluación; promediar una pluralidad de valores de evaluación y
comparar con un valor umbral; El documento de OKI I y col.: "Development of Partial Discharge Monitoring Technique
Using a Neural Network in a Gas Insulated Substation", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, IEEE
SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 12, no. 2, 1 de mayo de 1977 (1977-05-01) describe un procedimiento
65 de procesamiento de señales de descarga parcial que usa un módulo de red neuronal.

Breve resumen de la invención

[0009] El problema técnico abordado por la invención es el de proporcionar un procedimiento de procesamiento capaz de analizar señales de descarga parcial basándose en criterios de discriminación (tales como adquisición, filtrado de ruido, clasificación de impulso) para que pueda ser utilizable en diferentes aparatos eléctricos en diferentes entornos.

[0010] El solicitante descubrió que un procedimiento para procesar señales de entrada que emplea una red neuronal entrenada con una forma de onda de impulso de referencia definida según un criterio de discriminación elegido y configurada para producir un índice de similitud que supone selectivamente un primer valor y un segundo valor representativos de una similitud/no similitud de una forma de onda de impulso de entrada con la forma de onda de impulso de referencia es adecuada para detectar descargas parciales dañinas en diferentes aparatos eléctricos y en diferentes entornos.

[0011] Según un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de procesamiento de señales de descarga parcial como se define en la reivindicación 1.

[0012] Ventajosamente, el procedimiento de procesamiento comprende además:

establecer un segundo criterio de discriminación diferente del primer criterio; seleccionar una segunda forma de onda de impulso de referencia de acuerdo con el segundo criterio; realizar un segundo entrenamiento de dicho módulo de red neuronal para producir el índice de similitud suponiendo selectivamente el primer valor y el segundo valor representativos de una similitud/no similitud de una forma de onda de impulso de entrada adicional con la segunda forma de onda de impulso de referencia, respectivamente; comparar al menos parte de dicha pluralidad de formas de onda de impulso con la segunda forma de onda de impulso de referencia por medio del módulo de red neuronal para obtener segundos resultados de índice de similitud; memorizar/rechazar cada forma de onda de impulso comparada resultante basándose en los segundos resultados de índice de similitud obtenidos y en el segundo criterio de discriminación.

[0013] Ventajosamente, el módulo de red neuronal está configurado para implementar una función de activación incluida en el grupo que comprende: una función no lineal, una función similar a un escalón, una función sigmoide, una función identidad, una función tangente, una función escalón, una función signo, una función lineal por tramos.

[0014] Preferentemente, el módulo de red neuronal comprende:

una pluralidad de puertos de entrada, estando configurado cada puerto de entrada para recibir una muestra digital asociada con un impulso de dicha pluralidad de formas de onda de impulso; al menos un neurodo que tiene una pluralidad de pesos asociada, y donde el único puerto de salida configurado para proporcionar el índice de similitud está conectado a un neurodo que es un neurodo de salida.

[0015] Como "neurodo" se pretende un elemento de procesamiento de una red neuronal, una neurona artificial.

[0016] Ventajosamente, dicho módulo de red neuronal tiene la estructura de un perceptrón multicapa y comprende una capa oculta provista de una pluralidad de neurodos ocultos que tienen entradas conectadas a la pluralidad de puertos de entrada.

[0017] Como "perceptrón multicapa" se pretende una red neuronal artificial predictiva que comprende múltiples capas de neurodos en un gráfico dirigido, con cada capa conectada totalmente a la siguiente. Particularmente, si se emplea una capa oculta, dicho módulo de red neuronal incluye una única capa oculta que tiene salidas conectadas al neurodo de salida.

[0018] Preferentemente, el primer criterio de discriminación es uno de los siguientes: filtrado de ruido de señales de descarga, clasificación de señales de descarga.

[0019] Preferentemente, el módulo de red neuronal incluye una única capa oculta y es un módulo de software.

[0020] Alternativamente, el módulo de red neuronal tiene la estructura de un perceptrón e incluye un único neurodo conectado entre la entrada y el puerto de salida. Como "perceptrón" se pretende una red neuronal que comprende un único neurodo. Particularmente, dicho perceptrón se usa para implementar dicho criterio de adquisición de señales de descarga. Ventajosamente, dicho módulo de red neuronal es un módulo de hardware.

[0021] Preferentemente, cuando se realiza el segundo entrenamiento, dichos primer y segundo criterios de discriminación son el filtrado de ruido de señales de descarga y la clasificación de señales de descarga.

[0022] Ventajosamente, realizar el primer entrenamiento incluye: calcular una pluralidad de valores de pesos de dicha pluralidad de pesos suministrando al módulo de red neuronal contraejemplos para los que se solicita dicho segundo valor representativo de un resultado de no similitud.

5 **[0023]** Preferentemente, comparar por medio del módulo de red neuronal incluye:

definir una pluralidad de grupos de muestras, representando cada grupo de muestras una forma de onda de impulso de dicha pluralidad de formas de onda de impulso;
suministrar cada grupo de muestras a la pluralidad de puertos de entrada
10 obtener un valor de índice de similitud para cada grupo de muestras.

[0024] Ventajosamente, antes de suministrar cada grupo de muestras a la pluralidad de puertos de entrada, el procedimiento comprende además:

15 realizar una normalización de forma de onda en la que cada muestra del grupo de muestras se divide por un valor máximo absoluto de forma de onda;
realizar una alineación de picos para que cada muestra de pico de cada grupo de muestras se suministre a un puerto de entrada seleccionado de la pluralidad de puertos de entrada.

20 **[0025]** En particular, definir la primera forma de onda de impulso de referencia incluye: sintetizar la primera forma de onda de impulso de referencia de acuerdo con el primer criterio.

[0026] Alternativamente, definir la primera forma de onda de impulso de referencia incluye: seleccionar la primera forma de onda de impulso de referencia de entre dicha pluralidad de formas de onda de impulso.

25 **[0027]** Ventajosamente, el procesamiento incluye además:

detectar dichas señales de forma de onda de descarga parcial asociadas con descargas parciales de un componente eléctrico;
30 detectar una señal electromagnética de sincronización generada por una tensión eléctrica de corriente alterna asociada con el funcionamiento de un objeto eléctrico; sincronizar dichas señales de forma de onda de descarga parcial a dicha señal electromagnética de sincronización.

[0028] Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de procesamiento de señales
35 de descarga parcial como se define en la reivindicación 17.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0029] Características y ventajas adicionales resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción
40 ofrecida a título de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra un ejemplo de un objeto eléctrico, un sistema de adquisición de descarga parcial que comprende un aparato de detección de descarga parcial provisto de un dispositivo de adquisición y análisis y un módulo de procesamiento de selección.

45 La figura 2 muestra un ejemplo de módulo de procesamiento de descarga empleable por dicho sistema de adquisición de descarga parcial que comprende un módulo de filtrado de paso alto y un amplificador;
la figura 3 muestra un ejemplo de módulo de procesamiento de sincronización empleable por dicho sistema de adquisición de descarga parcial;

50 la figura 4 muestra esquemáticamente un dispositivo de adquisición y análisis;
la figura 5, a) muestra un ejemplo de la tendencia de una forma de onda de impulso que ha de ser procesada y la figura 5, b) muestra un primer ejemplo de un módulo de red neuronal empleable por dicho sistema de adquisición de descarga parcial que tiene la estructura de un perceptrón multicapa; la figura 6 muestra la arquitectura de un neurodo de ejemplificación empleable por dicho módulo de red neuronal;

55 la figura 7, a) muestra nuevamente dicho ejemplo de la tendencia de una forma de onda de impulso que ha de ser procesada y la figura 7, b) ilustra un segundo ejemplo del módulo de red implementado como un perceptrón;
la figura 8 muestra diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un procedimiento de procesamiento empleable por dicho sistema de adquisición de descarga parcial;

DESCRIPCIÓN DETALLADA

60 **[0030]** La Figura 1 muestra un objeto eléctrico 100 y un sistema de adquisición de descarga parcial 500 que comprende un aparato de detección de descarga parcial 400, un dispositivo de adquisición y análisis 300 y un módulo de procesamiento de selección 700 que es particularmente externo al aparato de detección de descarga parcial 400. El dispositivo de adquisición y análisis 300 puede estar incluido en un alojamiento que también contiene el aparato de
65 detección de descarga parcial 400 (como en la Figura 1) o puede proporcionarse en un alojamiento separado, por ejemplo, junto con el módulo de procesamiento de selección 700. Como ejemplo, el aparato de detección de descarga

parcial 400 es portátil e incluye una o más baterías.

[0031] El objeto eléctrico 100 puede ser cualquier clase de componente, dispositivo, aparato o sistema que pueda producir impulsos electromagnéticos de descarga parcial y es, como ejemplo: un cable de media o alta tensión, un empalme de cables, un aislador de línea aérea, una caja de cuadro de distribución de media o alta tensión, un cable de alta y extraalta tensión voltaje que usa GIS (aparamenta con aislamiento gaseoso), un motor o generador eléctrico o un transformador de media o alta tensión.

[0032] El sistema de adquisición de descarga parcial 500 es un aparato electrónico empleable para detectar, medir y/o procesar y analizar descargas parciales generadas por fuentes eléctricas como el objeto eléctrico 100. En particular, el sistema de adquisición de descarga parcial 500 puede ser portátil y está incluido en una carcasa no mostrada en las figuras.

[0033] El sistema de adquisición de descarga parcial 500 está configurado preferentemente para ser colocado cerca del objeto eléctrico 100 para detectar señales electromagnéticas de descarga S_d que corresponden a impulsos de descarga parcial emitidos por el objeto eléctrico 100. También se observa que en el área en la que se emplea el sistema de adquisición de descarga parcial 500 pueden estar presentes señales de ruido electromagnético S_n que podrían perturbar la detección de las señales electromagnéticas que corresponden a los impulsos de descarga parcial.

[0034] Las señales de descarga S_d que han de ser detectadas pueden ser impulsos de onda electromagnética que tienen frecuencias incluidas en el intervalo de 0,1 MHz a 100 MHz. Las señales de ruido S_n tienen típicamente frecuencias incluidas en el mismo intervalo de 0,1 MHz a 100 MHz.

[0035] El aparato de detección de descarga parcial 400 (en lo sucesivo, también denominado "aparato de detección" por concisión) comprende un sensor 1 que está adaptado para detectar las señales de descarga S_d , pero también puede recibir señales de ruido electromagnético no deseadas S_n . El sensor 1 puede ser un sensor de contacto o un sensor sin contacto. Un sensor de contacto se pone en contacto o cerca del objeto eléctrico 100, mientras que un sensor sin contacto o inalámbrico está adaptado para realizar una detección remota, es decir, sin hilos o cables que conecten la fuente y el dispositivo sensor y sin contacto físico. Como ejemplo, la detección remota puede realizarse a una distancia de la fuente de señal de 1 cm a 10 m. Ejemplos de sensores de contacto son: Sensor Rogowsky y sensor magnético de tipo transformador acoplador. Ejemplos de sensores sin contacto son: sensor de proximidad de campo magnético, sensor acústico y sensor piezoeléctrico.

[0036] De acuerdo con la realización descrita, el sensor 1 es una antena que puede estar montada, como ejemplo, en una estructura de soporte 2. Como ejemplo adicional, la antena 1 puede ser una de las siguientes antenas: antena de parche pequeño, antena de cuadro, dipolo y antena de banda ultra ancha. Preferentemente, la antena 1 es de forma esférica e incluye una esfera hueca en material eléctricamente conductor tal como, por ejemplo, metal o material polimérico. La antena de forma esférica 1 muestra, como ejemplo, un diámetro comprendido entre 3 y 30 cm, preferentemente comprendido entre 5 y 20 cm. En particular, la antena 1 puede ser análoga a la descrita en la solicitud de patente WO-A-2009-150627.

[0037] La antena 1 está configurada para recibir las señales de descarga S_d y la señal de ruido no deseada S_n y convertirlas en una señal eléctrica recibida S_{in1} (por ejemplo, una corriente eléctrica) disponible en un primer terminal de salida 3. El aparato de detección de descarga parcial 400 de la figura 1 comprende además un módulo de procesamiento de descarga 600 y un módulo de procesamiento de sincronización 200. El módulo de procesamiento de descarga 600 muestra un primer terminal de entrada 5 conectado, por medio de una primera línea conductora 4, al primer terminal de salida 3 de la antena 1 y está estructurado para realizar un filtrado de paso de banda y/o una amplificación de la señal eléctrica recibida S_{in1} proporcionando así una señal de descarga de salida S_{d-out} en el segundo terminal de salida 6.

[0038] La figura 2 se refiere a un ejemplo del módulo de procesamiento de descarga 600 que comprende un módulo de filtrado de paso alto 7 que tiene una entrada respectiva conectada al primer terminal de entrada 5 y estructurado para eliminar el ruido de baja frecuencia, tal como señales que tienen frecuencias inferiores a 0,1 MHz. Como ejemplo, el módulo de filtrado de paso alto 7 puede incluir un primer condensador C1 conectado en serie con una primera resistencia R1. Una salida del módulo de filtrado de paso alto 7 está conectada a un primer amplificador 8 que tiene un terminal de salida respectivo conectado al segundo terminal de salida 6. Como ejemplo, puede conectarse otro filtro, como un filtro de paso de banda, supresor de banda o de paso bajo (no mostrado) a la salida del módulo de filtrado de paso alto 7 para obtener una respuesta de frecuencia de paso de banda global con características deseadas.

[0039] El primer amplificador 8 está provisto de un primer terminal de suministro 9 para una tensión de suministro V_1 y un segundo terminal de suministro 10 conectado a un terminal de tierra GND. El primer amplificador 8 muestra, como ejemplo, un ancho de banda que incluye al menos el ancho de banda de la primera antena 1, como ejemplo, un ancho de banda que varía de 0,1 MHz a 100 MHz.

[0040] El módulo de procesamiento de sincronización 200 incluido en el aparato de detección 400 está

configurado para recibir, filtrar y amplificar una primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} en un segundo terminal de entrada 11 y proporcionar en un tercer terminal de salida 12 una segunda señal eléctrica de sincronización S_{syn2} . La primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} representa la tendencia de la tensión eléctrica de CA (corriente alterna) suministrada al objeto eléctrico 100 bajo prueba. Típicamente, la tensión eléctrica de CA tiene una frecuencia comprendida entre 1 Hz y aproximadamente 1000 Hz. La primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} puede obtenerse, por ejemplo, mediante una detección inalámbrica y sin contacto, realizada por la antena 1, de una señal electromagnética de suministro S_{sup} generada por la tensión eléctrica que pasa a través del objeto eléctrico 100.

[0041] El segundo terminal de entrada 11 está conectado a la primera línea conductora 4 para recibir la señal eléctrica recibida S_{in1} , que también incluye la primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} . En el presente ejemplo, la antena 1 está diseñada para funcionar como un sensor de acoplamiento capacitivo para detectar la primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} de la señal electromagnética de suministro S_{sup} . Además, la antena 1 está diseñada para ofrecer un acoplamiento capacitivo adecuado con la tensión eléctrica de CA (corriente alterna) que alimenta el objeto eléctrico 100 que muestra, como ejemplo, una superficie de acoplamiento adecuada.

[0042] Alternativamente, la primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} puede detectarse mediante un sensor de sincronización 13 conectable al segundo terminal de entrada 11, tal como una antena adicional para una detección inalámbrica y sin contacto, u otro tipo de sensor para ser puesto en contacto con el objeto eléctrico 100 o con otro componente eléctrico que funcione a la misma tensión eléctrica suministrada al objeto eléctrico 100.

[0043] La figura 3 muestra el módulo de procesamiento de sincronización 200 que comprende un módulo amplificador 14, tal como un amplificador separador de alta ganancia, que tiene una entrada conectada al segundo terminal de entrada 11 y un cuarto terminal de salida 15 conectado a un módulo de filtro de paso bajo 16. El amplificador separador de alta ganancia 14 también está provisto de un tercer terminal de alimentación 17 para la tensión de alimentación VI y un cuarto terminal de alimentación 18 conectado al terminal de tierra GND.

[0044] Como ejemplo, el amplificador separador de alta ganancia 14 es un amplificador de tensión y tiene una ganancia superior a 100. Además, el amplificador separador de alta ganancia 14 muestra una impedancia de entrada-salida superior a 1 MOhm y puede tener un ancho de banda global inferior a 1 kHz. El módulo de filtro de paso bajo 16 incluye, en este ejemplo, una segunda resistencia R2, conectada entre el cuarto terminal de salida 15 y un nodo 19, y un segundo condensador C2 conectado entre el nodo 19 y el terminal de tierra GND. El nodo 19 está conectado al tercer terminal de salida 12.

[0045] El dispositivo de adquisición y análisis 300 y/o el módulo de procesamiento de selección 700 está(n) configurado(s) para realizar un procedimiento de discriminación de la señal de descarga de salida S_{d-out} según al menos uno de los siguientes criterios de discriminación: adquisición de señales de descarga, filtrado de ruido de señales de descarga y clasificación de señales de descarga. En particular, cada criterio de discriminación puede implementarse mediante una comparación con una forma de onda de impulso de referencia elegida adecuadamente, es decir, que muestra una amplitud del impulso que tiene que ser superior a un nivel umbral. El procedimiento de adquisición de señal de descarga permite seleccionar y almacenar formas de onda de impulso que cumplen un criterio particular basado, como ejemplo, en características predeterminadas que el impulso tiene que mostrar para ser adquirido. En particular, este criterio de discriminación se implementa mediante una comparación de la señal de descarga de salida S_{d-out} con una forma de onda de impulso de referencia. Se adquieren las formas de onda de impulso que muestran un cierto grado de similitud con la forma de onda de referencia (se genera un evento de activación), de lo contrario, se rechazan.

[0046] El procedimiento de filtrado de ruido de señales de descarga permite identificar entre la señal de descarga de salida S_{d-out} , o en señales derivadas de la señal de descarga de salida S_{d-out} , formas de onda de impulso que corresponden a fenómenos de descarga parcial reales y rechazar formas de onda de ruido. Según un ejemplo, este procedimiento de filtrado de ruido de señales de descarga puede ser adicional al filtrado de ruido realizado en el módulo de procesamiento de descarga 600. En particular, este criterio de discriminación se implementa mediante una comparación con una forma de onda de impulso de referencia que muestra una forma típica de los fenómenos de descarga parcial y diferente de las señales de ruido.

[0047] El procedimiento de clasificación de señales de descarga permite agrupar formas de onda de impulso, seleccionadas de la señal de descarga de salida S_{d-out} , o señales derivadas de la señal de descarga de salida S_{d-out} , en una pluralidad de clases diferentes que corresponden a diferentes fenómenos de descarga parcial. Como ejemplo, una primera clase de impulso de descarga parcial se refiere a señales de descarga parcial debidas a un defecto en el dieléctrico interno del objeto eléctrico, mientras que una segunda clase de impulso de descarga parcial se refiere a un defecto en la superficie y otra a descarga por efecto corona. En particular, este criterio de discriminación se implementa mediante una comparación con una forma de onda de impulso de referencia que muestra una forma típica de la clase predeterminada.

[0048] Cada uno de los criterios de discriminación mencionados anteriormente puede implementarse por medio de un módulo de red neuronal incluido en el dispositivo de adquisición y análisis 300 y/o en el módulo de procesamiento de selección 700. El módulo de red neuronal puede configurarse para implementar un procedimiento de discriminación

según un único criterio. En este caso, para implementar un procedimiento de discriminación según dos o tres de los criterios de discriminación enumerados anteriormente, se emplean dos o tres módulos de red neuronal separados, respectivamente. Alternativamente, puede proporcionarse un único módulo de red neuronal para implementar selectivamente más de un criterio de discriminación.

5

[0049] El procedimiento de adquisición de señales de descarga puede realizarse mediante el dispositivo de adquisición y análisis 300, mientras que el procedimiento de filtrado de ruido de señales de descarga y el procedimiento de clasificación de señales de descarga pueden realizarse mediante el módulo de procesamiento de selección 700.

- 10 **[0050]** Con referencia a este primer ejemplo, el dispositivo de adquisición y análisis 300 de la figura 1 está configurado para recibir la señal de descarga de salida S_{d-out} y realizar etapas de procesamiento para producir una pluralidad de muestras digitales DS que representan esta señal de descarga de salida S_{d-out} . En particular, el dispositivo de adquisición y análisis 300 está configurado para representar una forma de onda de impulso de la señal de descarga de salida S_{d-out} con varias muestras comprendidas entre 32 y 256. Como ejemplo, el dispositivo de adquisición y análisis 300 está estructurado para realizar etapas de procesamiento de conversión analógica-digital, selección, adquisición y sincronización.

- 20 **[0051]** La figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo del dispositivo de adquisición y análisis 300 que comprende un amplificador programable de banda ancha opcional 71 que tiene una entrada conectada al segundo terminal de salida 6 del módulo de procesamiento de descarga 600 y una salida respectiva conectada a un convertidor analógico-digital 72 (ADC). El dispositivo de adquisición y análisis 300 también incluye un módulo de control 73 tal como una matriz de puertas programables *in situ* (FPGA) que está estructurada para controlar el amplificador programable de banda ancha 71 y recibir datos del convertidor analógico-digital 72. El amplificador programable de banda ancha 71 puede programarse para impartir a la señal de salida de descarga S_{d-out} un valor de compensación y un valor de ganancia de amplificación por medio de la señal de compensación S_{off} y una señal de ganancia S_{9a} proporcionada por el módulo de control 73, produciendo así una señal de salida amplificada S_{aout} .

- 30 **[0052]** El amplificador programable de banda ancha 71 permite, como ejemplo, una variación de ganancia continua que varía de aproximadamente -5 dB a +40 dB. El convertidor analógico-digital 72 está estructurado para ser sincronizado por una señal de reloj CK generada por el módulo de control 73 y generar datos convertidos DTA para ser enviados al módulo de control 73. El convertidor analógico-digital 72 es, como ejemplo, capaz de convertir 250 megamuestreadores por segundo con una resolución de 8 bits. Esta frecuencia de muestreo permite adquirir la señal eléctrica de descarga S_{d-out} con una resolución de tiempo de 4 ns. Se observa que la mayoría de impulsos de descarga parcial normalmente duran más de 0,5 ms.

35

[0053] En particular, el módulo de control 73 incluye una unidad de procesamiento (PU) 74, como un microprocesador, una memoria 75 (M), como una RAM (memoria de acceso aleatorio) y un módulo de lógica de sincronización 76 (SINL). Más particularmente, la memoria 75 puede ser una memoria intermedia circular. La unidad de procesamiento 74 está conectada a un módulo de temporización (TM) 87 que proporciona una señal de reloj.

40

[0054] El módulo de lógica de sincronización 76 está configurado para recibir la segunda señal de sincronización S_{syn2} , extraer de él la información de temporización transportada, como el período y la fase de la tensión eléctrica de CA, y transferir la información a la unidad de procesamiento 74.

- 45 **[0055]** Un puerto de entrada/salida 77 permite transferir comandos de salida Comm generados por la unidad de procesamiento 74 al amplificador programable de banda ancha 71 bajo la forma de la señal de compensación S_{off} y la señal de ganancia S_{9a} .

- 50 **[0056]** El módulo de control 73 también está provisto de un módulo de activación (TRLM) 78 y de un módulo de generación de direcciones (ADD-GEN) 79 configurado para generar las direcciones necesarias para escribir nuevos datos en la memoria 75 y leer datos almacenados en la memoria 75, bajo el control de la unidad de procesamiento 74.

- 55 **[0057]** El módulo de activación 78 está estructurado para realizar el procedimiento de adquisición de señales de descarga y está configurado para activar la memorización de muestras de la señal de salida amplificada S_{aout} que sale del amplificador programable de banda ancha 71 solo para muestras de la señal de salida amplificada S_{aout} que cumplen el criterio de discriminación.

- 60 **[0058]** El módulo de control 73 comprende además un módulo de interfaz de anfitrión (INTF) 80 que permite la transferencia de datos de neurodo a un transceptor (TR) 81, por ejemplo, un transceptor USB/Ethernet, configurado para intercambiar datos/comandos con el módulo de procesamiento de selección 700 por una línea de conexión cableada o inalámbrica BD.

- 65 **[0059]** El módulo de control 73 también puede estar provisto de un módulo de extracción 83 (por ejemplo, un coprocesador CO-P) conectado a la unidad de procesamiento 74. El módulo de extracción 83 está configurado para realizar la extracción, particularmente, extracción en tiempo real de características de impulso desde el almacén de datos en la memoria 79. Ejemplos de posibles características de pulso extraídas por el coprocesador son: valor de

pico y polaridad, fase, energía, duración y estimación aproximada de los parámetros de Weibull.

[0060] De acuerdo con el primer ejemplo descrito, el módulo de activación 78 incluye un primer módulo de red neuronal 800; un ejemplo de la arquitectura del primer módulo de red neuronal 800 se muestra en la figura 5b. El primer módulo de red neuronal 800 está configurado para proporcionar un índice de similitud SI que representa una similitud entre una señal de referencia y una señal de forma de onda de entrada. El índice de similitud SI puede suponer selectivamente un primer valor (por ejemplo, el valor 1) representativo de un resultado de similitud positivo o un segundo valor (por ejemplo, el valor 0) representativo de un resultado de no similitud.

10 **[0061]** El primer módulo de red neuronal 800 de la figura 5b comprende una pluralidad de puertos de entrada IP_1 - IP_N , al menos una capa oculta 801 interconectada con la pluralidad de puertos de entrada IP_1 - IP_N , un neurodo de salida ON_1 y un puerto de salida OP_1 (por ejemplo, un único puerto de salida). El primer módulo de red neuronal particular 800 mostrado en la figura 5b tiene la estructura de un perceptrón multicapa que tiene una única capa oculta 801. La capa oculta 801 comprende una pluralidad de neurodos ocultos HN_1 - HN_H que tienen entradas conectadas a la pluralidad de puertos de entrada IP_1 - IP_N y que tienen cada una una salida conectada al neurodo de salida ON_1 .

15 **[0062]** La figura 5,a) muestra un ejemplo de una tendencia de una forma de onda de impulso PW_s incluida en la señal de salida amplificada S_{out} recibida en el convertidor analógico-digital 72. El convertidor analógico-digital 72 está estructurado para representar la forma de onda de impulso PW_s por medio de muestras SW_1 - SW_N . En particular, el número N de los puertos de entrada IP_1 - IP_N es igual al número de muestras SW_1 - SW_N . Cada muestra SW_1 - SW_N está representada por un valor digital.

25 **[0063]** La figura 6 muestra la arquitectura de un neurodo ejemplar EN que puede corresponder a uno del neurodo HN_1 - HN_H de la capa oculta 801 o al neurodo de salida ON_1 . La arquitectura del neurodo EN muestra una pluralidad de entradas X_1 - X_n , una entrada de polarización B (por ejemplo, fijada en 1), una pluralidad de pesos W_0 - W_n , un nodo de suma 802 (Σ), un módulo de función de activación 803 ($f(\Sigma)$) y una salida 804. El neurodo EN está configurado para que el valor de cada entrada X_i sea multiplicado por un peso W_i y sumados juntos en el nodo de suma 803. La salida del neurodo se calcula como una función f de esta suma.

30 **[0064]** El módulo de función de activación 803 empleado en el módulo de red neuronal 800 puede ser una función no lineal similar a un escalón como la función de activación sigmoide. Otras funciones de activación empleables son: función de identidad, función tangentoide, función escalón, función signo y función lineal por tramos. Las funciones continuas (por ejemplo, sigmoide, tangentoide y lineal por tramos, etc.) logran mejores resultados en comparación con las funciones discontinuas (como escalón, signo, etc.).

35 **[0065]** De acuerdo con una primera realización del primer módulo de red neuronal 800, cada neurodo oculto HN_1 - HN_H de la capa oculta 801 y el neurodo de salida ON_1 incluye una entrada de polarización B y emplea una función de activación lineal por tramos. Como ejemplo, pueden emplearse 4 neurodos ocultos HN_1 - HN_4 y se implementan 256 puertos de entrada IP_1 - IP_N .

40 **[0066]** El primer módulo de red neuronal 800 puede ser entrenado eligiendo un grupo de referencia de muestras que han de usarse como muestra de entrada y eligiendo un resultado de salida objetivo del índice de similitud SI. Durante la etapa de entrenamiento, los datos de entrada se aplican a los puertos de entrada IP_1 - IP_N , se calcula un índice de corriente en el puerto de salida OP_1 del primer módulo de red 800 (avanzando desde las entradas a las salidas) y se evalúa la diferencia con la salida objetivo, es decir, un error.

45 **[0067]** A continuación, los pesos W_0 - W_n se ajustan iterativamente con el fin de minimizar el error. Una vez que el error es suficientemente bajo, el primer módulo de red neuronal 800 puede proporcionar la salida correcta para cada entrada recibida. Si el primer módulo de red neuronal 800 está provisto de la capa oculta 801, puede usarse un algoritmo llamado "retropropagación" para realizar el entrenamiento. Este algoritmo ajusta los pesos W_0 - W_n , comenzando desde el resultado de salida y avanzando hacia la capa de entrada, y es bastante pesado de implementar para grandes redes neuronales. Si no están presentes capas ocultas, los algoritmos de entrenamiento son bastante simples y rápidos (es decir, una regla de Hebb, una regla Delta u otras reglas). En ambos casos, el entrenamiento puede realizarse en software y, una vez que los valores resultantes de los pesos W_0 - W_n están disponibles, se descargan en el módulo de hardware. Esto evita una implementación de hardware de los circuitos de entrenamiento.

50 **[0068]** De acuerdo con un segundo ejemplo (mostrado en la figura 7b), el primer módulo de red neuronal 800 se implementa como un perceptrón. Un perceptrón es una red neuronal que tiene un único neurodo, por lo que el primer módulo de red neuronal 800 de la figura 7b es análogo a la primera realización mostrada en la figura 5,b) pero no comprende ninguna capa oculta: los puertos de entrada IP_1 - IP_N están dirigidos conectados al neurodo de salida ON_1 . En particular, el módulo de red neuronal 800 es un perceptrón que emplea una función de activación lineal o una función de activación lineal por tramos. La función de activación lineal por tramos 803 es, como ejemplo, una función de activación escalón y los pesos W_0 - W_n son coeficientes de un bit. Se observa que un perceptrón que tiene una función de activación lineal es un ejemplo particular de una red ADALINE (ADaptive LInear NEuron - neurona lineal adaptativa). Una red ADALINE es una red neuronal de una única capa.

[0069] El módulo de activación 78 es implementado preferentemente por el primer módulo de red neuronal 800 del segundo ejemplo (como se muestra en la figura 7b). En particular, el primer módulo de red neuronal 800 del módulo de activación 78 se implementa en hardware y los pesos se implementan en hardware como coeficientes fijos W_0-W_n . El procedimiento de entrenamiento del segundo ejemplo mostrado en la figura 7b es más fácil que el del primer ejemplo
5 mostrado en la figura 6b y requiere menos capacidad de memoria. Por ejemplo, cada muestra SW_i de una forma de onda de impulso PW_s puede representarse mediante un número entero de 1 a 8 bits. En particular, puede usarse una regla de Hebb o una regla delta para realizar el procedimiento de entrenamiento.

[0070] Esto permite una gran reducción de requisitos de cálculo y de memoria para almacenar pesos. Cuando
10 se usa con fines de activación, el ejemplo preferido conlleva una ventaja sustancial en comparación con el MLP completo. Dado que el ANN tiene que implementarse en hardware por medio de circuitos lógicos con el fin de manejar la alta tasa de muestreo comúnmente usada en estas aplicaciones (100 a 200 MHz), la disponibilidad de un circuito simplificado es esencial.

[0071] Con referencia ahora al módulo de selección y procesamiento 700 (figuras 1 y 4), comprende los siguientes módulos/dispositivos: un transceptor (TR) 701 para intercambiar datos/comandos con el dispositivo de adquisición y análisis 300, una unidad de procesamiento (PU) adicional 702, módulos de memoria (M) 703, un dispositivo de visualización e interfaz (DYS) 704, como un teclado y/o una pantalla táctil. Además, el módulo de selección y procesamiento 700 comprende al menos un segundo módulo de red neuronal 900 que está configurado,
20 en particular, para implementar: filtrado de ruido de señales de descarga y/o clasificación de señales de descarga.

[0072] El módulo de selección y procesamiento 700 también permite recibir la pluralidad de muestras digitales DS junto con la información de temporización recibida desde el dispositivo de adquisición y análisis 300 y producir un patrón de resolución de fase en el que cualquier muestra digital DS está asociada con una fase sincronizada
25 adecuadamente con la señal electromagnética de alimentación S_{sup} . Como ejemplo, el módulo de procesamiento 700 permite visualizar este patrón de resolución de fase en el que la amplitud máxima de cada impulso se representa gráficamente frente al valor de fase correspondiente, y/o las muestras de las formas de onda de impulso se visualizan frente al tiempo.

[0073] De acuerdo con un ejemplo, el segundo módulo de red neuronal 900 puede ser idéntico o análogo al primer segundo módulo de red neuronal 800 descrito con referencia a las figuras 6, 7 y 8. En particular, el filtrado de ruido de las señales de descarga y la clasificación de las señales de descarga pueden implementarse mediante dos módulos de red neuronal respectivos, cada uno análogo al segundo módulo de red neuronal 900, o el segundo módulo de red neuronal 900 puede usarse tanto para implementar el filtrado de ruido de señales de descarga como la
35 clasificación de señales de descarga. Preferentemente, el segundo módulo de red neuronal 900 es un módulo de software y, en particular, es análogo al primer módulo de red neuronal 800 que se muestra en la figura 5b y que comprende una capa oculta 801. Como ejemplo, para el filtrado de ruido y la clasificación de señales de descarga, cada muestra SW_i de una forma de onda de impulso PW_s puede representarse por un número entero de 1 a 8 bits y los coeficientes W_0-W_n pueden tener una representación numérica de coma fija (por ejemplo, representación de 16 bits) o representación numérica de coma flotante (por ejemplo, representación de 32 bits).
40

[0074] La figura 8 muestra un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo del procedimiento de procesamiento 1100 empleable por el primer módulo de red neuronal 800 o por el segundo módulo de red neuronal 900 al implementar uno de los criterios de discriminación enumerados anteriormente. El procedimiento de procesamiento 1100 comprende
45 una etapa de configuración 1000 en la que se establece un primer criterio de discriminación entre los siguientes criterios: adquisición de señales de descarga, filtrado de ruido de señales de descarga, clasificación de señales de descarga. La etapa de configuración 1000 puede realizarse mediante un módulo de configuración correspondiente, como un módulo de software, incluido en el dispositivo de adquisición y análisis 300 y/o en el módulo de procesamiento de selección 700. El procedimiento de procesamiento 1100 incluye además una etapa de selección de referencia 1001 (REF-SEL) en el que se elige al menos un impulso de referencia RF según el criterio de discriminación específico que ha de implementarse. En particular, se selecciona un conjunto de impulsos de referencia RF. Los impulsos de referencia RF pueden ser seleccionados manualmente por el usuario empleando un módulo de selección de referencia correspondiente, como un componente de software, incluido en el dispositivo de adquisición y análisis 300 y/o en el módulo de procesamiento de selección 700.
50

[0075] Este conjunto de impulsos de referencia RF puede diseñarse específicamente (sintetizarse) como se describirá con más detalle con referencia al funcionamiento del módulo de activación 78. Con referencia a la discriminación de filtrado de ruido o los criterios de clasificación, el conjunto de impulsos de referencia RF puede elegirse entre un patrón de resolución de fase, es decir, una pluralidad de formas de onda de impulso, almacenado en
60 la memoria 703 del módulo de procesamiento de selección 700, como se representa en la figura 8 mediante una etapa de recuperación (RF-RETR) 1002. Cada impulso de referencia RF puede ser uno del grupo ya adquirido de muestras digitales DS que corresponde a una forma de onda de impulso que muestra algunas propiedades específicas, como la posición en el patrón de resolución de fase, el intervalo específico de algún valor de característica de impulso, indicación de tiempo u otros parámetros. En particular, los impulsos de referencia RF pueden ser los impulsos ubicados
65 en un área específica del patrón de resolución de fase que tienen una distancia vectorial corta desde un punto en el patrón de resolución de fase señalado por el usuario. Esta estrategia puede producir resultados satisfactorios ya que,

generalmente, los impulsos encontrados en la misma región del patrón de resolución de fase se originan por el mismo fenómeno físico y, por lo tanto, tienen una forma similar. Cabe señalar que la selección de impulsos de referencia RF entre impulsos similares no es particularmente crítica ya que la relación de similitud es transitiva.

5 **[0076]** Preferentemente, el procedimiento de procesamiento 1000 incluye una etapa de normalización de forma de onda (WAV-NORM) 1003 y una etapa de alineación de pico (PK-ALGN) 1004. En la etapa de normalización de forma de onda 1003, cada muestra de cada forma de onda de impulso PW_s se divide por el máximo absoluto de forma de onda. La etapa de alineación de pico 1004 se realiza desplazando las muestras de forma de onda hacia adelante o hacia atrás a lo largo de los puertos de entrada IP_1 - IP_N para que cada muestra de pico de cada forma de onda de impulso se suministre a un puerto de entrada seleccionado de la pluralidad de puertos de entrada IP_1 - IP_N con el fin de alinear la posición de los valores máximos de todas las formas de onda de impulso procesadas. La etapa de normalización de forma de onda (WAV-NORM) 1003 y una etapa de alineación de pico (PK-ALGN) 1004 pueden implementarse mediante módulos de cálculo correspondientes, como componentes de software, que se ejecutan bajo el control de la unidad de procesamiento 74 y/o la unidad de procesamiento adicional 702.

15 **[0077]** La etapa de normalización de forma de onda 1003 y la etapa de alineación de pico 1004 permiten eliminar dos diferencias no esenciales en las formas de onda, debido a la escala y el desplazamiento de tiempo, requiriendo así una arquitectura menos compleja del primer módulo de red neuronal 800 y el segundo módulo de red neuronal 900 para realizar el procesamiento.

20 El procedimiento de procesamiento 1100 incluye una etapa de entrenamiento (TRN) 1005 en la que el primer módulo de red neuronal 800 o el segundo módulo de red neuronal 900 se entrena empleando datos de entrada de entrenamiento que corresponden al conjunto seleccionado de impulsos de referencia RF y un conjunto de formas de onda de contraejemplo. Una forma de onda de contraejemplo puede ser una forma de onda de impulso específicamente diseñada (sintetizada) o puede ser uno del grupo ya adquirido de muestras digitales DS que corresponde a una forma de onda de impulso ubicada fuera del área del patrón de resolución de fase elegido por el usuario para seleccionar el conjunto de impulsos de referencia RF. La etapa de entrenamiento 1005 se realiza suministrando datos de entrada de entrenamiento en los puertos de entrada IP_1 - IP_N , calculando los resultados en el puerto de salida OP_1 y calculando errores con respecto a los valores objetivo del índice de similitud SI. A continuación, los pesos W_0 - W_n se ajustan iterativamente con el fin de minimizar el error. En la etapa de entrenamiento 1005, cuando uno de los impulsos de referencia RF se emplea como datos de entrada de entrenamiento, el valor objetivo se establece en 1, cuando uno de los contraejemplos se usa como datos de entrada de entrenamiento, el valor objetivo se establece en 0. La etapa de entrenamiento 1005 puede ser gestionada por un módulo de entrenamiento, como un componente de software provisto en el dispositivo de adquisición y análisis 300 y/o en el módulo de procesamiento de selección 700. Se observa que cuando el primer módulo de red neuronal 800 o el segundo módulo de red neuronal 35 900 es implementado por un perceptrón (figura 7b) y se emplea un único impulso de referencia RF, la etapa de entrenamiento 1005 puede llevarse a cabo eligiendo cada peso W_0 - W_n igual a un valor del grupo de muestras que corresponde al impulso de referencia RF empleado. También se observa que, en este caso, el perceptrón de la figura 7b opera realizando una comparación de correlación cruzada. La etapa de entrenamiento 1005 se lleva a cabo usando muestras que resultan de la etapa de normalización de forma de onda 1003 y la etapa de alineación de pico 1004.

40 **[0078]** En una etapa de cálculo (COMP) 1006, el primer módulo de red neuronal 800 o el segundo módulo de red neuronal 900 es alimentado, en una etapa de suministro (PLS-SUP-PL) 1007, con una pluralidad de muestras digitales que corresponden a una forma de onda de impulso que ha de ser procesada. Con referencia al criterio de adquisición, la forma de onda de impulso está incluida en la señal de salida amplificada S_{aout} . Si se realiza el procedimiento de filtrado de ruido, las formas de onda de impulso son las muestras digitales DS adquiridas por el módulo de activación 78 y enviadas al módulo de procesamiento 700. Al llevar a cabo el procedimiento de clasificación, las formas de onda de impulso suministradas a los puertos de entrada IP_1 - IP_N son las muestras que corresponden a las formas de onda de impulso seleccionadas al aplicar el procedimiento de filtrado de ruido. La etapa de cálculo 1006 se lleva a cabo usando muestras que han sido procesadas según la etapa de normalización de forma de onda 1003 y la etapa de alineación de pico 1004.

[0079] Basándose en los valores de los índices de similitud SI obtenidos por el primer módulo de red neuronal 800 o el segundo módulo de red neuronal 900, las formas de onda de impulso pueden ser rechazadas (etapa de rechazo REJ 1008) o pueden ser seleccionadas y memorizadas (etapa de memorización MEM 1009). Sin embargo, 55 las formas de onda de impulso rechazadas pueden ser memorizadas con el fin de realizar análisis adicionales. Si el procedimiento de procesamiento 1100 implementa el criterio de adquisición de señales de descarga o el criterio de filtrado de ruido, las formas de onda de impulso seleccionadas en la etapa de memorización 1009 pueden ser almacenadas en la memoria 703.

[0080] A continuación, se describe en esta solicitud un ejemplo del funcionamiento del sistema de adquisición de descarga parcial 500 que implementa una realización particular del procedimiento de procesamiento 1100.

[0081] En funcionamiento (figura 1), la antena 1 capta las señales de descarga S_d , las señales de ruido S_n y la señal electromagnética de suministro S_{sup} y genera la señal eléctrica recibida S_{in1} . La señal eléctrica recibida S_{in1} es filtrada por el módulo de procesamiento de descarga 600, reduciendo así las componentes externas al intervalo de 65 frecuencia de 0,1 MHz a 100 MHz y produciendo la señal de descarga de salida S_{d-out} que ha de ser alimentada al dispositivo de adquisición y análisis 300. La señal eléctrica recibida S_{in1} o una señal captada por el sensor de

sincronización 13 es transferida al segundo terminal de entrada 11 para formar la primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} que entra al módulo de procesamiento de sincronización 200. El módulo de procesamiento de sincronización 200 amplifica y filtra la primera señal eléctrica de sincronización S_{syn1} produciendo así la segunda señal eléctrica de sincronización S_{syn2} que es suministrada al dispositivo de adquisición y análisis 300.

5

[0082] Con referencia al funcionamiento del dispositivo de adquisición y análisis 300, el módulo de control 73 realiza una etapa de configuración y una etapa de adquisición. En la etapa de configuración, se establecen parámetros de adquisición, como la ganancia del amplificador programable de banda ancha 71, y el entrenamiento e inicialización del primer módulo de red 800 del módulo lógico de activación 78. El entrenamiento del módulo lógico de activación 78 se realiza considerando al principio un impulso arquetípico sintético (es decir, una forma de impulso específicamente diseñada y que presenta todas las características deseadas) como impulso de referencia. Este impulso arquetípico sintético puede sustituirse posteriormente por uno o más impulsos de referencia RF elegidos entre una pluralidad de señales de descarga ya adquiridas.

10

15 **[0083]** En la etapa de adquisición, la unidad de procesamiento 74, el módulo lógico de activación 78 y el módulo de generación de dirección 79 gestionan el almacenamiento en la memoria 75 de los datos que corresponden a la señal de salida amplificada S_{aout} . Cuando el módulo de activación 78 que implementa el procedimiento de procesamiento 110 detecta, por medio del módulo de red neuronal 800, un índice de similitud SI en el puerto de salida OP_1 que indica que una forma de onda de impulso particular cumple el criterio de adquisición, el impulso de forma de onda correspondiente es adquirido bajo la forma de una pluralidad de muestras digitales DS (es decir, almacenadas en la memoria 75) y se detiene la adquisición de datos adicionales. Se observa que la señal de salida amplificada S_{aout} que entra en el módulo de lógica de activación 78 puede ser un flujo de muestras continuo en lugar de un conjunto fijo de muestras. En este caso, como se representa en la figura 7b mediante una flecha DST, la señal de salida amplificada S_{aout} es suministrada al primer módulo de red neuronal 800 desplazando cada muestra a través de los puertos de entrada OP_1 - OP_N , como en un registro de desplazamiento: cuando un impulso válido PW_s está en la posición correcta, el puerto de salida de similitud OP_1 produce un índice de similitud que tiene el valor 1, señalando así un activador.

20

25

[0084] La unidad de procesamiento 74 recoge la información de temporización del módulo de lógica de sincronización 76 y el módulo de temporización 87 y envía la pluralidad de muestras digitales DS almacenadas en la memoria 75 junto con la información de temporización correspondiente al módulo de procesamiento de selección 700.

30

[0085] El módulo de procesamiento de selección 700 recibe la pluralidad de muestras digitales DS y la información de temporización y, por medio del segundo módulo de red neuronal 900, realiza un filtrado de ruido de señales de descarga de la pluralidad de datos digitales DS implementando el procedimiento de procesamiento 1100. Con el fin de realizar el filtrado de ruido de señales de descarga, el segundo módulo de red neuronal 900 ha sido entrenado previamente con un grupo correspondiente de muestras de referencia que representan una forma de onda de impulso de descarga parcial de referencia. El segundo módulo de red neuronal 900 produce un índice de similitud SI suponiendo valores 1 o 0, indicando así si un impulso particular puede considerarse un impulso de descarga parcial o si debe considerarse un impulso de ruido, respectivamente. El módulo de procesamiento de selección 700 almacena o visualiza la pluralidad de muestras digitales filtradas que muestran un índice de similitud positivo como resultado de los criterios de discriminación basados en el filtrado de ruido de señales de descarga implementado por el segundo módulo de red neuronal 900.

35

40

[0086] El segundo módulo de red neuronal 900, u otro módulo de red neuronal, se usa para implementar los criterios de discriminación con respecto a la clasificación de señales de descarga aplicando el procedimiento de procesamiento 1100. Con el fin de realizar la clasificación de señales de descarga, el segundo módulo de red neuronal 900 es entrenado previamente con otro grupo de muestras de referencia que representan otra forma de onda de impulso de descarga parcial de referencia que pertenece a una clase predeterminada. El segundo módulo de red neuronal 900 produce un índice de similitud suponiendo valores 1 o 0, indicando así si un impulso particular puede considerarse perteneciente a la clase predeterminada o tiene que considerarse no incluido en esa clase, respectivamente. El mismo segundo módulo de red neuronal 900 puede usarse para agrupar impulsos pertenecientes a otra clase o subclase.

45

50

[0087] Como queda claro para la descripción anterior, el procedimiento de procesamiento de señal de descarga parcial 1100, que usa un módulo de red neuronal entrenado para calcular un índice de similitud, puede emplearse para diversos criterios de discriminación (como: adquisición de impulso, filtrado de ruido de impulso y clasificación de impulso) cambiando el impulso de referencia empleado en la etapa de entrenamiento. Esta flexibilidad del procedimiento descrito se logra con una estructura no compleja que muestra una dificultad de cálculo compatible tanto con aparatos de detección portátiles como no portátiles, permitiendo así el uso del sistema de adquisición de descarga parcial descrito en diferentes entornos.

55

60

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de procesamiento de señales de descarga parcial (1100) que comprende:
 - 5 establecer (1000) un primer criterio de discriminación entre los siguientes criterios: adquisición, filtrado de ruido, clasificación de señales de descarga parcial;
proporcionar (1002) una pluralidad de formas de onda de impulso asociadas con señales de forma de onda de descarga parcial detectadas;
definir (1001) al menos una primera forma de onda de impulso de referencia (RF) que tiene características que
10 dependen del primer criterio establecido;
proporcionar un módulo de red neuronal (800, 900) que tiene un único puerto de salida (OP₁) configurado para proporcionar un índice de similitud;
realizar un primer entrenamiento (1005) del módulo de red neuronal (800; 900) proporcionando un grupo de
15 referencia de muestras de dicha al menos una primera forma de onda de impulso de referencia al módulo de red neuronal para producir el índice de similitud suponiendo selectivamente un primer valor y un segundo valor representativos de una similitud/no similitud de una forma de onda de impulso con la al menos una primera forma de onda de impulso de referencia (RF), respectivamente; comparar (1006) dicha pluralidad de formas de onda de impulso con la al menos una primera forma de onda de impulso de referencia proporcionando primeros grupos de
20 muestras de dicha pluralidad de formas de onda de impulso al módulo de red neuronal para obtener primeros resultados de índice de similitud en el único puerto de salida;
memorizar/rechazar (1008; 1009) cada forma de onda de impulso comparada basándose en los primeros resultados de índice de similitud obtenidos y en el segundo criterio de discriminación.
2. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 1, que comprende además:
 - 25 establecer un segundo criterio de discriminación diferente del primer criterio entre: adquisición, filtrado de ruido, clasificación de señales de descarga parcial;
definir al menos una segunda forma de onda de impulso de referencia que tiene características que dependen del segundo criterio establecido;
30 realizar un segundo entrenamiento de dicho módulo de red neuronal basado en un grupo de referencia adicional de muestras de dicha al menos una segunda forma de onda de impulso de referencia para producir el índice de similitud suponiendo selectivamente el primer valor y el segundo valor representativos de una similitud/no similitud de una forma de onda de impulso de entrada adicional con la al menos una segunda forma de onda de impulso de referencia (RF), respectivamente;
35 comparar (1006) al menos parte de dicha pluralidad de formas de onda de impulso con la al menos una segunda forma de onda de impulso de referencia proporcionando segundos grupos de muestras de la al menos parte de dicha pluralidad de formas de onda de impulso al módulo de red neuronal para obtener segundos resultados de índice de similitud;
40 memorizar/rechazar (1008; 1009) cada forma de onda de impulso comparada resultante basándose en los segundos resultados de índice de similitud obtenidos y en el segundo criterio de discriminación.
3. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 1, donde el módulo de red neuronal está configurado para implementar una función de activación incluida en el grupo que comprende: una función no lineal, una función similar a un escalón, una función sigmoide, una función identidad, una función tangente, una función
45 escalón, una función signo, una función lineal por tramos.
4. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 1, donde el módulo de red neuronal (800; 900) comprende:
 - 50 una pluralidad de puertos de entrada (IP₁-IP_N), estando configurado cada puerto de entrada para recibir una muestra digital asociada con un impulso de dicha pluralidad de formas de onda de impulso;
al menos un neurodo (ON₁, HN₁-HN_H) que tiene asociada una pluralidad de pesos (W₀-W_N), y donde el único puerto de salida (OP₁) configurado para proporcionar el índice de similitud está conectado a un neurodo que es un neurodo de salida (ON₁).
5. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 4, donde dicho módulo de red neuronal tiene la estructura de un perceptrón multicapa y comprende una capa oculta (801) provista de una pluralidad de neurodos ocultos (HN₁-HN_H) que tienen entradas conectadas a la pluralidad de puertos de entrada (IP₁-IP_N).
6. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 5, donde dicho módulo de red neuronal (800; 900) incluye una única capa oculta (801) que tiene salidas conectadas al neurodo de salida (OPN₁).
7. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 5, donde el primer criterio de discriminación es uno de los siguientes: filtrado de ruido de señales de descarga, clasificación de señales de descarga.
8. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 4, donde el módulo de red neuronal (800; 900)

tiene la estructura de un perceptrón e incluye un único neurodo (ON_1) conectado entre los puertos de entrada (IP_1 - IP_N) y el puerto de salida (OP_1).

9. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 8, donde dicho módulo de red neuronal que tiene la estructura de un perceptrón se usa cuando se ha establecido dicho criterio de adquisición de señales de descarga.

10. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 2, donde dichos primer y segundo criterios de discriminación son el filtrado de ruido de señales de descarga y la clasificación de señales de descarga.

10 11. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 4, donde realizar el primer entrenamiento incluye: calcular una pluralidad de valores de pesos de dicha pluralidad de pesos (W_0 - W_n) suministrando al módulo de red neuronal contraejemplos para los que se solicita dicho segundo valor representativo de un resultado de no similitud.

12. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 4, en el que:
15 dichos primeros grupos de muestras incluyen una pluralidad de grupos de muestras, representando cada grupo de muestras una forma de onda de impulso de dicha pluralidad de formas de onda de impulso; y donde comparar (1006) dicha pluralidad de formas de onda de impulso con la al menos una primera forma de onda de impulso de referencia incluye:
20 suministrar cada grupo de muestras a la pluralidad de puertos de entrada (IP_1 - IP_N) obteniendo un valor de índice de similitud para cada grupo de muestras.

13. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 12, donde antes de suministrar cada grupo de muestras a la pluralidad de puertos de entrada (IP_1 - IP_N), el procedimiento comprende además:
25 realizar una normalización de forma de onda (1003) en la que cada muestra del grupo de muestras se divide por un valor máximo absoluto de forma de onda;
realizar una alineación de picos (1004) para que cada muestra de pico de cada grupo de muestras se suministre a un puerto de entrada seleccionado de la pluralidad de puertos de entrada (IP_1 - IP_N).

30 14. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 1, donde definir (1001) la al menos primera forma de onda de impulso de referencia (RF) incluye:
sintetizar la al menos primera forma de onda de impulso de referencia de acuerdo con el primer criterio.

35 15. El procedimiento de procesamiento de la reivindicación 1, donde definir (1001) la primera forma de onda de impulso de referencia (RF) incluye:
seleccionar la al menos una primera forma de onda de impulso de referencia de entre dicha pluralidad de formas de onda de impulso.

40 16. El procedimiento de la reivindicación 1, que incluye además:
detectar dichas señales de forma de onda de descarga parcial (S_d) asociadas con descargas parciales de un objeto eléctrico (100); detectar una señal electromagnética de sincronización (S_{up}) generada por una tensión eléctrica de corriente alterna asociada con el funcionamiento de un componente eléctrico que funciona a la misma tensión
45 eléctrica de corriente alterna suministrada al objeto eléctrico (100);
sincronizar dichas señales de forma de onda de descarga parcial a dicha señal electromagnética de sincronización (S_{up}).

17. Sistema de procesamiento de señales de descarga parcial (500) que comprende:
50 un dispositivo de detección (1, 2, 3, 600) estructurado para detectar una pluralidad de formas de onda de impulso asociadas con señales de forma de onda de descarga parcial detectadas;
un módulo de procesamiento (300; 700) conectado al dispositivo de detección y que comprende: un módulo de red neuronal entrenado (800; 900) que comprende:
55 un módulo de entrada (IP_1 - IP_N) para recibir una forma de onda de impulso de entrada de dicha pluralidad de formas de onda de impulso;
un módulo de comparación (801; ON_1) conectado al módulo de entrada (IP_1 - IP_N) y estructurado para comparar una forma de onda de impulso de referencia (RF) con la forma de onda de impulso de entrada; y
60 un único puerto de salida (OP_1) conectado al módulo de comparación (801; ON_1) y estructurado para proporcionar un índice de similitud (SI) suponiendo selectivamente un primer valor o un segundo valor de una similitud/no similitud de la forma de onda de impulso de entrada con la forma de onda de impulso de referencia (RF), respectivamente, representativos de la naturaleza de la forma de onda de impulso detectada,
65 donde dicho módulo de procesamiento (300; 700) incluye

- 5 un módulo de configuración (1000) estructurado para establecer un criterio de discriminación seleccionado entre los siguientes: adquisición de señales de descarga, filtrado de ruido de señales de descarga, clasificación de señales de descarga; y un módulo de selección de referencia (100) conectado al módulo de configuración (1000) y estructurado para seleccionar la forma de onda de impulso de referencia (RF) que tiene características que dependen del criterio de discriminación seleccionado.

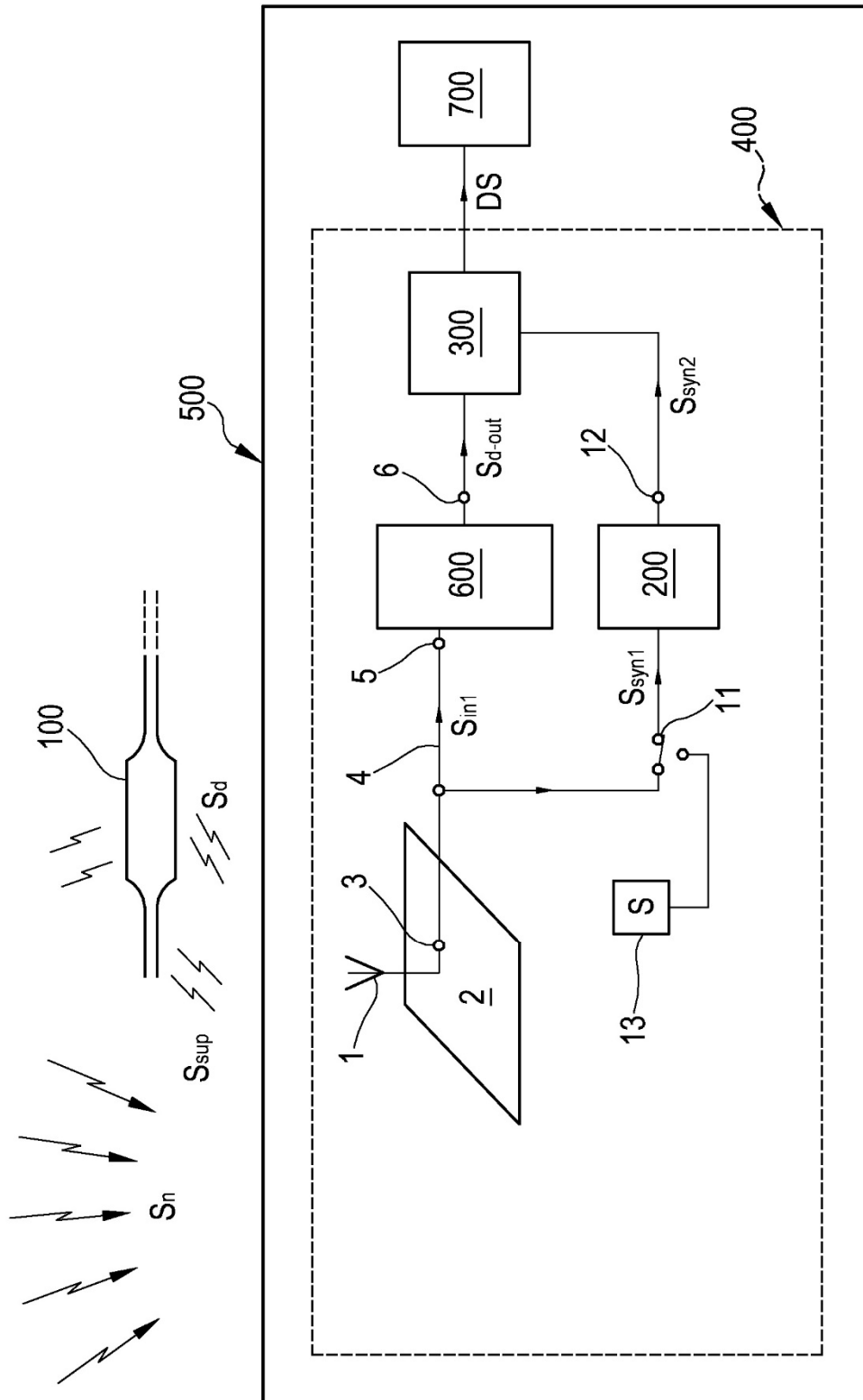


FIG.1

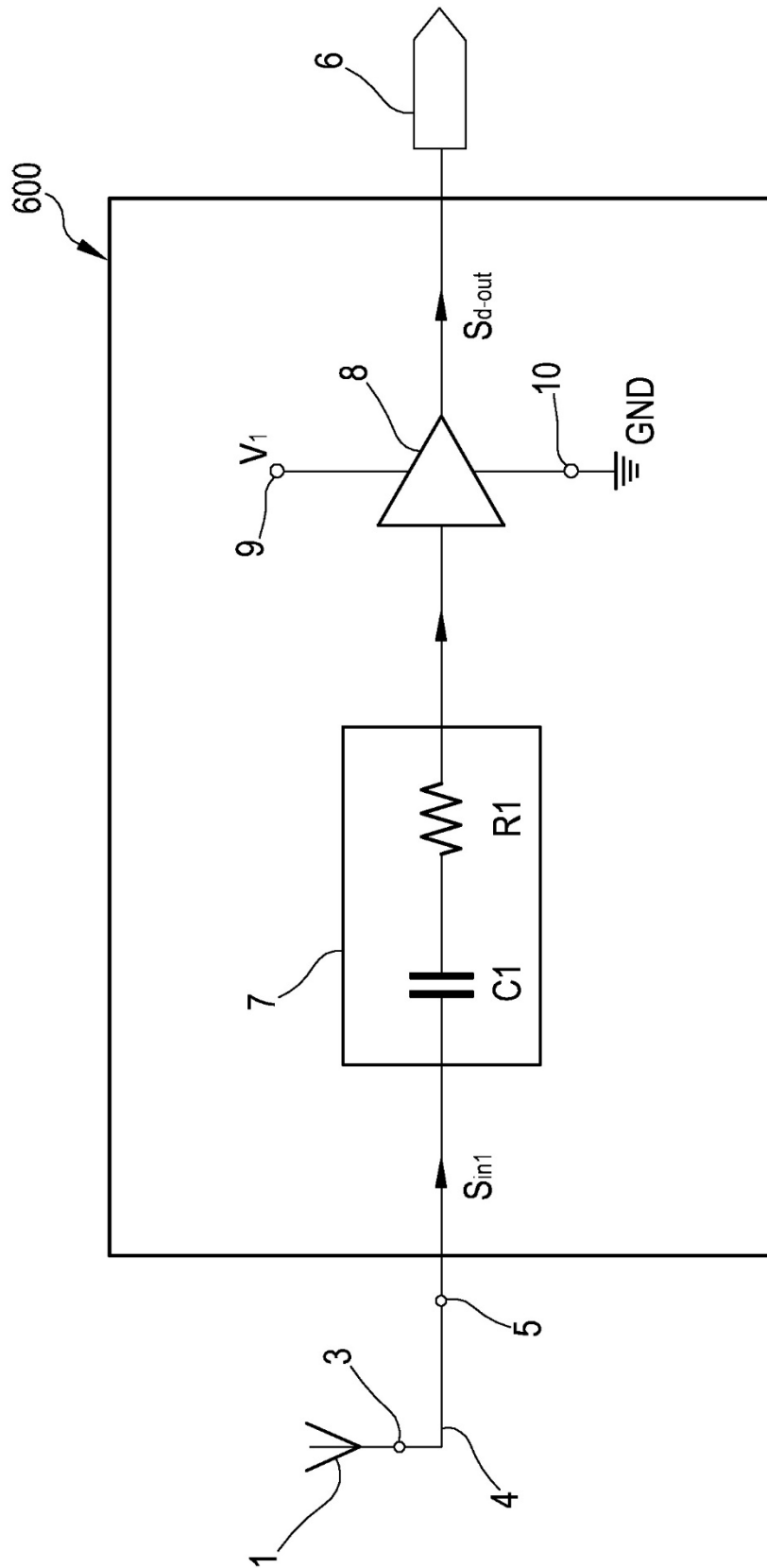


FIG.2

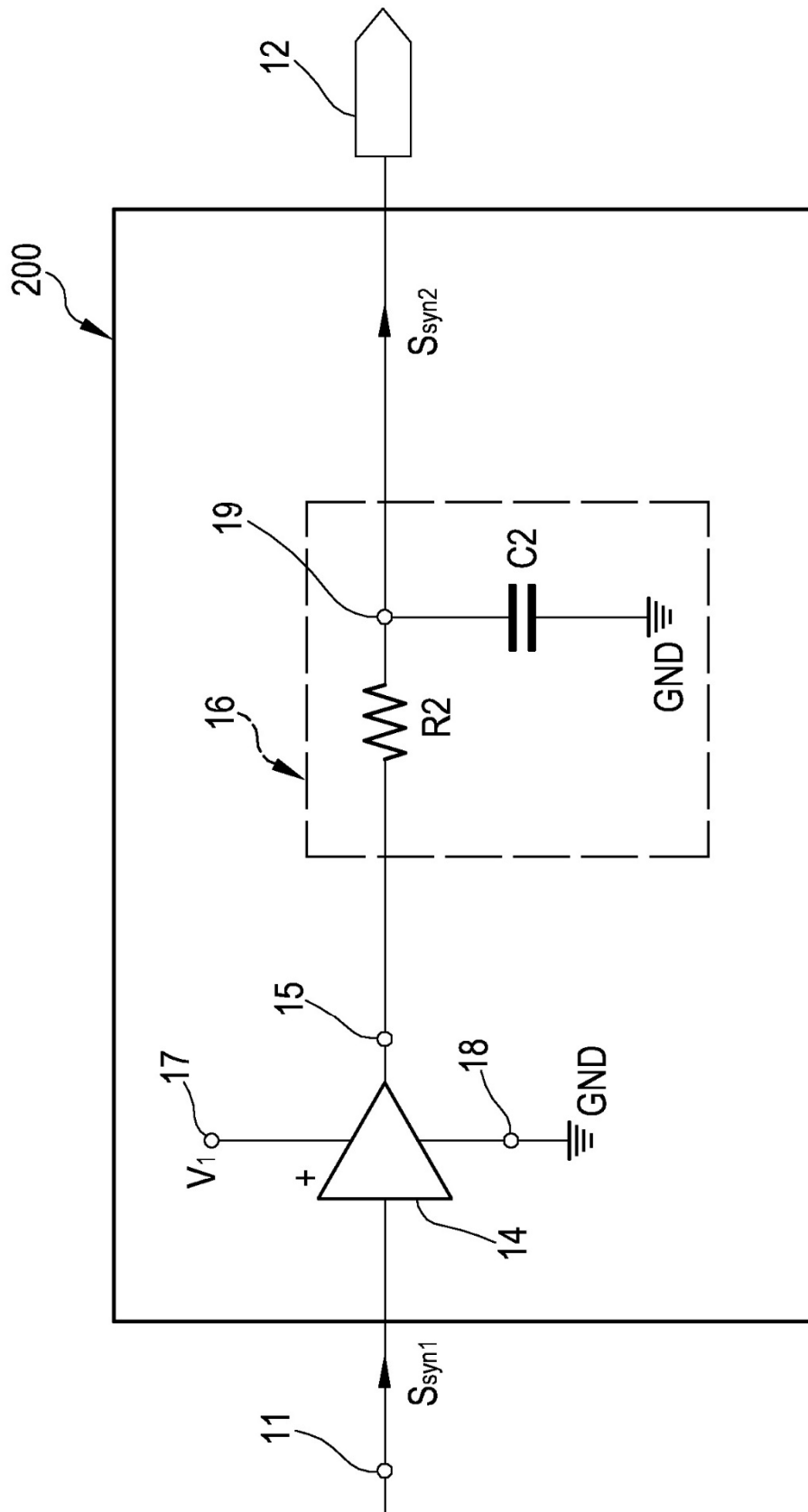
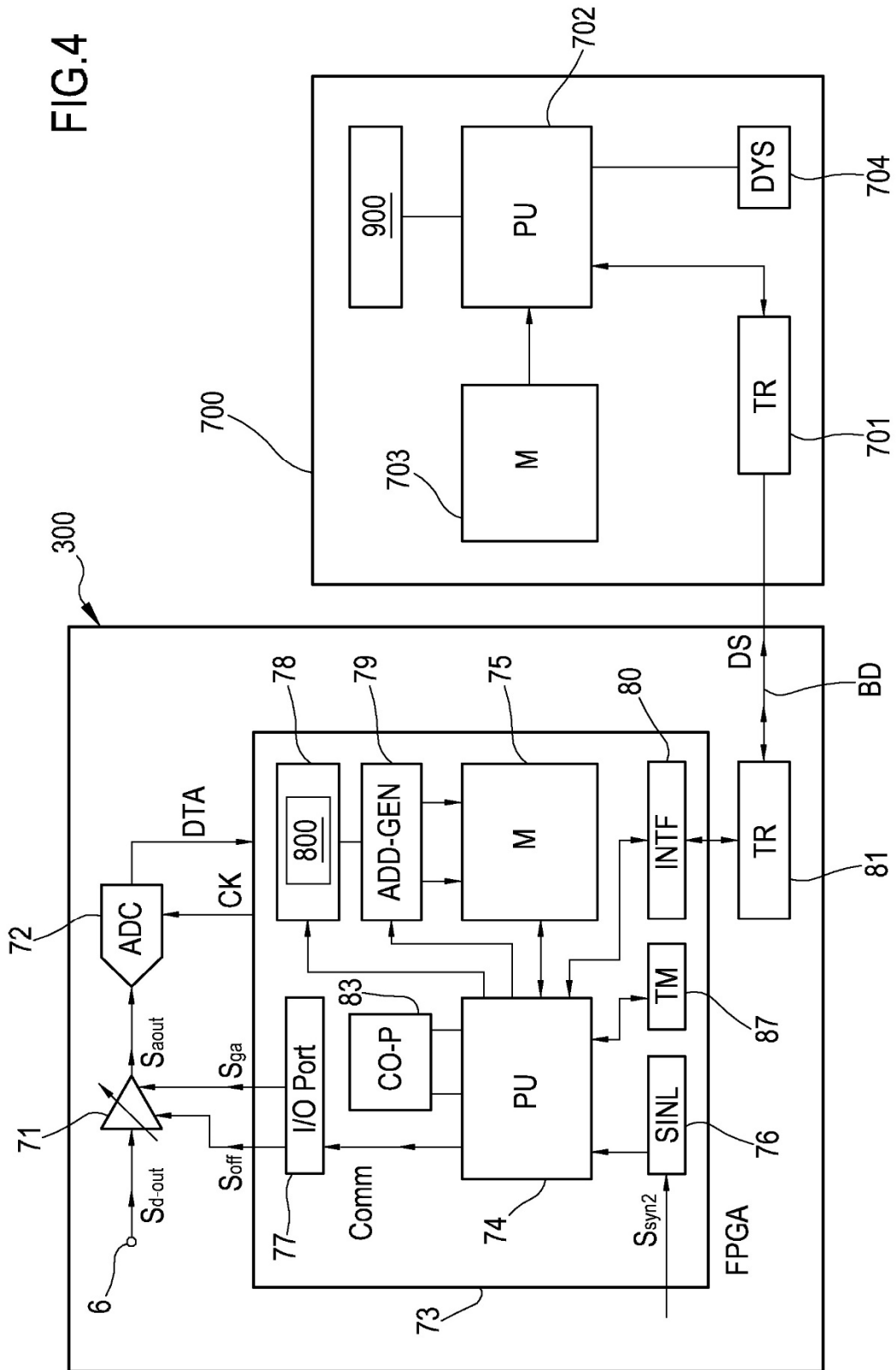
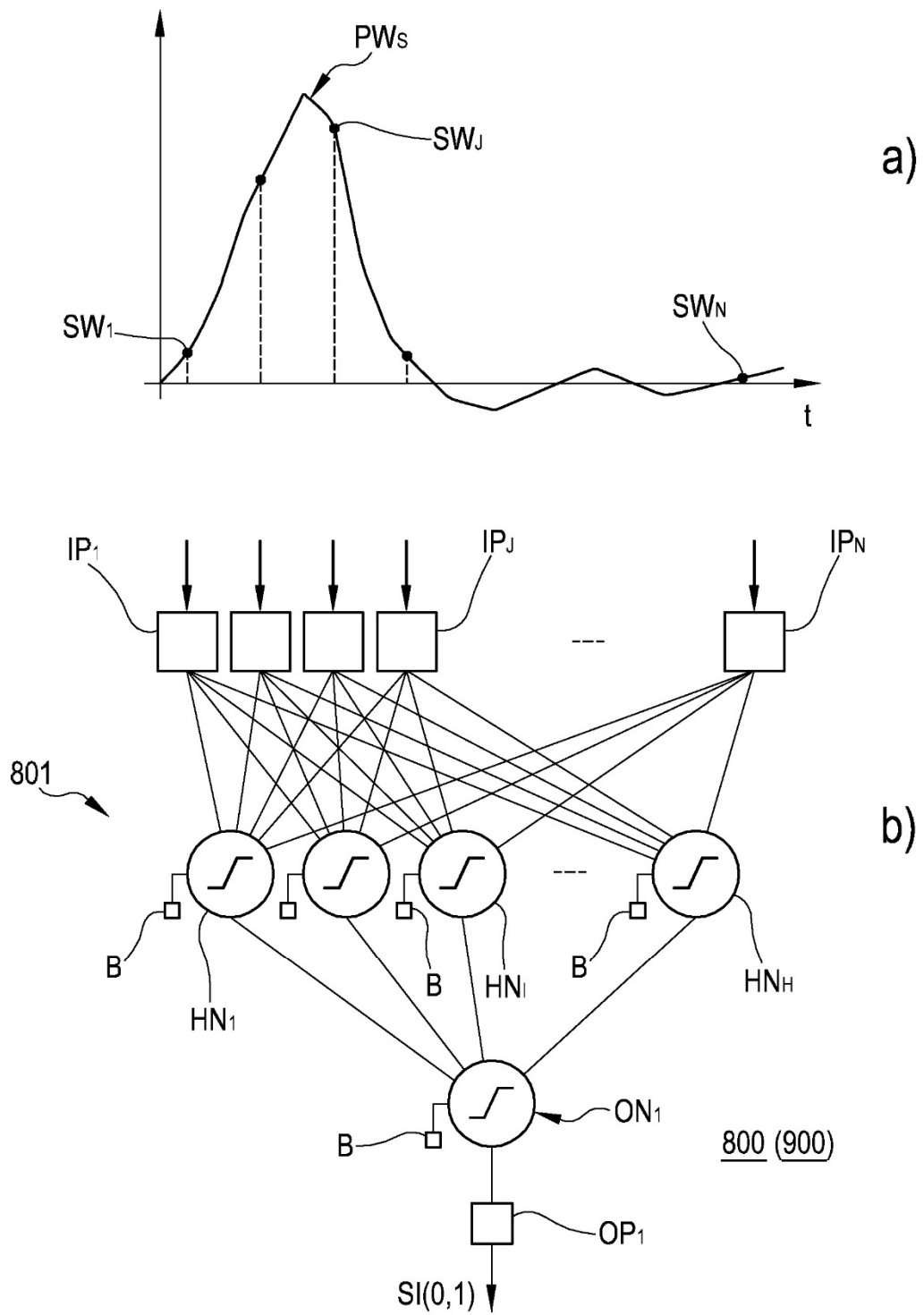
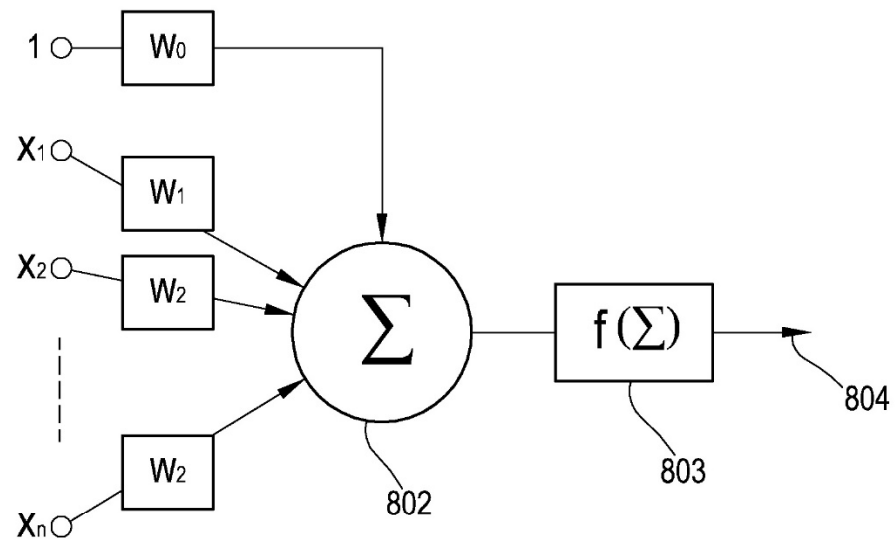


FIG.3

FIG.4







EN (HN_i ; ON₁)

FIG.6

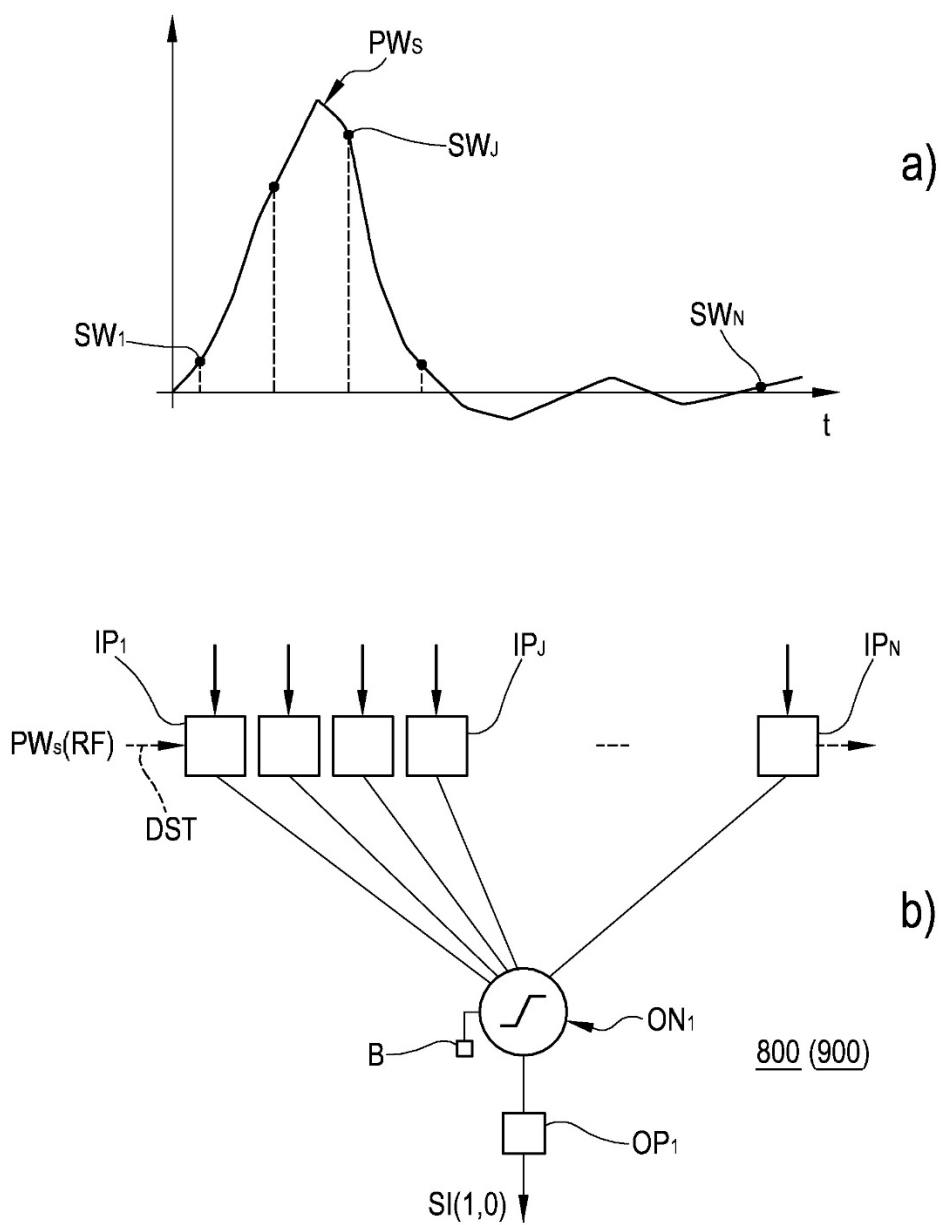


FIG.7

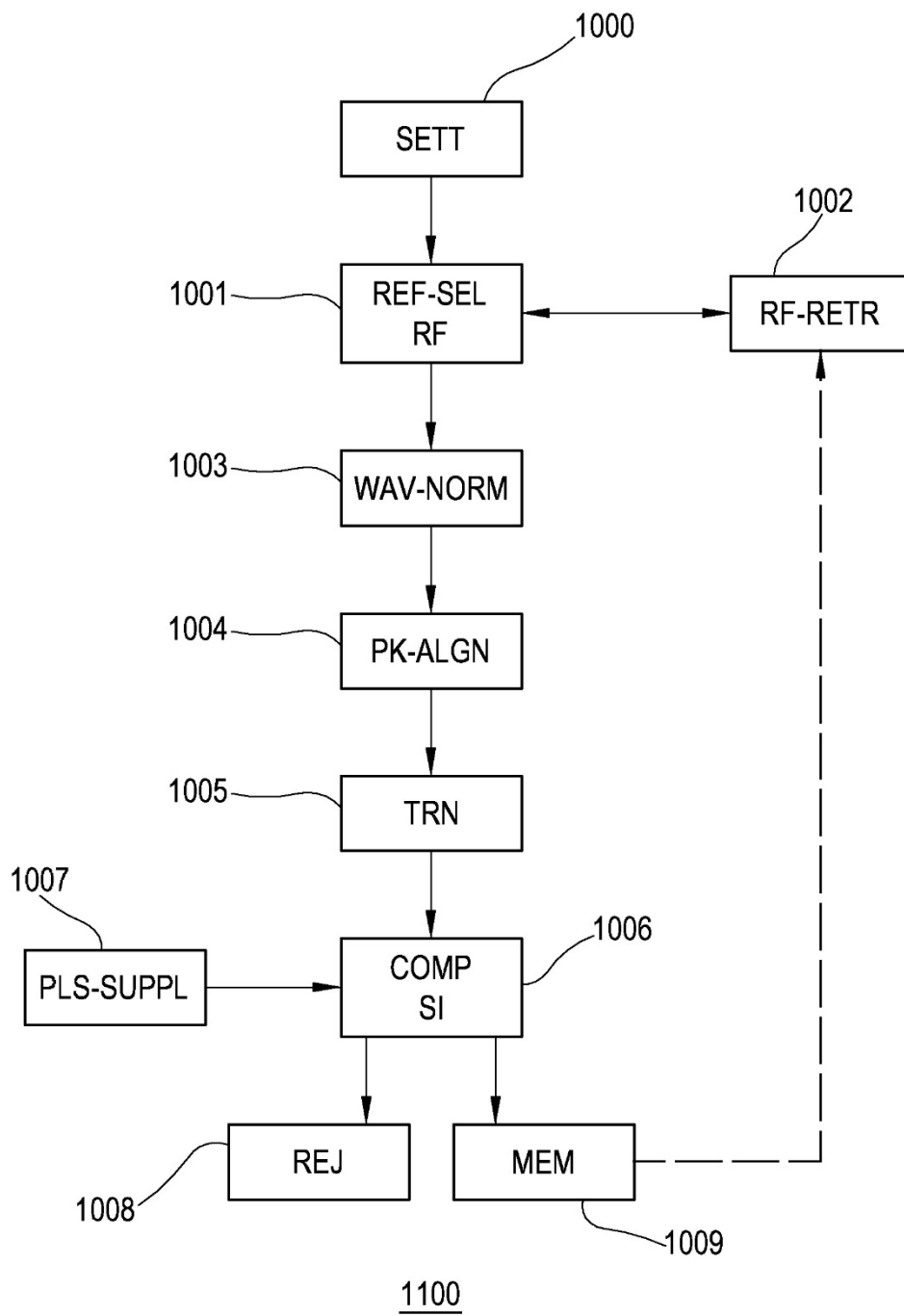


FIG.8