

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 797 778**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/00** (2006.01)

**H02J 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2017** E 17178395 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020** EP 3422517

54 Título: **Procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.12.2020**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**KROMPASS, DENIS;  
LITZINGER, ANDREAS y  
BECHER, SILVIO**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 797 778 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 para reconocer contingencias en una red de suministro de energía

5

La invención se refiere a un procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía y, en particular, a un enfoque basado en datos para reconocer contingencias en una red eléctrica.

10

Una red de suministro de energía tal como una red de suministro de energía eléctrica es un sistema complejo que comprende una pluralidad de subsistemas y/o componentes. Estos componentes incluyen dispositivos de medición en el terreno, tales como unidades de medición fasorial, PMU. Las unidades de medición fasorial pueden medir ondas eléctricas en una red eléctrica. Las unidades de medición fasorial pueden medir, por ejemplo, fasores de corriente trifásicos (magnitud y ángulo), fasores de tensión trifásicos y su frecuencia. En grandes redes de suministro de energía, los dispositivos de medición en el terreno, en particular las PMU, pueden estar ubicados en sitios estratégicos para supervisar el estado de toda la red de suministro de energía. Pueden producirse diferentes tipos de contingencias en la red de suministro de energía. Algunas contingencias, tales como interrupciones en el generador o en las líneas, pueden afectar a la estabilidad de la red de suministro de energía y pueden visualizarse a través de los datos generados por los dispositivos de medición en el terreno de la red de suministro de energía. Los dispositivos de medición en el terreno, en particular las PMU, pueden proporcionar datos de medición con una alta resolución. Sin embargo, esto da lugar a enormes cantidades de datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno que deben ser procesados por una unidad de procesamiento. Aunque las contingencias en la red de suministro de energía se pueden visualizar a través de los datos de medición registrados, el análisis de la gran cantidad de datos de medición recibidos debe ser realizado manualmente por ingenieros experimentados. Los datos de medición recibidos por los dispositivos de medición en el terreno de la red de suministro de energía se analizan, por ejemplo, para detectar una causa raíz de la contingencia observada. Dado que el análisis de la gran cantidad de datos de medición se realiza principalmente de forma manual, el análisis es muy engorroso y requiere mucho tiempo. Además, el análisis de los datos de medición no influye en las decisiones concretas que se toman durante el momento en que se produce la contingencia debido a la tardía comprensión de la contingencia observada a causa del complejo análisis manual. Por ejemplo, un análisis manual de los datos de medición recibidos por los dispositivos de medición en el terreno de una red de suministro de energía en respuesta a un evento de contingencia puede tardar hasta tres meses. Sin embargo, en caso de una contingencia que amenace la estabilidad de la red de suministro de energía, las decisiones deben tomarse en menos de un minuto para ser efectivas.

15

20

25

30

35

40

45

El documento EP 3 173 991 A1 describe un procedimiento y un aparato para el reconocimiento automático de similitudes entre perturbaciones en una red. El aparato almacena una primera matriz de datos de múltiples capturas de datos de perturbaciones, cada una registrada en respuesta a una perturbación observada en dicha red. Mediante aprendizaje automático se genera un modelo de datos de perturbaciones entrenado de acuerdo con la primera matriz de datos, donde el modelo de datos entrenado proporciona una representación vectorial latente para cada una de las perturbaciones. Se registra una captura de datos de perturbación si se observa una perturbación durante el funcionamiento de dicha red y se proporciona una segunda matriz de datos correspondiente para la captura de datos de perturbación registrada. Se obtiene una representación vectorial latente para la perturbación observada a partir de la segunda matriz de datos usando el modelo de datos entrenado de perturbaciones y se detectan perturbaciones similares a la perturbación observada en base a la representación vectorial latente obtenida de la perturbación observada y en base a representaciones vectoriales latentes de múltiples perturbaciones proporcionadas por el modelo de datos entrenado.

50

El documento US 2011/202191 A1 divulga un módulo de análisis de contingencias, donde se recopilan mediciones y se calcula un modelo matemático del estado real de la red eléctrica. A continuación se calcula un índice de gravedad en base al modelo matemático del estado real y una "lista de un gran número de contingencias creíbles". A continuación se recopila un "pequeño subconjunto" de contingencias que tienen una clasificación más severa.

55

En consecuencia, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento y un sistema para reconocer automáticamente contingencias en una red de suministro de energía en poco tiempo.

Este objetivo se logra de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención mediante un procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía que comprende las características de la reivindicación 1.

60

La invención proporciona, de acuerdo con un primer aspecto, un procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

65

procesar datos de medición generados por dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía mediante un modelo de estimación de estado de red local para calcular perfiles de estado de red local;

generar un perfil de estado de red global a partir de los perfiles de estado de red local,

5 procesar los datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía para proporcionar un perfil de relevancia que comprende para los dispositivos de medición en el terreno una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía, y

10 calcular una similitud entre un perfil de contingencia candidato formado por el perfil de estado de red global generado y formado por el perfil de relevancia calculado y perfiles de contingencia de referencia almacenados en una base de datos de contingencias de referencia para identificar el perfil de contingencia de referencia que tiene la mayor similitud calculada como la contingencia reconocida.

15 En un posible modo de realización del procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, el perfil de estado de la red local comprende un perfil de probabilidad de clase de contingencia local que comprende para los dispositivos de medición en el terreno una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia.

20 En un posible modo de realización adicional del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, el perfil de estado de red local comprende un perfil de contingencia latente local.

En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, los dispositivos de medición en el terreno comprenden unidades de medición fasorial que proporcionan series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición.

25 En aún otro posible modo de realización del procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, el modelo de estimación de estado de red local está formado por un modelo que genera una representación de características latentes del estado de red local, tal como un modelo de factorización tensorial.

30 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, cada perfil de contingencia de referencia almacenado en la base de datos de contingencia de referencia comprende un perfil de estado de red global de referencia y un perfil de relevancia de referencia.

35 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, una métrica de similitud que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato y un perfil de contingencia de referencia se calcula para cada perfil de contingencia de referencia almacenado en la base de datos de contingencia de referencia dependiendo del perfil de estado de red global del perfil de contingencia candidato y dependiendo del perfil de estado de red global del perfil de contingencia de referencia respectivo.

40 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, la métrica de similitud usada comprende una métrica de similitud de coseno ponderada.

45 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, los datos de medición generados por cada dispositivo de medición en el terreno de la red de suministro de energía se preprocesan para proporcionar una desviación típica de los datos de medición con respecto a un valor esperado en un estado estable para cada canal de medición del dispositivo de medición respectivo en el terreno.

50 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, los datos de medición preprocesados se vuelven a escalar dividiéndose por la desviación típica específica de canal y de dispositivo de medición en el terreno.

55 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, se calcula un peso de relevancia para cada dispositivo de medición en el terreno normalizando la desviación típica de los datos de medición del dispositivo de medición respectivo en el terreno para proporcionar el perfil de relevancia.

60 En aún otro posible modo de realización del procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, los modelos de estimación del estado de red local se entrenan con datos de medición de contingencias observadas de la red de suministro de energía. La invención proporciona además, de acuerdo con un segundo aspecto, un sistema de supervisión adaptado para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía que comprende las características de la reivindicación 13.

65 La invención proporciona de acuerdo con el segundo aspecto un sistema de supervisión adaptado para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía, comprendiendo el sistema de supervisión:

dispositivos de medición en el terreno adaptados para generar datos de medición de dicha red de suministro de energía y

5 una unidad de procesamiento adaptada para procesar los datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno de la red de suministro de energía usando un modelo de estimación de estado de red local para calcular perfiles de estado de red local y generar un perfil de estado de red global,

10 en el que dicha unidad de procesamiento está adaptada además para procesar los datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía para proporcionar un perfil de relevancia que comprende para los dispositivos de medición en el terreno una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía,

15 en el que la unidad de procesamiento está adaptada además para calcular una similitud entre un perfil de contingencia candidato formado por el perfil de estado de red global generado y por el perfil de relevancia calculado y perfiles de contingencia de referencia almacenados en una base de datos de contingencia de referencia de dicho sistema de supervisión para identificar el perfil de contingencia de referencia que tiene la mayor similitud calculada como la contingencia reconocida dentro de la red de suministro de energía.

20 En un posible modo de realización del sistema de supervisión de acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención, los dispositivos de medición en el terreno comprenden unidades de medición fasorial que están adaptados para proporcionar series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición.

25 La divulgación proporciona además, de acuerdo con un tercer aspecto que está fuera del alcance de la invención reivindicada, un procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía que comprende las etapas de:

30 procesar datos de medición generados por dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía mediante modelos de atención neuronal asociados para proporcionar un perfil de estado de red global de la red de suministro de energía que comprende para los dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia,

35 procesar los datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía para proporcionar un perfil de relevancia de dicha red de suministro de energía que comprende para los dispositivos de medición en el terreno una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía, y

40 comparar el perfil de estado de red global calculado de dicha red de suministro de energía y el perfil de relevancia calculado de dicha red de suministro de energía con perfiles de contingencia de referencia almacenados en una base de datos de contingencia de referencia para reconocer contingencias en dicha red de suministro de energía.

45 En un posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, cada modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición correspondiente en el terreno se usa para calcular un perfil de estado de red local para la red de suministro de energía en el dispositivo de medición respectivo en el terreno.

50 En otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, los perfiles de estado de red local de los diferentes dispositivos de medición en el terreno se concatenan para proporcionar el perfil de estado de red global de la red de suministro de energía.

55 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, los dispositivos de medición en el terreno comprenden unidades de medición fasorial que proporcionan series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición.

60 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, el modelo de atención neuronal comprende una capa convolucional para suavizar los datos de medición recibidos por un dispositivo de medición asociado en el terreno de la red de suministro de energía.

65 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, el modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición correspondiente en el terreno de la red de suministro de energía comprende al menos una capa de red neuronal recurrente para capturar la dependencia de tiempo de los datos de medición recibidos.

En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, el

5 modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición en el terreno de la red de suministro de energía comprende una capa de atención que pondera las salidas de la última capa de red neuronal recurrente de dicho modelo de atención neuronal, donde la salida de una subred de atención por prealimentación asociada recibe datos de información de contexto por canal que indican un estado estable de la red de suministro de energía en el dispositivo de medición respectivo en el terreno.

10 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, el modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición correspondiente en el terreno de la red de suministro de energía comprende una capa de clasificación que recibe las salidas ponderadas de la última capa de red neuronal recurrente de dicha red de atención neuronal para calcular un perfil de estado de red local para la red de suministro de energía en el dispositivo de medición respectivo en el terreno que indica una distribución de probabilidad de clase predicha con respecto a clases de contingencia.

15 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, cada perfil de contingencia de referencia almacenado en la base de datos de contingencia de referencia comprende un perfil de estado de red global de referencia y un perfil de relevancia de referencia.

20 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, una métrica de similitud que indica una similitud entre un perfil de contingencia candidato formado por el perfil de estado de red global y el perfil de relevancia de la red de suministro de energía y un perfil de contingencia de referencia se calcula para cada perfil de contingencia de referencia almacenado en la base de datos de contingencia de referencia según el perfil de estado de red global del perfil de contingencia candidato y según el perfil de estado de red global del perfil de contingencia de referencia respectivo.

25 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, para cada perfil de contingencia de referencia almacenado en la base de datos de contingencia de referencia, se calcula una primera métrica de similitud según el perfil de estado de red global del perfil de contingencia candidato y según el perfil de estado de red global del perfil de contingencia de referencia y se calcula una segunda métrica de similitud según el perfil de relevancia del perfil de contingencia candidato y según el perfil de relevancia del perfil de contingencia de referencia.

35 En aún otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, una métrica de similitud que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato y el perfil de contingencia de referencia se calcula en función de la primera métrica de similitud calculada y la segunda métrica de similitud calculada.

40 En otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, una métrica de similitud que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato y un perfil de contingencia de referencia se calcula como un promedio de la primera métrica de similitud y la segunda métrica de similitud.

45 En un posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, los datos de medición generados por cada dispositivo de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía se preprocesan para proporcionar una desviación típica de los datos de medición con respecto a un valor esperado en un estado estable para cada canal de medición del dispositivo de medición respectivo en el terreno.

50 En un posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, los datos de medición preprocesados se vuelven a escalar dividiéndose por la desviación típica específica de canal y de dispositivo de medición en el terreno.

55 En otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, se calcula un peso de relevancia para cada dispositivo de medición en el terreno normalizando la desviación típica de los datos de medición del dispositivo de medición respectivo en el terreno para proporcionar el perfil de relevancia de la red de suministro de energía.

60 En otro posible ejemplo del procedimiento de acuerdo con el tercer aspecto de la presente divulgación, los modelos de atención neuronal están entrenados con datos de medición de contingencias observadas de la red de suministro de energía.

65 La divulgación proporciona además, de acuerdo con un cuarto aspecto que está fuera del alcance de la invención reivindicada, un sistema de supervisión adaptado para reconocer contingencias en una red de suministro de energía, comprendiendo dicho sistema de supervisión:

dispositivos de medición en el terreno adaptados para generar datos de medición de dicha red de suministro de energía,

una unidad de procesamiento adaptada para procesar los datos de medición generados por los dispositivos

de medición en el terreno de dicha red de suministro de energía mediante modelos de atención neuronal asociados para proporcionar un perfil de estado de red global de la red de suministro de energía que comprende para los dispositivos de medición en el terreno de la red de suministro de energía una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia,

5

en el que la unidad de procesamiento está adaptada además para procesar los datos de medición generados por los dispositivos de medición en el terreno de la red de suministro de energía para proporcionar un perfil de relevancia de dicha red de suministro de potencia que comprende para los dispositivos de medición en el terreno una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía,

10

en el que la unidad de procesamiento está adaptada además para comparar el perfil de estado de red global calculado de dicha red de suministro de energía y el perfil de relevancia calculado de dicha red de suministro de energía con perfiles de contingencia de referencia almacenados en una base de datos de contingencia de referencia de dicho sistema de supervisión para reconocer contingencias en dicha red de suministro de energía.

15

En un posible ejemplo del sistema de supervisión de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente divulgación, los dispositivos de medición en el terreno comprenden unidades de medición fasorial que proporcionan series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición.

20

En un posible ejemplo del sistema de supervisión de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente divulgación, cada modelo de atención neuronal comprende una capa convolucional adaptada para suavizar los datos de medición recibidos por un dispositivo de medición asociado en el terreno de la red de suministro de energía, al menos una capa de red neuronal recurrente adaptada para capturar una dependencia de tiempo de los datos de medición recibidos, y una capa de clasificación adaptada para ponderar las salidas recibidas de la última capa de red neuronal recurrente de dicha red de atención neuronal para calcular un perfil de estado de red local para la red de suministro de energía en el dispositivo de medición respectivo en el terreno que indica una distribución de probabilidad de clase predicha con respecto a clases de contingencia.

25

30

A continuación se describen en más detalle posibles modos de realización de los diferentes aspectos de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas.

35

En los casos en los que se requiere el modelado de dependencias a largo plazo, la capa de red neuronal recurrente consiste en unidades recurrentes cerradas, GRU, de memoria a largo plazo y a corto plazo (LSTM) que permiten a la red capturar estas dependencias a largo plazo.

40

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de un posible modo de realización ejemplar de un sistema de supervisión para reconocer contingencias en una red de suministro de energía de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

45

la Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de un posible modo de realización ejemplar de un procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

50

la Fig. 3 muestra un diagrama para ilustrar un estado de red local calculado a partir de datos de medición generados por un dispositivo de medición en el terreno para ilustrar un posible modo de realización ejemplar de un procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con un aspecto de la presente invención;

55

la Fig. 4 ilustra un perfil de estado de red global generado usado por un procedimiento y sistema para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con la presente invención;

60

la Fig. 5 muestra un diagrama esquemático de un perfil de referencia ejemplar para ilustrar el funcionamiento de un procedimiento y sistema para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía de acuerdo con la presente invención;

65

la Fig. 6 muestra esquemáticamente un ejemplo de una similitud final calculada de un perfil de contingencia observado con perfiles de contingencia de referencia almacenados en una base de datos de contingencia de referencia;

la Fig. 7 muestra un diagrama de flujo de un posible modo de realización ejemplar de un procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía de acuerdo con un aspecto adicional fuera del alcance de la presente invención;

- las Fig. 8, 9 muestran un diagrama esquemático que ilustra un posible modo de realización ejemplar de un modelo de atención neuronal tal como se usa por un sistema de supervisión de acuerdo con un aspecto de la presente invención;
- 5 la Fig. 10 muestra un diagrama esquemático para ilustrar una clasificación flexible con confiancias para un único dispositivo de medición en el terreno para ilustrar el funcionamiento de un procedimiento y aparato de acuerdo con la presente invención;
- 10 la Fig. 11 muestra un diagrama esquemático adicional para ilustrar una clasificación flexible con confiancias para dispositivos de medición en el terreno para ilustrar el funcionamiento de un procedimiento y sistema para reconocer contingencias en una red de suministro de energía de acuerdo con un aspecto de la presente invención;
- 15 las Fig. 12, 13 ilustran una comparación de similitud de patrones de clasificación flexible objetivo contra patrones de clasificación flexible de contingencias de referencia conocidas;
- la Fig. 14 muestra un diagrama esquemático que muestra una similitud final de datos de contingencia de entrada con contingencias de referencia conocidas combinando similitudes de un patrón de clasificación flexible con similitudes de un patrón de ubicación;
- 20 las Fig. 15-19 muestran un mecanismo de atención de un modelo de atención neuronal como se ilustra en la Fig. 8A.

25 Como se puede observar en el diagrama de bloques esquemático de la Fig. 1, un sistema de supervisión 1 de acuerdo con un aspecto de la presente invención está adaptado en el modo de realización ilustrado para reconocer contingencias en una red de suministro de energía 2. La red de suministro de energía 2 puede ser cualquier tipo de red que suministre energía a entidades de consumo de energía. En un posible modo de realización, la red de suministro de energía 2 está formada por una red eléctrica que proporciona energía eléctrica a los dispositivos de consumo. El sistema de supervisión 1 comprende en el modo de realización ilustrado dispositivos de medición en el terreno 3-1, 3-2...3-n adaptados para generar datos de medición MD de la red de suministro de energía 2. En un posible modo de realización, los dispositivos de medición en el terreno 3-i comprenden diferentes tipos de sensores adaptados para generar diferentes tipos de datos de medición MD de la red de suministro de energía 2. En un posible modo de realización, los dispositivos de medición en el terreno 3-i incluyen unidades de medición fasorial, PMU. Las unidades de medición fasorial, PMU, miden ondas eléctricas de la red de suministro de energía 2, en particular fasores de corriente de fase, fasores de tensión de fase y su frecuencia. Los dispositivos de medición en el terreno 3-i también pueden incluir otros dispositivos sensores. Por ejemplo, los dispositivos de medición en el terreno 3-i también pueden incluir dispositivos que proporcionan datos ambientales tales como temperatura o similares.

40 El sistema de supervisión 1 comprende en el modo de realización ilustrado de la Fig. 1 una unidad de procesamiento 4 adaptada para procesar los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 mediante modelos de atención neuronal asociados para proporcionar un perfil de estado de red global, GNSP, de la red de suministro de energía 2 que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2, una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia. La unidad de procesamiento 4 del sistema de supervisión 1 está adaptada además para procesar los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 para proporcionar un perfil de relevancia, RP, de la red de suministro de energía 2 que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno 3-i, una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía 2.

55 Como se puede observar en la Fig. 1, los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 son procesados por un modelo de estimación de estado de red local, LNSM, para calcular perfiles de estado de red local, LNSP. Una unidad de generación 4A de la unidad de procesamiento 4 está adaptada para generar un perfil de estado de red global, GNSP, a partir de los perfiles de estado de red local, LNSP, como se ilustra en la Fig. 1.

60 Los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 son procesados adicionalmente por un procesador 4B de la unidad de procesamiento 4 para proporcionar un perfil de relevancia, RP, como se ilustra en la Fig. 1. El perfil de relevancia, RP, comprende para los dispositivos de medición en el terreno 3-i una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía 2.

65 Como puede verse en la Fig. 1, un perfil de contingencia candidato, CCP, está formado por el perfil de estado de red global generado, GNSP, y por el perfil de relevancia, RP, calculado.

5 La unidad de procesamiento 4 del sistema de supervisión 1 comprende además una unidad de cálculo 4C adaptada para calcular una similitud entre el perfil de contingencia candidato, CCP, y perfiles de contingencia de referencia, rCP, almacenados en una base de datos de contingencia de referencia 5 del sistema de supervisión 1 para identificar el perfil de contingencia de referencia, rCP, que tiene la mayor similitud calculada como la contingencia reconocida dentro de la red de suministro de energía 2.

10 En un posible modo de realización del sistema de supervisión 1 como el ilustrado en la Fig. 1, los perfiles de estado de red local LNSPi comprenden cada uno un perfil de probabilidad de clase de contingencia local que comprende, para los diferentes dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2, una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia. En un modo de realización alternativo, cada perfil de estado de red local LNSP también puede comprender un perfil de contingencia latente local.

15 Los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 pueden comprender unidades de medición fasorial, PMU, que proporcionan series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición c. El modelo de estimación de estado de red local, LNSM, puede formarse en un posible modo de realización mediante un modelo de atención neuronal. El modelo de atención neuronal puede comprender una capa convolucional para suavizar los datos de medición, MD, recibidos por los dispositivos de medición asociados en el terreno 3-i. El modelo de atención neuronal puede comprender además en un posible modo de realización al menos una capa de red neuronal recurrente, RNN, seguida de una capa de atención neuronal.

20 Cada perfil de contingencia de referencia, rCP, almacenado en la base de datos de contingencia de referencia 5 puede comprender en un posible modo de realización un perfil de estado de red global de referencia, rGNSP, y un perfil de relevancia de referencia, rRP.

25 En un posible modo de realización del sistema de supervisión 1 como el ilustrado en la Fig. 1, una métrica de similitud, SM, que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato, CCP, y un perfil de contingencia de referencia, rCP, es calcula por la unidad de cálculo 4C para cada perfil de contingencia de referencia, rCP, almacenado en la base de datos de contingencia de referencia 5 según el perfil de estado de red global, GNSP, del perfil de contingencia candidato, CCP, y dependiendo del perfil de estado de red global, GNSP, del respectivo perfil de contingencia de referencia, rCP, leído de la base de datos 5. La métrica de similitud, SM, calculada puede comprender en una posible implementación una métrica de similitud de coseno ponderada.

35 En un posible modo de realización del sistema de supervisión 1 como el mostrado en la Fig. 1, para cada perfil de contingencia de referencia, rCP, almacenado en la base de datos de contingencia de referencia 5, se calcula una primera métrica de similitud SM1 y una segunda métrica de similitud SM2. La primera métrica de similitud SM1 se calcula según el perfil de estado de red global, GNSP, del perfil de contingencia candidato, CCP, y según el perfil de estado de red global, GNSP, del perfil de contingencia de referencia, rCP. La segunda métrica de similitud SM2 se calcula según el perfil de relevancia, RP, del perfil de contingencia candidato, CCP, y según el perfil de relevancia, RP, del perfil de contingencia de referencia, rCP. Además, una métrica de similitud, SM, final se calcula entonces en función de la primera métrica de similitud calculada SM1 y la segunda métrica de similitud calculada SM2 por la unidad de cálculo 4C. La métrica de similitud, SM, que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato, CCP, y el perfil de contingencia de referencia, rCP, se calcula en este modo de realización en función de la primera métrica de similitud calculada SM1 y la segunda métrica de similitud calculada SM2. En un posible modo de realización específico, una métrica de similitud, SM, que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato, CCP, y un perfil de contingencia de referencia, rCP, es calculada por la unidad de cálculo 4C como un promedio de la primera métrica de similitud SM1 y la segunda métrica de similitud SM2.

50 En un posible modo de realización, los datos de medición, MD, generados por cada dispositivo de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 pueden preprocesarse para proporcionar una desviación típica de los datos de medición con respecto a un valor esperado en un estado estable para cada canal de medición del dispositivo de medición respectivo en el terreno 3-i. A continuación, los datos de medición, MD, preprocesados se pueden volver a escalar dividiéndose por la desviación típica específica de canal y de dispositivo de medición en el terreno. En un posible modo de realización se calcula un peso de relevancia para cada dispositivo de medición en el terreno 3-i normalizando la desviación típica de los datos de medición, MD, del dispositivo de medición respectivo en el terreno 3-i para proporcionar el perfil de relevancia, RP. Los modelos de estimación de estado de red local, LNSM, usados por la unidad de procesamiento 4 pueden entrenarse en un posible modo de realización con datos de medición de contingencias observadas de la red de suministro de energía 2.

60 La Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de un posible modo de realización ejemplar de un procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía 2 de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención. En el modo de realización ilustrado, el procedimiento comprende varias etapas principales.

65 En una primera etapa S21, los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 son procesados por un modelo de estimación de estado de red local, LNSM, para calcular perfiles de estado de red local LNSPi.

En una etapa adicional S22, el perfil de estado de red global, GNSP, se genera a partir de los perfiles de estado de red local calculados LNSPi. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante una subunidad de generación 4A de la unidad de procesamiento 4.

5 En una etapa adicional S23, los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 se procesan para proporcionar un perfil de relevancia, RP. Este perfil de relevancia, RP, comprende para los dispositivos de medición en el terreno 3-i una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía 2. La generación del perfil de estado de red global, GNSP, en la etapa S22 y la generación del perfil de relevancia, RP, en la etapa S23 también se pueden realizar en paralelo para ahorrar tiempo de procesamiento en un posible modo de realización.

15 En una etapa adicional S24, se calcula una similitud entre un perfil de contingencia candidato, CCP, y perfiles de contingencia de referencia, rCP. El perfil de contingencia candidato, CCP, está formado por el perfil de estado de red global generado, GNSP, y por el perfil de relevancia, RP, calculado como también se ilustra en la Fig. 1. Los perfiles de contingencia de referencia, rCP, se almacenan en una base de datos de contingencia de referencia 5 del sistema de supervisión 1. La similitud entre el perfil de contingencia candidato, CCP, y los perfiles de contingencia de referencia, rCP, leídos de la base de datos de contingencia de referencia 5 se calcula para identificar el perfil de contingencia de referencia, rCP, que tiene la mayor similitud calculada. El perfil de contingencia de referencia identificado, rCP, que muestra la mayor similitud calculada se reconoce como la contingencia que se ha producido en la red de suministro de energía 2.

25 Los dispositivos de medición en el terreno 3-i del sistema de supervisión 1 ilustrado en la Fig. 1 pueden medir datos en diferentes canales c. Cada canal c puede comprender una serie de tiempo de datos específicos, tal como una corriente de una fase L en una red eléctrica. En un posible modo de realización, los datos de medición pueden ser preprocesados. Los dispositivos de medición en el terreno 3-i pueden comprender unidades de medición fasorial, PMU. Dado un conjunto de contingencias observado en la red de suministro de energía 2 simulado por un programa de simulación adecuado tal como SIGUARD DSA, pueden observarse fasores para corriente y fasores para tensión desde cada uno de los dispositivos de medición PMU en el terreno 3-i ubicados en la red de suministro de energía 2. En primer lugar, se pueden calcular componentes simétricas y la potencia activa y reactiva de estas señales. Además, para cada PMU, se puede estimar una desviación típica de señal para cada uno de sus canales c. Además, las señales pueden volver a escalarse por estos valores dividiéndose por la desviación típica específica de canal y de PMU.

35 Por ejemplo, si la red de suministro de energía 2 es supervisada por 100 PMU, como los dispositivos de medición en el terreno 3-i, es posible medir corrientes trifásicas y tensiones trifásicas. En consecuencia, se recuperan doce señales de sensor para cada PMU 3-i, es decir, tres veces una amplitud de tensión, tres veces un ángulo de tensión, tres veces una amplitud de corriente y tres veces un ángulo de corriente. Esto da lugar a 1200 señales de sensor en total. A partir de estas señales de sensor, es posible calcular ocho señales adicionales para cada PMU coexistente de las componentes simétricas de la corriente (tres señales), las componentes simétricas de la tensión (tres señales) y la potencia activa y reactiva, lo que da lugar a 800 señales adicionales en total. Dadas estas 800 señales, es posible calcular 800 valores de desviación típica y dividir las 800 señales entre el valor correspondiente.

45 Para cada contingencia que se produce en la red de suministro de energía 2, hay disponible una captura de datos que refleja el estado estable de la red de suministro de energía 2 antes de que la contingencia haya sucedido en la red de suministro de energía 2. Estos datos de captura se pueden usar para calcular un valor esperado de PMU o un valor medio para cada canal c y sustraer estos valores de los datos de medición, MD. De esta manera, las etapas de cálculo posteriores solo se realizan en las desviaciones observadas del estado estable. El modelo de estado de red local, LNSM, o el modelo de estimador de estado pueden representar cualquier tipo de modelo que extraiga alguna representación de estado (ponderada) de datos de medición, MD, entrantes. En un posible modo de realización, se puede usar un modelo basado en aprendizaje automático, ML. El modelo basado en aprendizaje automático, ML, puede comprender un modelo de factorización tensorial o una parte codificadora de una red neuronal de codificador-descodificador, por ejemplo, un codificador automático.

55 En un posible modo de realización, el modelo se entrena proporcionándole un conjunto de contingencias observadas preprocesadas como se describe anteriormente. Las señales de medición o los datos de medición, MD, se reescalán y solo contienen una desviación de un valor esperado del estado estable. Cada conjunto de mediciones de una sola PMU puede tratarse como un solo ejemplo de entrenamiento. La arquitectura de entrenamiento del modelo puede consistir en una parte de codificador y de descodificador. El codificador primero proyecta la muestra de entrada en una representación de menor dimensionalidad que los datos de entrada originales. Después de esta etapa, la parte de descodificador de la arquitectura se usa para reconstruir los datos originales a partir de esta representación dimensional inferior. Durante el entrenamiento de un enfoque de este tipo, el modelo se penaliza por no reconstruir las muestras de entrada correctamente. Como consecuencia, el modelo solo puede reducir esta penalización comprimiendo información relevante en la representación dimensional inferior (el cuello de botella) que describe suficientes características para reconstruir con éxito la señal original. Durante el entrenamiento, el modelo aprende una correlación de los datos de entrada con estas características

que satisfacen este objetivo lo mejor posible. En un posible modo de realización, se puede usar una pérdida de error cuadrático regularizado entre las mediciones verdaderas y la medición reconstruida a partir de la representación del estado latente por el descodificador.

$$L(X, \theta) = (X - f_{\theta}(X))^2 + \lambda \| \theta \|_2^2 \quad ,$$

5 donde  $L$  es una función de pérdida y  $\theta$  son los parámetros libres del modelo.  $f_{\theta}$  es la red codificador-descodificador para cualquier otra arquitectura de cuello de botella, tal como la factorización tensorial. El último sumando de la ecuación anterior es un término de regularización de los parámetros libres del modelo que evita el sobreajuste durante el entrenamiento del modelo.

10 Después del entrenamiento, se puede suponer que las características del codificador correlacionan los datos de entrada en características importantes representadas de las señales de entrada observadas. Como ejemplo, estas características pueden representar conceptos abstractos tales como "un pico pronunciado seguido de una disminución lenta". Sin embargo, en general, estas características no son siempre interpretables. Con el procedimiento de acuerdo con la presente invención, estos procedimientos se usan como una representación del estado de red local LNS capturado por el dispositivo de medición individual en el terreno 3-i. Se calculan aplicando solamente la parte de codificador del modelo en los datos de entrada como se ilustra en la Fig. 3.

15 La Fig. 3 ilustra un perfil de estado de red local, LNSP, calculado a partir de datos de un único dispositivo de medición en el terreno 3-i. En el ejemplo ilustrado, hay nueve características diferentes F1 a F9 que reflejan el estado de red local, LNS, de la red de suministro de energía 2 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3-i. En el ejemplo ilustrado de la Fig. 3, la característica F1 es prominente. El perfil de estado de red local LNSP, como se ilustra en el ejemplo de la Fig. 3 puede suministrarse a la subunidad de generación 4A de la unidad de procesamiento 4 como se ilustra en la Fig. 1 y usarse para generar el perfil de estado de red global GNSP.

20 La Fig. 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de un perfil de estado de red global, GNSP. El perfil de estado de red global, GNSP, comprende los perfiles de estado de red local LNSP, de una pluralidad de dispositivos de medición en el terreno 3-i. Cada dispositivo de medición en el terreno 3-i, tal como una PMU, puede comprender un ID de dispositivo de medición asociado. En un posible modo de realización, los diferentes perfiles de estado de red local, LNSP, se pueden concatenar para generar un perfil de estado de red global, GNSP, como se ilustra en la Fig. 4. En cuanto a una estimación de estado de red global para una contingencia observada que se produce en la red de suministro de energía 2, es posible aplicar un modelo de estimación de estado en cada dispositivo de medición en el terreno 3-i de forma independiente. Esto proporciona un perfil global del estado de red global considerando todos los estados estimados de red local. En el ejemplo ilustrado de la Fig. 4, cada barra representa el valor de la  $n$ -ésima característica del estado de red local, LNS, calculado para cada PMU en la contingencia observada. El eje x del diagrama de la Fig. 4 representa los diferentes ID de PMU de los diferentes dispositivos de medición en el terreno 3-i.

25 Por ejemplo, el sistema puede ser entrenado con datos de entrenamiento de 50 contingencias. En cuanto a cada contingencia, los datos de medición, MD, se pueden proporcionar desde 100 PMU (las PMU son los dispositivos de medición en el terreno que supervisan la red de suministro de energía objetivo). En este ejemplo, es posible extraer 5000 ejemplos o muestras para el entrenamiento del modelo. Si, por ejemplo, cada contingencia se mide para 12 etapas de tiempo, un solo ejemplo de entrada puede consistir en  $8 \times 12 = 72$  valores. Por ejemplo, se puede suponer que se desea aprender 10 características para describir un estado de red. En este ejemplo específico, el modelo se entrena pasando los 5000 ejemplos en pequeños lotes o en su conjunto al modelo para que aprenda los parámetros de las funciones de correlación de codificador y descodificador para optimizar el objetivo de reconstrucción. En este modelo, el codificador puede aprender una función  $h_1 = f_{enc}(X_i)$ , donde  $X_i$  son los datos de entrada (72 valores) y  $h_i$  es el estado de red estimado (10 valores). El descodificador puede aprender a su vez una función  $\tilde{X}_i = f_{dec}(h_i)$ , donde  $\tilde{X}_i$  es la entrada aproximada (la reconstrucción).

30 En un posible modo de realización, una ponderación de importancia para cada dispositivo de medición en el terreno 3-i colocado en la red de suministro de energía 2 se calcula en base a los datos preprocesados, por ejemplo, las señales se reescalan y solo contienen la desviación del valor esperado de estado estable.

$$q_p = \sqrt{\sum_c \sum_t (x_{pct} - \mu_{pc})^2}$$

$$w_p = \frac{q_p}{\sum_p q_p} \quad ,$$

35 donde  $x_{pct}$  es el valor medido de canal  $c$  del dispositivo de medición de PMU en el terreno  $p$  en la etapa de tiempo  $t$  y  $\mu_{pc}$  es el valor esperado del dispositivo de medición en el terreno PMU  $p$  y el canal  $c$ . Después de calcular los

valores de desviación  $q_p$  para todos los dispositivos de medición en el terreno  $p$ , los valores de desviación se normalizan proporcionando una importancia relativa  $w_p$  para cada dispositivo de medición en el terreno 3-i. Esta etapa puede considerarse como el cálculo de una distancia euclídea normalizada entre las mediciones observadas y los valores esperados del estado estable.

5

La Fig. 5 ilustra las puntuaciones de importancia o relevancia  $r$  para los dispositivos de medición en el terreno 3-i dados los datos MD de una contingencia observada. Cada barra del diagrama representa la importancia de un dispositivo de medición en el terreno 3-i, tal como una PMU para la contingencia observada. El eje x representa los diferentes ID de los dispositivos de medición en el terreno. En el ejemplo específico ilustrado, los dispositivos de medición en el terreno con los ID 156, 157 son más prominentes, lo que indica la importancia o relevancia para la contingencia observada.

10

En un posible modo de realización, se puede usar una similitud de coseno ponderada como una métrica para calcular una similitud entre perfiles de la siguiente manera:

15

$$\cos(u, v, \hat{w}) = \frac{\sum_i \hat{w}_i u_i v_i}{\sqrt{\sum_i \hat{w}_i u_i^2} \sqrt{\sum_i \hat{w}_i v_i^2}}$$

donde  $u$  y  $v$  son los estados de red global de dos contingencias  $j$  y  $k$  y donde  $\hat{w}$  es un vector de ponderación que se calcula a partir de dos puntuaciones de importancia de PMU de cada contingencia tomando el máximo de cada valor:

20

$$\hat{w}_i = \max(w_{ji}, w_{ki})$$

Después de entrenar el modelo de estimación de estado, es posible crear una base de datos de referencia de una contingencia objetivo. Es posible seleccionar los datos de contingencias objetivo adecuadas y construir un perfil de contingencia para cada una de las contingencias objetivo y almacenarlas en una base de datos.

25

Para cada contingencia recientemente detectada dentro de la red de suministro de energía 2, se registran los datos de medición, MD, y se calcula un perfil de contingencia usando el modelo de estimación de estado y el estado estable. Este perfil de contingencia candidato, CCP, puede compararse con todos los perfiles de contingencia, CP, almacenados en la base de datos de referencia 5 usando, por ejemplo, la métrica de similitud de coseno ponderada como se describe anteriormente. La similitud devuelta calculada por la unidad de cálculo 4C se puede usar para clasificar los perfiles de contingencia con respecto a su similitud con el perfil de contingencia candidato, CCP, de entrada. Los valores de similitud indican cuán similar es una contingencia observada dentro de la red de suministro de energía 2 con respecto a los perfiles de contingencia correspondientes almacenados en la base de datos de referencia 5.

30

35

La Fig. 6 ilustra un ejemplo de una similitud final de una contingencia observada con las contingencias almacenadas en la base de datos de referencia 5. Cada campo de la Fig. 6 indica cuán similar es una contingencia observada con una contingencia correspondiente almacenada en la base de datos de referencia 5. En la Fig. 6 se ilustran diferentes clases de contingencia que comprenden, por ejemplo, cortocircuitos, SC, interrupciones de línea, LO, interrupciones de generador, GO, o interrupciones de condensador, CO. Con el procedimiento para reconocer contingencias en una red de suministro de energía 2 de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención, es posible reconocer automáticamente una contingencia en una red de suministro de energía 2 y casi en tiempo real con alta confiabilidad.

40

45

Se genera un modelo para observaciones de dispositivos de medición individuales en el terreno que obtienen una representación de estado de red local que refleja una observación en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3-i. Los dispositivos de medición en el terreno 3-i, en particular las PMU que se eliminan de la red de suministro de energía supervisada 2, no requieren un nuevo entrenamiento del modelo de estimación de estado. Si se elimina un dispositivo de medición en el terreno de la red de suministro de energía 2, no se calcula una representación del estado local para este dispositivo de medición en el terreno eliminado y las representaciones del estado local para las contingencias de referencia se eliminan de la base de datos de referencia 5. De manera similar, las interrupciones de los dispositivos de medición en el terreno 3-i pueden tratarse de forma natural ignorando la representación del estado local para estos dispositivos de medición en el terreno 3-i. En este caso, la representación del estado local del dispositivo de medición en el terreno puede ignorarse en las contingencias de referencia al calcular las similitudes.

50

55

Dado que se genera un modelo general para las representaciones de estado local observadas por los dispositivos de medición en el terreno, es posible añadir y reubicar dispositivos de medición en el terreno a voluntad sin la necesidad de volver a entrenar el modelo desde cero. Todos los cambios solo influyen en la base de datos de referencia 5 para la cual se aplica el modelo de estimación de estado LNSM en los nuevos datos de contingencia

60

MD.

El sistema es flexible en cuanto a la cantidad de dispositivos de medición en el terreno 3-i y las representaciones de estado local, LNSP, asociadas. Es posible considerar contingencias más antiguas con un número divergente de dispositivos de medición en el terreno 3-i cuando se busca una contingencia similar en la base de datos de referencia 5. Esto es de especial importancia si la base de datos de referencia 5 está llena de contingencias reales en lugar de contingencias simuladas.

Después de haberse generado un modelo general que extrae representaciones de estado local de los dispositivos de medición en el terreno 3-i, el enfoque de acuerdo con la presente invención puede ser incluso independiente de la red de energía, aplicando el mismo modelo entrenado en varias redes de suministro de energía diferentes. El procedimiento y el sistema de acuerdo con la presente invención tienen en cuenta explícitamente conocimiento acerca de la ubicación esperada de una contingencia observada cuando se calcula la similitud entre dos contingencias. Esto es especialmente importante en escenarios en los que se supervisan grandes redes de suministro de energía, PSN. En este escenario, los efectos de una contingencia que pueden observar los dispositivos de medición en el terreno 3-i pueden ser muy locales, lo que significa que solo una pequeña porción de los dispositivos de medición colocados en el terreno 3-i medirá cualquier tipo de efecto causado por la contingencia. Cuando se comparan dos contingencias, solo se consideran las representaciones de estado local, LNSP, de esos dispositivos de medición en el terreno que caracterizan la contingencia observada. Las representaciones de estado local de los demás dispositivos de medición en el terreno restantes no contienen ninguna información relevante o datos de medición, MD, y, en consecuencia, pueden ignorarse.

Después de haber reconocido una contingencia, una unidad de control de un sistema puede desencadenar contramedidas. Además, la contingencia reconocida se puede proporcionar a un usuario por medio de una interfaz gráfica de usuario del sistema de supervisión 1. Después de haber iniciado las contramedidas, se puede observar si se ha eliminado la contingencia reconocida.

La Fig. 1 muestra un posible modo de realización ejemplar de un sistema de supervisión 1 de acuerdo con un aspecto de la presente invención. La unidad de procesamiento 4 del sistema de supervisión 1 puede implementarse en un controlador de la red de suministro de energía 2. Además, las subunidades de la unidad de procesamiento 4 también pueden implementarse en componentes distribuidos conectados a dispositivos de medición 3-i de la red de suministro de energía 2. En un posible modo de realización, la unidad de cálculo 4C de la unidad de procesamiento 4 puede proporcionar una contingencia de referencia que tiene la mayor similitud con la contingencia observada. En un posible modo de realización, una unidad de control del sistema 1 puede generar automáticamente señales de control CTRL dependiendo de la contingencia reconocida para realizar contramedidas para eliminar la contingencia reconocida en la red de suministro de energía 2. Esta unidad de control puede proporcionar señales de control para controlar actuadores dentro de la red de suministro de energía 2, en particular medios de conmutación. Por ejemplo, en respuesta a una contingencia reconocida, se pueden activar conmutadores para desconectar subsistemas o componentes de la red de suministro de energía 2. Además, los componentes o subsistemas se pueden encender para reemplazar los componentes afectados de la red de suministro de energía 2. Después de haber realizado la conmutación, en una etapa adicional se puede evaluar si la contingencia reconocida se ha eliminado en la red de suministro de energía 2. El reconocimiento de la contingencia en la red de suministro de energía, así como el rendimiento de las contramedidas, se puede realizar automáticamente en tiempo real.

La Fig. 7 muestra un diagrama de flujo de un posible ejemplo del procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía 2 de acuerdo con un aspecto adicional fuera del alcance de la presente invención. En el modo de realización ilustrado de la Fig. 7, el procedimiento para reconocer contingencias en la red de suministro de energía 2 comprende tres etapas principales.

En una primera etapa S71, los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2 se procesan mediante modelos de atención neuronal asociados para proporcionar un perfil de estado de red global, GNSP, de la red de suministro de energía 2 que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2, una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia.

En una etapa adicional S72, los datos de medición, MD, generados por los dispositivos de medición en el terreno 3 de la red de suministro de energía 2 se procesan para proporcionar un perfil de relevancia, RP, de la red de suministro de energía 2 que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno 3-i, una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de la contingencia dentro de la red de suministro de energía 2.

En un posible ejemplo, la etapa S71 y la etapa S72 pueden realizarse en paralelo para reducir el tiempo de cálculo requerido para reconocer una contingencia en la red de suministro de energía 2. En una etapa adicional S73, el perfil de estado de red global calculado GNSP de la red de suministro de energía 2 y el perfil de relevancia calculado RP de la red de suministro de energía 2 se comparan con perfiles de contingencia de referencia, rCP, almacenados

en una base de datos de contingencia de referencia 5 para reconocer una contingencia en la red de suministro de energía 2.

5 Cada modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición correspondiente en el terreno 3 puede usarse para calcular un perfil de estado de red local, LNSP, para la red de suministro de energía 2 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3. En un posible modo de realización, los perfiles de estado de red local, LNSP, de los diferentes dispositivos de medición en el terreno 3 se concatenan para proporcionar el perfil de estado de red global, GNSP, de la red de suministro de energía 2.

10 El modelo de atención neuronal LNSM comprende en un posible modo de realización una capa convolucional CONL para suavizar los datos de medición, MD, recibidos por los dispositivos de medición asociados en el terreno 3 de la red de suministro de energía 2. El modelo de atención neuronal LNSM asociado a un dispositivo de medición correspondiente en el terreno 3 de la red de suministro de energía 2 comprende al menos una capa de red neuronal recurrente, RNN, para capturar una dependencia de tiempo de los datos de medición, MD, recibidos. El modelo de atención neuronal asociado a un dispositivo de medición en el terreno 3 de la red de suministro de energía 2 comprende en un posible modo de realización una capa de atención que pondera las salidas de la última capa de red neuronal recurrente, RNN, del modelo de atención neuronal, donde la salida de un subred de atención por prealimentación asociada recibe datos de información de contexto por canal que indican un estado estable de la red de suministro de energía 2 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3.

20 La Fig. 8 muestra esquemáticamente un modelo de atención neuronal, NAM, que se puede usar mediante el procedimiento y el sistema de acuerdo con la presente invención. El modelo de atención neuronal de la Fig. 8 puede formar un modelo de estado de red local, LNSM, como se ilustra en la Fig. 1.

25 Como se puede observar en el modo de realización ilustrado de la Fig. 8, el modelo de atención neuronal comprende una capa convolucional CONL adaptada para suavizar los datos de medición recibidos por un dispositivo de medición asociado en el terreno 3-i de la red de suministro de energía 2. Esta capa convolucional CONL forma un componente para aumentar la robustez del ruido.

30 El modelo de atención neuronal comprende además en el modo de realización ilustrado dos capas de red neuronal recurrente, RNN, que están adaptadas para capturar una dependencia de tiempo de los datos de medición MD recibidos. Cada capa de red neuronal recurrente, RNNL, comprende unidades recurrentes cerradas, GRU, como se ilustra en la Fig. 8.

35 El modelo de atención neuronal, LNSM, comprende además en el modo de realización ilustrado una capa de clasificación, CLAL, adaptada para ponderar las salidas recibidas de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2 de dicha red de atención neuronal para calcular un perfil de estado de red local, LNSP, para la red de suministro de energía 2 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3 que indica una distribución de probabilidad de clase predicha con respecto a clases de contingencia. En el ejemplo ilustrado de la Fig. 8, el modelo de atención neuronal LNSM asociado a un dispositivo de medición en el terreno 3 de la red de suministro de energía 2 comprende una capa de atención, AL, que pondera ( $w_0 - w_7$ ) salidas de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2 del modelo de atención neuronal, donde la salida de una subred de atención por prealimentación asociada, FFAS, recibe datos de información de contexto, CID, generalizados que indican un estado estable, SS, de la red de suministro de energía 2 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3. El modelo de atención neuronal, LNSM, asociado al dispositivo de medición correspondiente en el terreno 3 comprende la capa de clasificación, CLAL, que recibe las salidas ponderadas de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2 de dicha red de atención neuronal para calcular un perfil de estado de red local, LNSD, para la red de suministro de energía 3 en el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3 que indica una distribución de probabilidad de clase predicha con respecto a clases de contingencia.

50 Cada perfil de contingencia de referencia, rCP, almacenado en la base de datos de contingencia de referencia 5 comprende un perfil de estado de red global de referencia, rGNSP, y un perfil de relevancia de referencia, rRP. Una métrica de similitud, SM, que indica una similitud entre un perfil de contingencia candidato, CCP, formado por el perfil de estado de red global, GNSP, y el perfil de relevancia, RP, de la red de suministro de energía 2 y un perfil de contingencia de referencia, rCP, se calculan para cada perfil de contingencia de referencia, rCP, almacenado en la base de datos de contingencia de referencia 5 dependiendo del perfil de estado de red global, GNSP, del perfil de contingencia candidato, CCP, y según el perfil de estado de red global, GNSP, del respectivo perfil de contingencia de referencia, rCP. La métrica de similitud, SM, usada puede comprender, por ejemplo, una métrica de similitud, SM, de coseno ponderada.

60 En el sistema de supervisión 1 de acuerdo con la presente invención, se calcula un perfil para los datos de contingencia observados en los que el perfil consiste en dos componentes principales. El primer componente de este perfil calculado, es decir, el perfil de contingencia candidato, CCP, es un perfil de estado de red global, GNSP, que indica qué tipos de contingencias se observan en la red de suministro de energía 2, es decir, el perfil de estado de red global, GNSP, puede considerarse como un "patrón qué" que indica qué tipo de contingencias se observan en la red de suministro de energía 2. El segundo componente del perfil de contingencia candidato, CCP, indica

qué dispositivos de medición en el terreno 3 se consideran más relevantes o importantes y puede considerarse como un indicador de dónde reside el origen de la contingencia en la red de suministro de energía 3. En consecuencia, el perfil de referencia, RP, puede considerarse como un "patrón dónde" que indica dónde se ha producido la contingencia observada. La combinación del "patrón qué" (perfil de estado de red global, GNSP) y el "patrón dónde" (perfil de relevancia, RP) proporciona un perfil individual claro y específico de una contingencia en la red de suministro de energía 2 que puede reconocerse automáticamente dado un conjunto de perfiles de contingencia de referencia rCP almacenado en una base de datos 5.

Un posible modo de realización de un modelo de atención neuronal, LNSM, se ilustra en la Fig. 8. El modelo de atención neuronal, LNSM, comprende varios subcomponentes que aumentan la robustez del modelo frente a las perturbaciones esperadas como el ruido, las dependencias de tiempo y la detección de anomalías difusas que pueden afectar a la calidad del reconocimiento de contingencia. Además, produce representaciones de estado local interpretables que codifican una distribución de probabilidad con respecto a clases de contingencia tales como cortocircuitos, SC, pérdida de línea, LL, interrupción del generador, GO, etc. Esto proporciona una mejor intuición sobre el reconocimiento de una contingencia objetivo. Para lograr una alta robustez frente al ruido, se realiza una convolución por canal con un solo filtro en un eje de tiempo de los datos de medición, MD, de entrada de un único dispositivo de medición en el terreno 3. En consecuencia, el modelo de atención neuronal LNSM comprende como entrada una capa convolucional, CONL, que recibe la señal de contingencia o los datos de medición, MD, desde el dispositivo de medición en el terreno 3 como se ilustra en la Fig. 9.

$$h_t^0 = \sum_i^s w_i X_{1+i}$$

(1)

donde X contiene las mediciones preprocesadas de un único dispositivo de medición en el terreno. X es de la forma canales x tiempo y w es el vector de filtro de la forma s x s. La interpretación de la capa convolucional, CONL, es la de un operador básico de suavizado de señal de ventana móvil. El suavizado de señal se usa para contrarrestar el ruido en las señales. A diferencia de los núcleos de suavizado fijo convencionales, el suavizado aplicado también puede ser aprendido por el modelo de forma autónoma.

Las dependencias a lo largo del tiempo en los datos se consideran directamente mediante el uso de capas de red neuronal recurrente, RNNL, como se ilustra en la Fig. 8. En el modo de realización ilustrado, dos capas de red neuronal recurrente RNNL1, RNNL2 se apilan en la parte superior de la salida de la capa convolucional, CONL. Cada capa de red neuronal recurrente comprende unidades recurrentes cerradas, GRU.

$$z_t^1 = \sigma(W_z^1 h_t^0 + U_z^1 h_{t-1}^1 + b_z^1)$$

$$r_t^1 = (W_r^1 h_t^0 + U_r^1 h_{t-1}^1 + b_r^1)$$

$$h_t^1 = (1 - z_t^1) \circ \sigma_h(W_h^1 h_t^0 + U_h^1 (r_t^1 \circ h_{t-1}^1) + b_h^1) + z_t^1 \circ h_{t-1}^1$$

$$z_t^2 = \sigma(W_z^2 h_t^1 + U_z^2 h_{t-1}^2 + b_z^2)$$

$$r_t^2 = (W_r^2 h_t^1 + U_r^2 h_{t-1}^2 + b_r^2)$$

$$h_t^2 = (1 - z_t^2) \circ \sigma_h(W_h^2 h_t^1 + U_h^2 (r_t^2 \circ h_{t-1}^2) + b_h^2) + z_t^2 \circ h_{t-1}^2$$

Debe observarse que el superíndice indica el índice de capa. Las fórmulas anteriores corresponden a una formulación estándar de GRU.

El modelo de atención neuronal LNSM ilustrado en la Fig. 8 comprende además un mecanismo de atención que pondera la importancia de las salidas de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2.

$$h^3 = \sum_t^T f_{att}(h_t^2, C) \cdot h_t^2$$

con

$$f_{att}(h, C) = \varphi(W_{att}^1 \varphi(W_{att}^0 [h; C] + b_{att}^0) + b_{att}^1)$$

Para ello, cada salida de la última capa neuronal recurrente RNNL2 se combina con información de contexto  $C_p$ . La información de contexto en el modo de realización ilustrado está formada por la señal de estado estable, SS, proporcionada por el dispositivo de medición respectivo en el terreno 3 que indica un estado de funcionamiento normal de la red de suministro de energía 2 en la ubicación del dispositivo de medición en el terreno 3. La señal de estado estable, SS, de un dispositivo de medición en el terreno 3 forma datos de información de contexto, CID, que pueden almacenarse localmente en una memoria intermedia y pueden leerse desde la memoria intermedia en caso de que se observe una contingencia, proporcionando una señal de contingencia MD. Estos CID de información de contexto pueden aplicarse a las subredes de atención FFAS como se muestra en la Fig. 8A. Los datos de información de contexto, CID, se puede suministrar por canal. En el ejemplo ilustrado de la Fig. 9, el diagrama de señal tiene dos canales  $c1$ ,  $c2$ .

La salida de la subred de atención FFAS  $f_{att}(h, C)$  es un peso único  $w$  que se multiplica con la salida de la salida correspondiente de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2 como se muestra en la Fig. 8. Finalmente, la suma de las salidas ponderadas se calcula para producir un solo vector de salida ( $h^3$ ). La idea subyacente a este mecanismo es la siguiente. Suponiendo que la detección de anomalías se inicia demasiado pronto y, por ejemplo, la mitad de la ventana de tiempo proporcionada al modelo no contiene ningún dato anómalo, entonces se desea que el algoritmo ignore la primera mitad de los datos recibidos automáticamente y se centre en esa parte de los datos recibidos que incluye la información importante. El modelo aprende el comportamiento automáticamente a partir de los datos para poder decidir de forma autónoma cuándo se aplica en nuevos datos de medición, MD, entrantes. Esto es lo que está realizando el mecanismo de atención AL después de la última capa de red neuronal recurrente RNNL2. Dados ciertos CID de contexto (es decir, estado estable) y lo que el modelo sabe hasta ahora, es decir, la salida de la capa de red neuronal recurrente RNNL2, puede reevaluar y ponderar la importancia de la salida en la etapa de tiempo  $t$ , antes de realizar una clasificación final usando la capa de clasificación, CLAL.

La clase de contingencia puede predecirse finalmente como sigue:

$$\hat{y} = \phi(W^4 h^3 + b^3) \quad \text{con} \quad \phi(x)_c = \frac{e^{x_c}}{\sum_c e^{x_c}}$$

La capa de clasificación, CLAL, proporciona una probabilidad predicha para cada clase de contingencia. Esto se puede usar como un perfil de estado de red local, LNSP.

El modelo de atención neuronal LNSM, como se ilustra en la Fig. 8, se puede aprender de extremo a extremo, lo que significa que todos los componentes se aprenden a la vez. En cuanto al entrenamiento del modelo de atención neuronal, es posible usar un conjunto completo de mediciones de un único dispositivo de medición en el terreno 3 como un ejemplo de entrenamiento que se puede etiquetar con la clase de contingencia. Por ejemplo, considerando una red de suministro de energía 2 supervisada por 100 dispositivos de medición en el terreno 3, una línea de cortocircuito de contingencia puede dar como resultado 100 ejemplos o conjuntos de datos de ejemplo en los que cada conjunto de datos puede etiquetarse como cortocircuito, SC. Además, se pueden realizar secciones aleatorias durante el entrenamiento en los ejemplos (en el eje del tiempo) extrayendo ventanas de longitud fija que pueden abarcar, por ejemplo, aproximadamente 0,5 segundos desde el intervalo  $[-0,25; 0,75]$ , donde  $-0,25$  apunta a etapas de tiempo que se extienden hasta 0,25 segundos antes de que se haya producido la contingencia real en la red de suministro de energía 2. Para cada ejemplo de entrenamiento o conjunto de datos, se pueden realizar dos secciones aleatorias en las que se exige que las representaciones producidas para la capa de clasificación, CLAL, sean de alta similitud. Esto se puede lograr minimizando una función de coste aditiva que penaliza la combinación de diferencias de representación y error de clasificación de ambas secciones.

$$L(X, y, \theta) = - \sum_i y_i \log(f_\theta(X_{i,1})) - y_i \log(f_\theta(X_{i,2})) + \beta \cdot f_{sim}(g_\theta(X_{i,1}), g_\theta(X_{i,2}))$$

donde  $f_\theta$  es el modelo de atención neuronal LNSM parametrizado por  $\theta$  e  $y$  es la etiqueta del conjunto de datos  $i$  de ejemplo.

$X_{i,1}, X_{i,2}$  son los ejemplos seccionados y  $f_{sim}$  es una función de similitud entre las representaciones calculadas a partir de los ejemplos seccionados por el modelo de atención neuronal LNSM sin aplicar la capa de clasificación CLAL ( $h^4$ ). Además,  $g_\theta$  es la función de la red subneuronal que calcula estas representaciones. Además,  $\beta$  es un escalar que pondera el impacto de la condición de similitud. La función de coste se puede minimizar con un descenso de gradiente estocástico usando, por ejemplo, la regla de etapas ADAM.

El modelo de atención neuronal LNSM, como se ilustra en la Fig. 8, predice para los datos de medición, MD, de cada dispositivo de medición individual en el terreno 3 una distribución con respecto a clases de contingencia que define, por ejemplo, cortocircuitos, SC, interrupciones de línea, LO, o interrupciones de generador, GO, para

proporcionar algunas clases de contingencia ejemplares. Cabe señalar que, a diferencia de los enfoques convencionales (por ejemplo, la factorización tensorial), estas clases de contingencia proporcionan un significado interpretable. Además, es posible incluir una clase específica para "no ha pasado nada" que permita reaccionar adecuadamente ante falsas alarmas.

5

La Fig. 10 muestra una clasificación flexible con confiancias o valores de probabilidad P para un único dispositivo de medición en el terreno 3 dentro de la red de suministro de energía 2. El diagrama de la Fig. 10 ilustra la probabilidad P para diferentes clases de contingencia tales como BC (desactivación de barra colectora) o apagón general (GO). En el ejemplo ilustrado, la clase de contingencia SC + TO es más prominente y comprende la probabilidad más alta P. La Fig. 10 es un perfil de estado de red local, LNSP, que ilustra un estado de red local, LNS, dentro de la red de suministro de energía 2 en la ubicación del dispositivo de medición respectivo en el terreno 3.

10

En un posible modo de realización se puede formar una representación global del estado de red mediante la concatenación de todos los perfiles de estado de red local, LNSP, como se ilustra en la Fig. 10. En la Fig. 11 se ilustra un perfil de estado de red global, GNSP, que puede ser utilizado por el sistema. La Fig. 11 muestra un diagrama que ilustra una clasificación flexible con confiancias para cada dispositivo de medición en el terreno 3. Cada barra representa una distribución de clase de un único dispositivo de medición en el terreno 3 como se muestra en la Fig. 10.

15

20

En un posible modo de realización, una ponderación de importancia para cada dispositivo de medición en el terreno 3 ubicado en la red de suministro de energía 2 se puede calcular en paralelo en base a los datos preprocesados, es decir, las señales recibidas desde los dispositivos de medición en el terreno 3 que han sido reescalados y solo contienen la desviación con respecto al valor esperado del estado estable, SS.

25

La Fig. 5 ilustra un diagrama para ilustrar una importancia o relevancia r de diferentes dispositivos de medición en el terreno 3 para una contingencia observada. Después de haber entrenado un modelo de estimación de estado, es posible crear una base de datos de referencia de contingencias objetivo a detectar en una red de suministro de energía 2. Para lograr esto, es posible seleccionar los datos de contingencias objetivo adecuadas y construir un perfil de contingencia para cada una de las contingencias objetivo y almacenarlas en una base de datos de contingencias.

30

Los perfiles de contingencia se pueden comparar en tres subetapas.

35

En primer lugar, una similitud de coseno entre el "patrón qué" (perfil de estado de red global, GNSP) y el "patrón qué" de la contingencia objetivo almacenada en la base de datos 5 se calcula como sigue:

$$\cos(u, v) = \frac{\sum_i u_i v_i}{\sqrt{\sum_i u_i^2} \sqrt{\sum_i v_i^2}}$$

40

Además, una similitud de coseno entre el "patrón dónde" de la contingencia de referencia y el "patrón dónde" de la contingencia objetivo se calcula de como sigue:

$$\cos(h, k) = \frac{\sum_i h_i k_i}{\sqrt{\sum_i h_i^2} \sqrt{\sum_i k_i^2}}$$

45

En la última subetapa, estas dos puntuaciones de similitud se pueden combinar. Esto se puede realizar, por ejemplo, hallando la media de ambos valores para obtener la similitud entre la contingencia de referencia y la contingencia objetivo:

$$\text{sim}(r, t) = \frac{\cos(u, v) + \cos(h, k)}{2}$$

50

Un ejemplo de este enfoque se ilustra en las Figs. 12, 13 (subetapa 1 y subetapa 2) y en la Fig. 14 (subetapa 3).

La Fig. 12 ilustra una comparación de similitud de un patrón de clasificación flexible objetivo ("patrón qué") con el patrón de clasificación flexible de contingencias de referencia conocidas.

55

La Fig. 13 ilustra una comparación de similitud de un patrón de ubicación objetivo ("patrón dónde") con el patrón de ubicación de contingencias de referencia conocidas.

Además, la Fig. 14 ilustra una similitud final de datos de contingencia de entrada con contingencias conocidas al combinar las similitudes del patrón de clasificación flexible con las similitudes del patrón de ubicación. En el ejemplo específico ilustrado, la contingencia reconocida de la red de suministro de energía es BC\_THK, que tiene una puntuación de similitud de 0,85.

5

En el procedimiento y sistema de acuerdo con la presente invención, para cada contingencia recientemente detectada, los datos de medición, MD, pueden registrarse y un perfil de contingencia correspondiente puede calcularse usando un modelo de estimación de estado y un estado estable. Este perfil se puede comparar con todos los perfiles en una base de datos de referencia usando, por ejemplo, una métrica de similitud, SM, basada en la similitud de coseno como se describe anteriormente. La similitud devuelta se puede usar para clasificar las contingencias candidatas con respecto a su similitud con el perfil de contingencia de entrada. Los valores de similitud indican cuán similar es una contingencia observada a la contingencia correspondiente almacenada en la base de datos de referencia 5.

10

15

Un aspecto de la presente invención radica en mejorar la representación de estado de red ("patrón qué") y hacerla más robusta a las variaciones en los datos de entrada. Esto se puede lograr mediante dos características de la presente invención. La generación de un patrón local interpretable (por ejemplo, distribución de clases de contingencia) describe la creencia local de un dispositivo de medición en el terreno 3 de qué contingencia ha sucedido y el mecanismo de atención neuronal.

20

Las Fig. 15-19 ilustran un mecanismo de atención del modelo de atención neuronal LNSM como se muestra en la Fig. 8. El mecanismo de atención (atención de modelo MATT) se demuestra con datos reales simulados para una red eléctrica 2 que imita una red eléctrica real. Para una mejor visualización, solo se ilustra una señal de potencia activa, AP, sin procesar. El modelo se aplica en una variante artificialmente ruidosa de esta señal. Las cinco imágenes de las Figs. 15-19 muestran el comportamiento del mecanismo de atención en cinco escenarios diferentes en los que se supone que el algoritmo de detección de anomalías puede fallar al determinar el inicio correcto de la anomalía (indicado por un punto) a excepción del tercer caso, como se muestra en la Fig. 17. La primera parte de la curva es la parte de la señal con la que se alimenta el modelo de atención neuronal. Por ejemplo, en la primera imagen de la Fig. 15, se supone que la detección de anomalías determina el inicio de la anomalía o contingencia con una anticipación de seis etapas de tiempo. En la última imagen (Fig. 19), la detección de anomalías determina la anomalía seis etapas de tiempo demasiado tarde. Puede observarse que la atención del modelo (que se muestra mediante barras) es muy dinámica, lo que indica que el modelo es consciente del contenido de información variable de los datos alimentados. Esto puede observarse en las dos primeras imágenes (Fig. 15, 16) donde los datos que no pertenecen a la contingencia real reciben poca atención ya que no contienen ninguna información que caracterice la contingencia posterior. Debido a esta deducción dinámica, el modelo tiene una tolerancia mucho mayor a las variaciones en los datos de entrada, lo que da lugar a una mayor robustez en comparación con los procedimientos convencionales.

25

30

35

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía, PSN, (2),  
5 comprendiendo el procedimiento las etapas de:
  - (a) procesar (S21) datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) generados por dispositivos de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n) de dicha red de suministro de energía (2) mediante un modelo de estimación de estado de red local (LNSM) para calcular perfiles de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ );  
10
  - (b) generar (S22) un perfil de estado de red global (GNSP) a partir de los perfiles de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ );
  - (c) procesar (S23) los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) generados por los dispositivos de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n) de dicha red de suministro de energía (2) para proporcionar un perfil de relevancia (RP) que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n), una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía (2); y  
15
  - (d) calcular (S24) una similitud entre un perfil de contingencia candidato (CCP) formado por el perfil de estado de red global generado (GNSP) y formado por el perfil de relevancia (RP) calculado y perfiles de contingencia de referencia (rCP) almacenados en una base de datos de contingencias de referencia (5) para identificar el perfil de contingencia de referencia (rCP) que tiene la mayor similitud calculada como la contingencia reconocida.  
20
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el perfil de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ ) comprende un perfil de probabilidad de clase de contingencia local que comprende para los dispositivos de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n) una distribución de probabilidad de clase con respecto a clases de contingencia.  
25
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el perfil de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ ) comprende un perfil de contingencia latente local.  
30
4. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 3, en el que los dispositivos de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n) comprenden unidades de medición fasorial, PMU, que proporcionan series de tiempo de datos de medición (MD) en diferentes canales de medición.  
35
5. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 4, en el que el modelo de estimación de estado de red local (LNSM) está formado por un modelo que genera una representación de características latentes para el estado de la red local.  
40
6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 5, en el que cada perfil de contingencia de referencia (rCP) almacenado en la base de datos de contingencias de referencia (5) comprende un perfil de estado de red global de referencia, rGNSP, y un perfil de relevancia de referencia, rRP.  
45
7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que una métrica de similitud (SM) que indica una similitud entre el perfil de contingencia candidato (CCP) y un perfil de contingencia de referencia (rCP) se calcula para cada perfil de contingencia de referencia (rCP) almacenado en la base de datos de contingencias de referencia (5) según el perfil de estado de red global (GNSP) del perfil de contingencia candidato (CCP) y según el perfil de estado de red global (GNSP) del perfil de contingencia de referencia respectivo (rCP).  
50
8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la métrica de similitud (SM) usada comprende una métrica de similitud de coseno ponderada.  
55
9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 8, en el que los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) generados por cada dispositivo de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n) de la red de suministro de energía (2) se preprocesa para proporcionar una desviación típica,  $q$ , de los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) con respecto a un valor esperado,  $\mu$ , en un estado estable para cada canal de medición,  $c$ , del dispositivo de medición respectivo en el terreno (3-1, ..., 3-n).  
60
10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que los datos de medición preprocesados ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) se reescalan dividiéndose por la desviación típica específica de canal y de dispositivo de medición en el terreno (3-1, ..., 3-n).  
65

- 5
11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en el que se calcula un peso de relevancia,  $w$ , para cada dispositivo de medición en el terreno (3-1,..., 3-n) normalizando la desviación típica de los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) del dispositivo de medición respectivo en el terreno (3-1,..., 3-n) para proporcionar el perfil de relevancia (RP).
12. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 11, en el que los modelos de estimación de estado de red local (LNSM) se entrenan con datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) de contingencias observadas de la red de suministro de energía (2).
- 10 13. Un sistema de supervisión adaptado para reconocer una contingencia en una red de suministro de energía, PSN, (2),  
comprendiendo el sistema de supervisión (1):
- 15 - dispositivos de medición en el terreno (3-1,..., 3-n) adaptados para generar datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) de dicha red de suministro de energía (2) y
- una unidad de procesamiento (4) adaptada para procesar los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) generados por los dispositivos de medición en el terreno (3-1,...,3-n) de dicha red de suministro de energía (2) usando un modelo de estimación de estado de red local (LNSM) para calcular perfiles de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ ),
- 20 donde dicha unidad de procesamiento (4) está adaptada además para usar los perfiles de estado de red local ( $LNSP_1, \dots, LNSP_n$ ) calculados para generar un perfil de estado de red global (GNSP), donde dicha unidad de procesamiento (4) está adaptada además para procesar los datos de medición ( $MD_1, \dots, MD_n$ ) generados por los dispositivos de medición en el terreno (3-1,..., 3-n) de dicha red de suministro de energía (2) para proporcionar un perfil de relevancia (RP) que comprende, para los dispositivos de medición en el terreno (3-1,..., 3-n), una distribución de relevancia que indica una probabilidad de dónde reside el origen de una contingencia dentro de la red de suministro de energía (2), donde la unidad de procesamiento (4) está adaptada además para calcular una similitud entre un perfil de contingencia candidato (CCP) formado por el perfil de estado de red global generado (GNSP) y por el perfil de relevancia calculado (RP) y perfiles de contingencia de referencia (rCP) almacenados en una base de datos de contingencia de referencia (5) de dicho sistema de supervisión (1) para identificar el perfil de contingencia de referencia (rCP) que tiene la mayor similitud calculada como la contingencia reconocida dentro de la red de suministro de energía (2).
- 25
- 30
- 35
14. El sistema de supervisión (1) de acuerdo con la reivindicación 13, en el que los dispositivos de medición en el terreno (3-1,..., 3-n) comprenden unidades de medición fasorial, PMU, que están adaptadas para proporcionar series de tiempo de datos de medición en diferentes canales de medición, c.
- 40

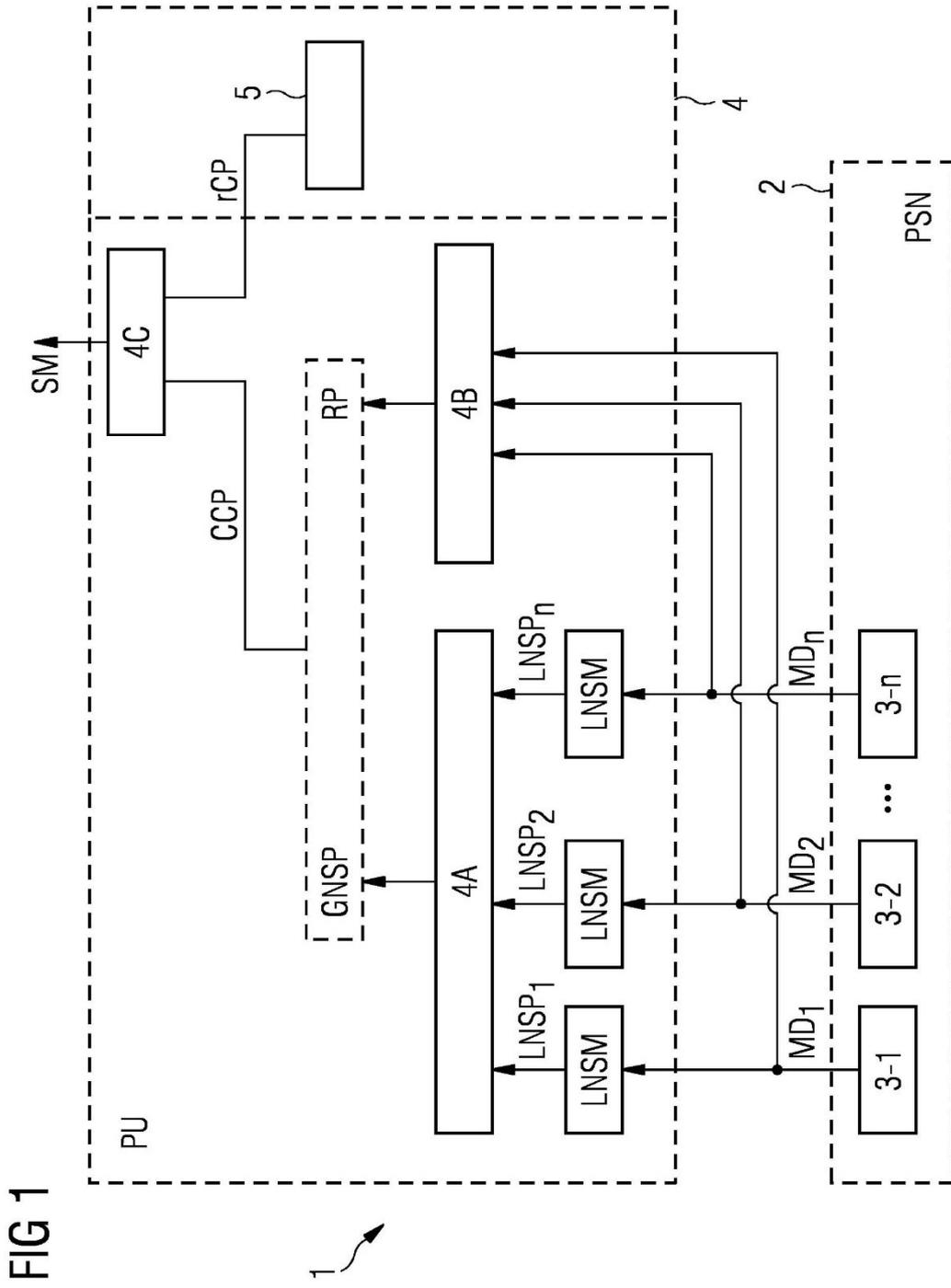


FIG 2

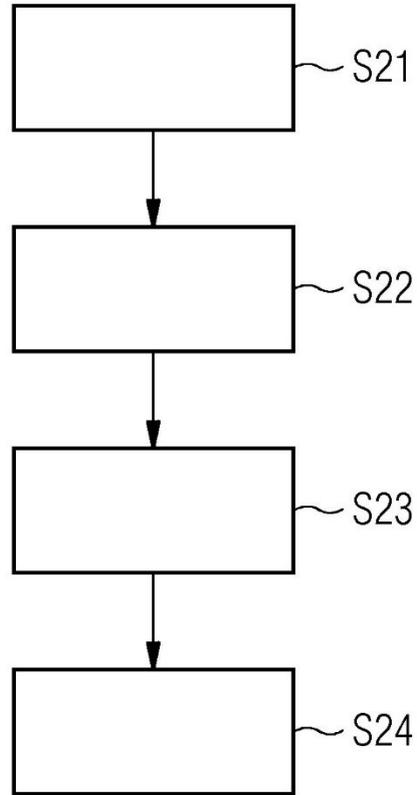


FIG 3

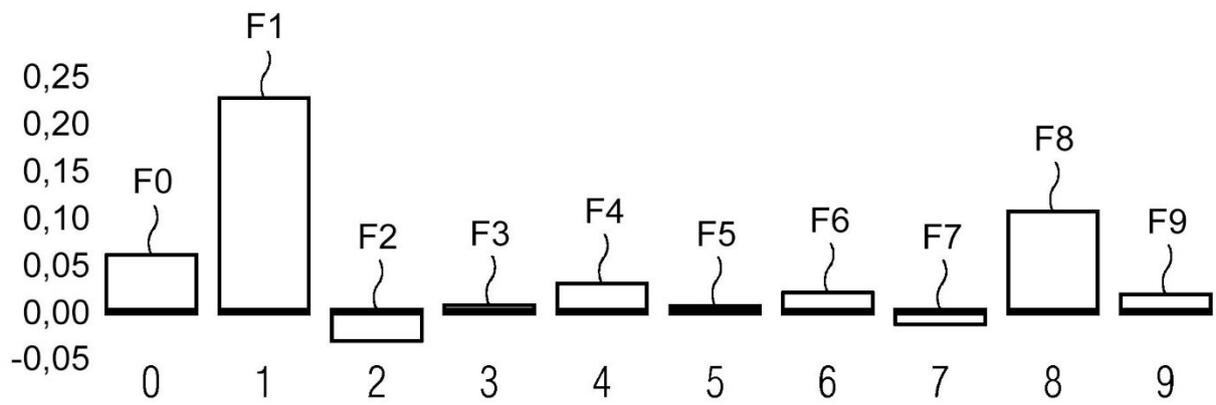


FIG 4

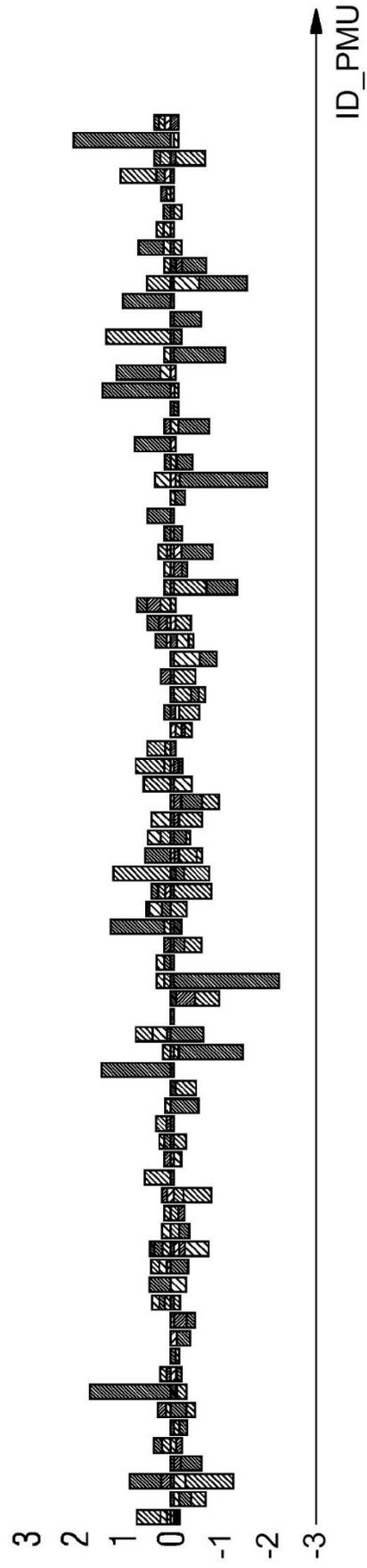


FIG 5

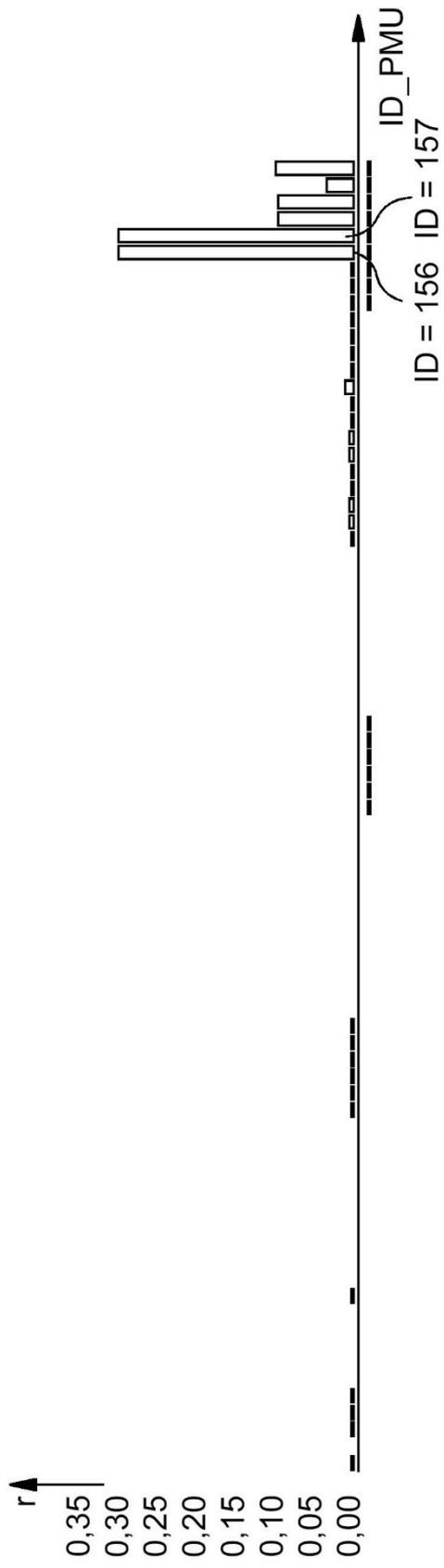


FIG 6

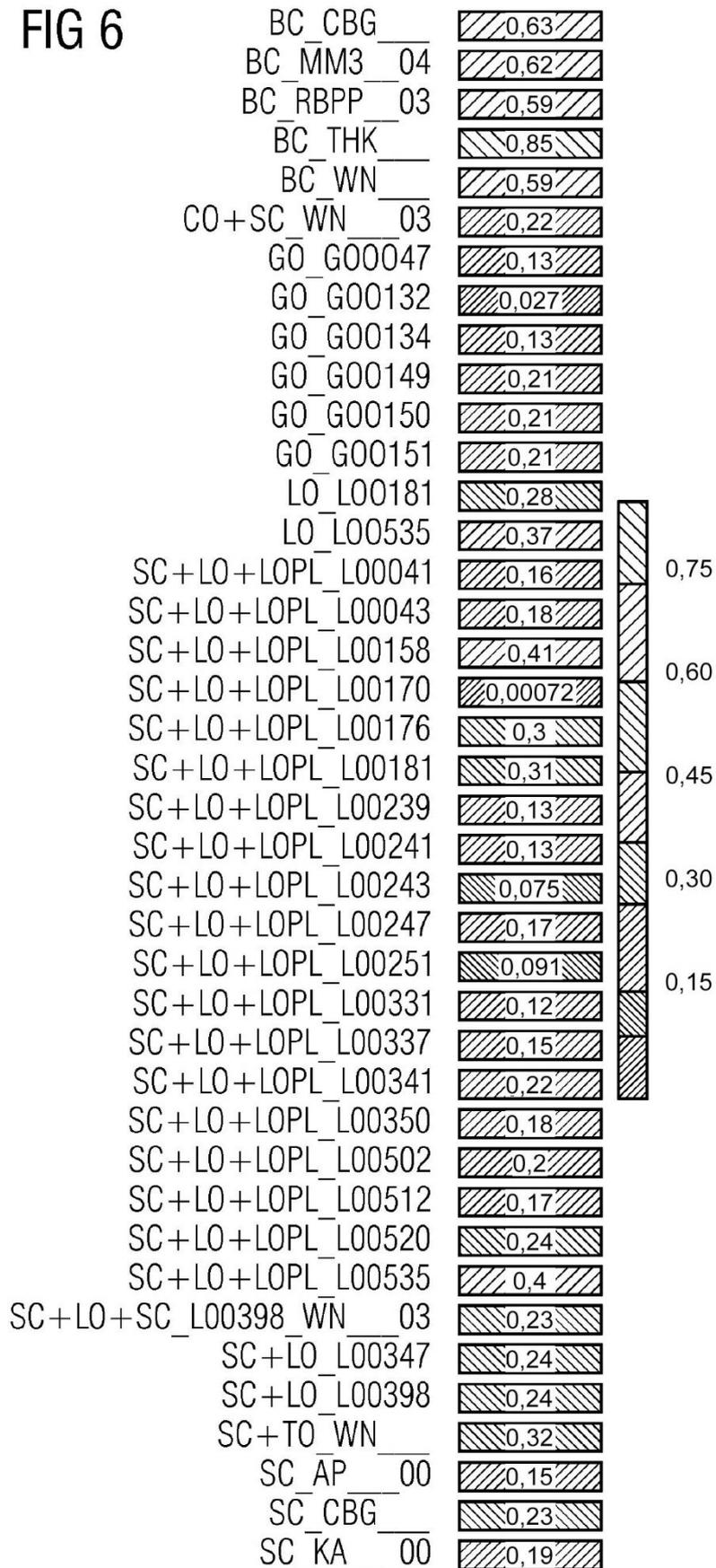


FIG 7

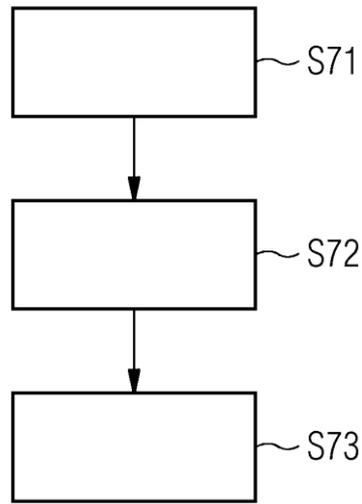


FIG 8

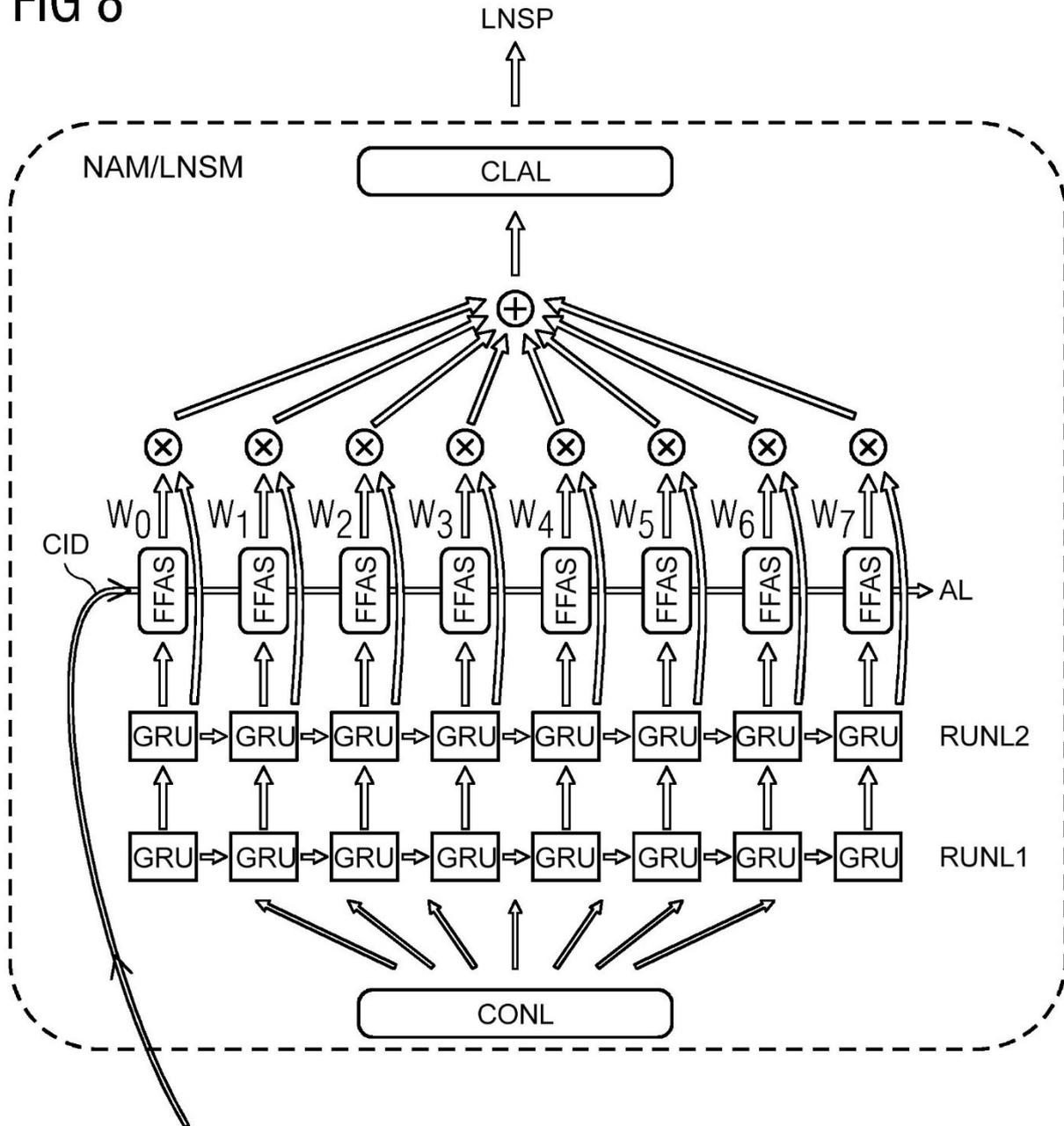


FIG 9

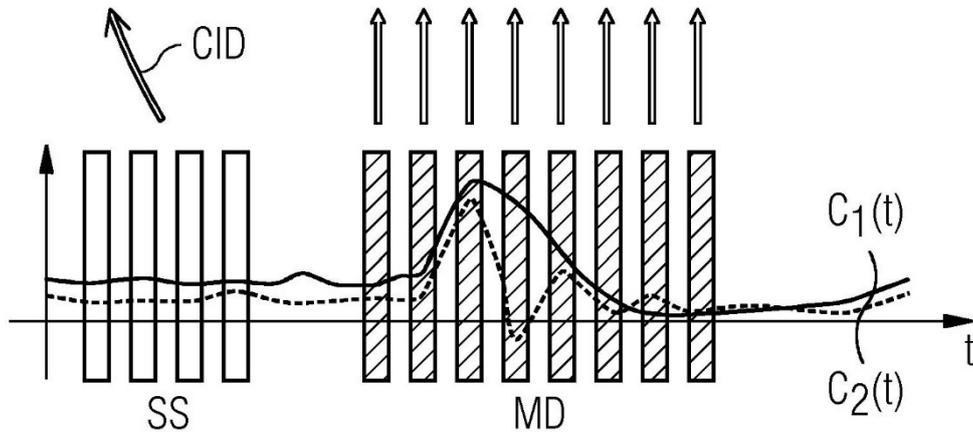


FIG 10

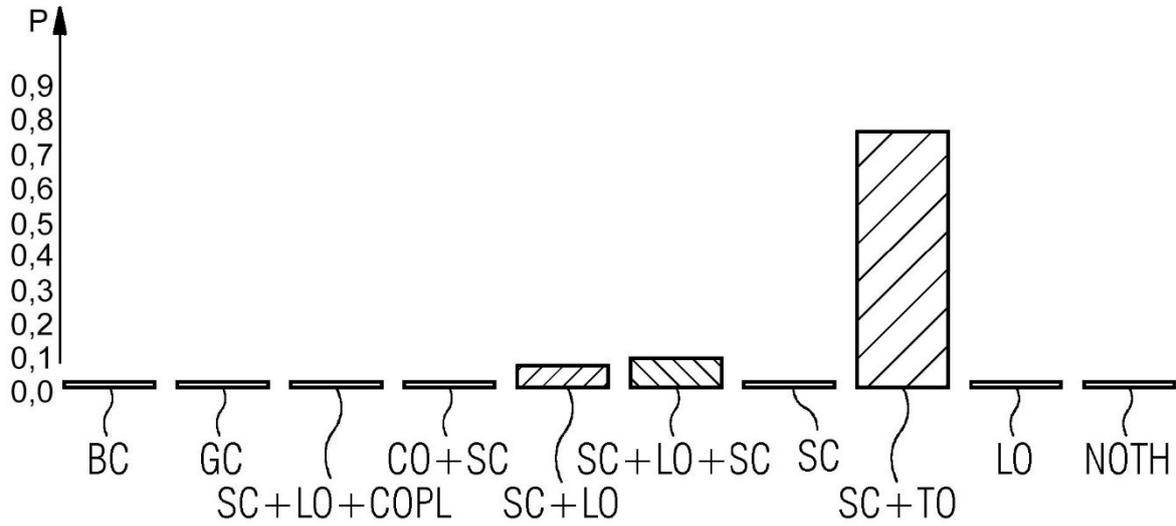


FIG 11

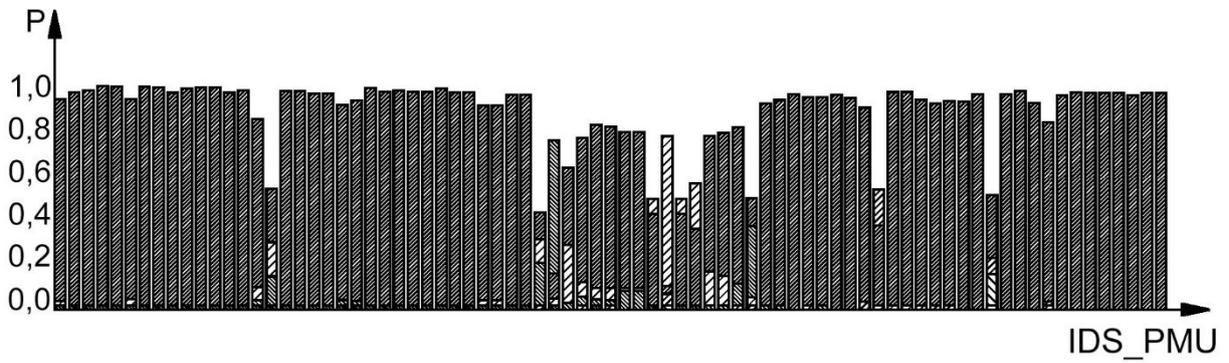


FIG 12

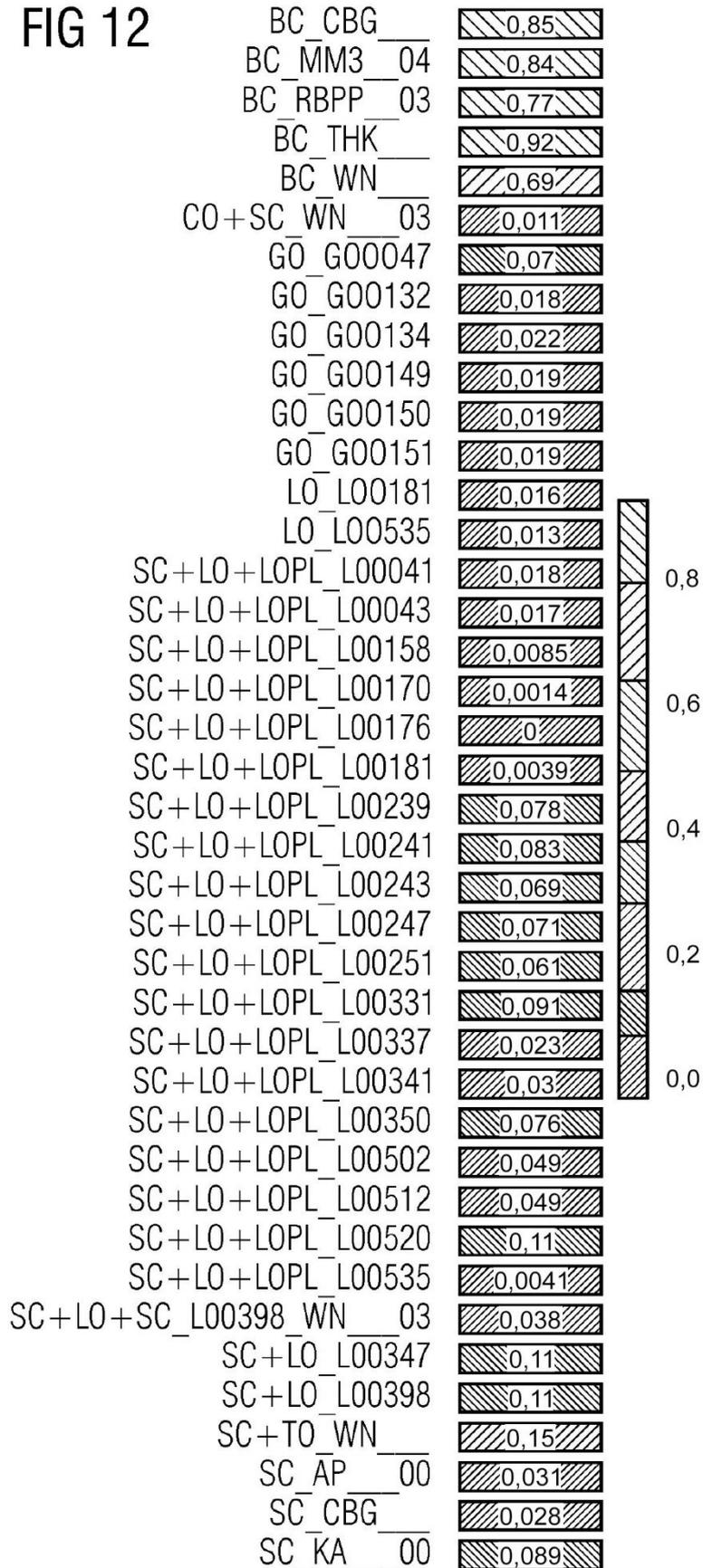


FIG 13

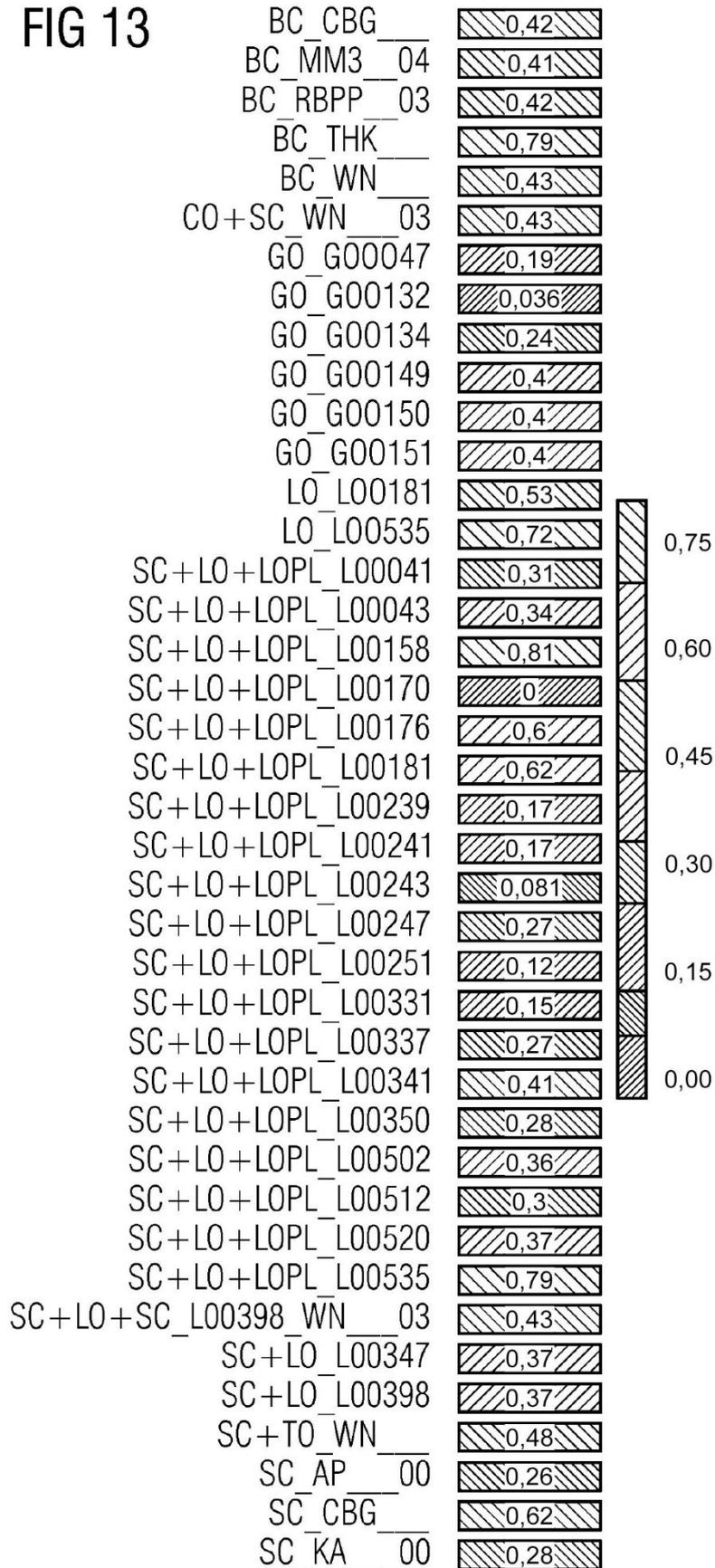


FIG 14

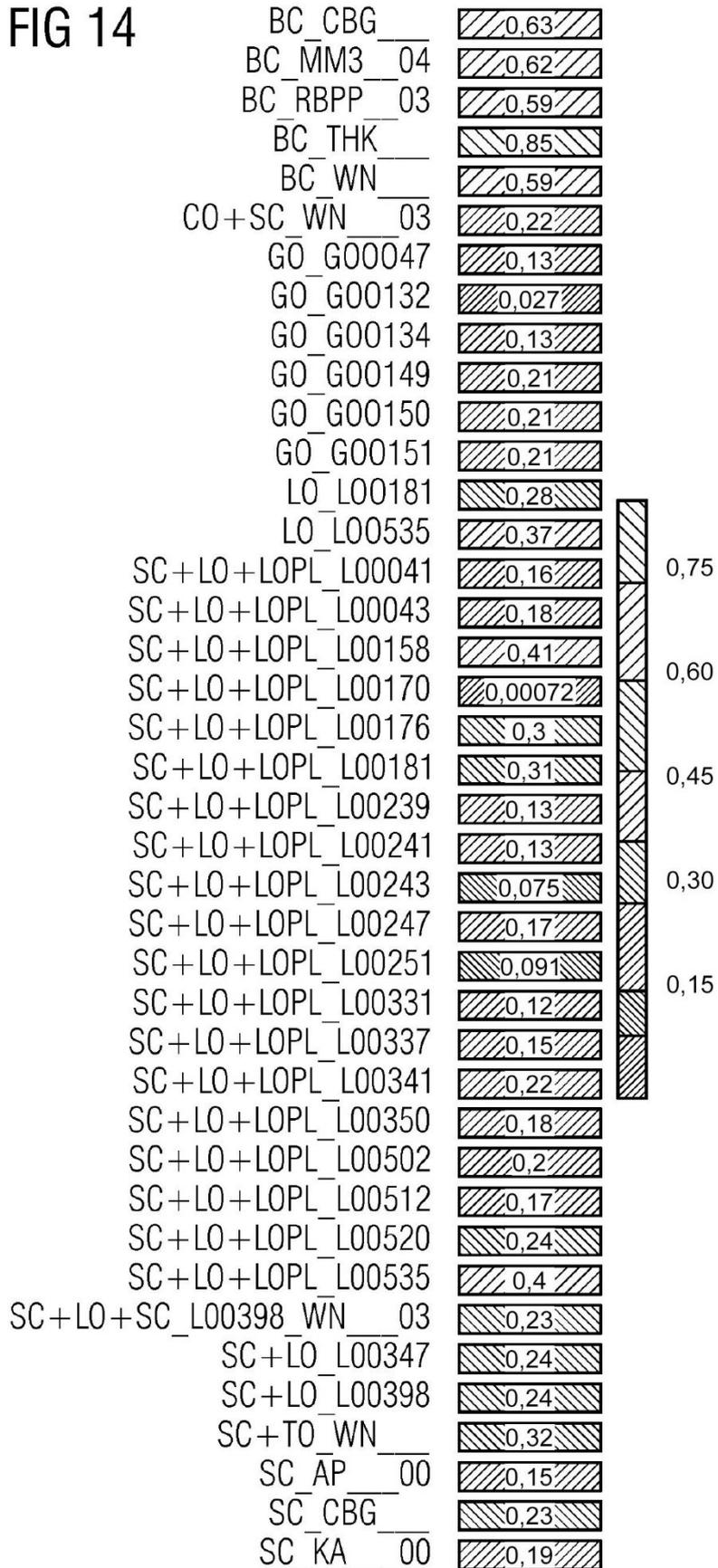


FIG 15

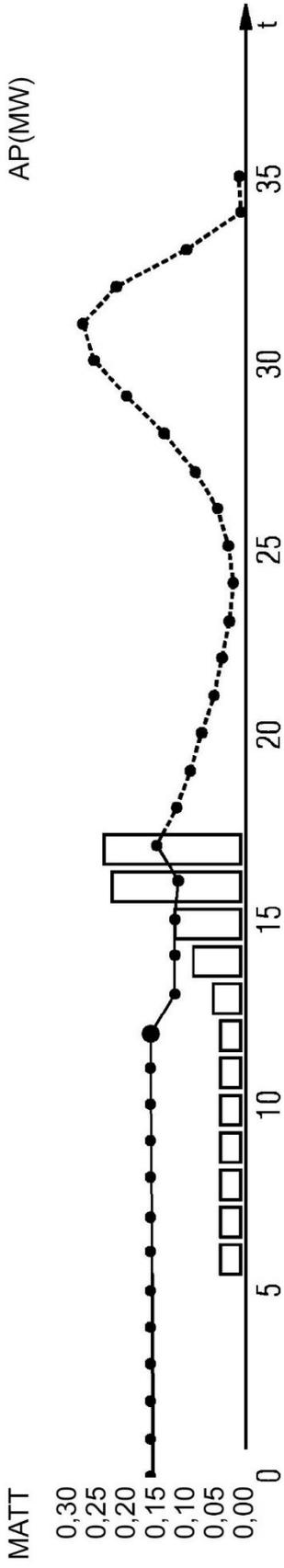


FIG 16

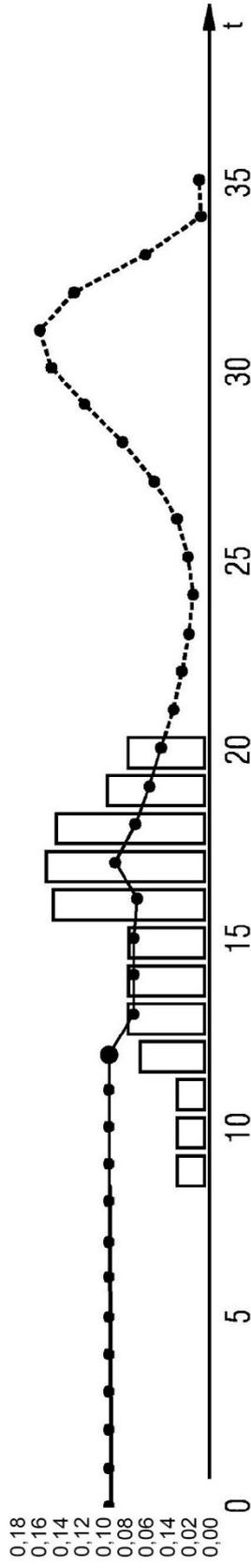


FIG 17

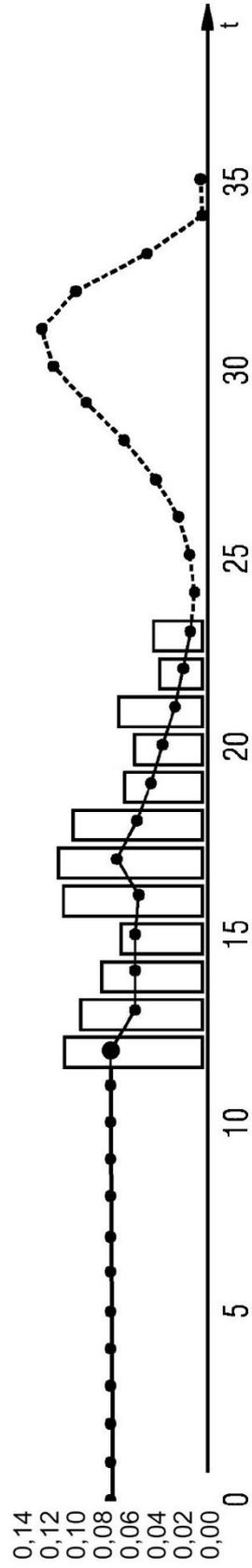


FIG 18

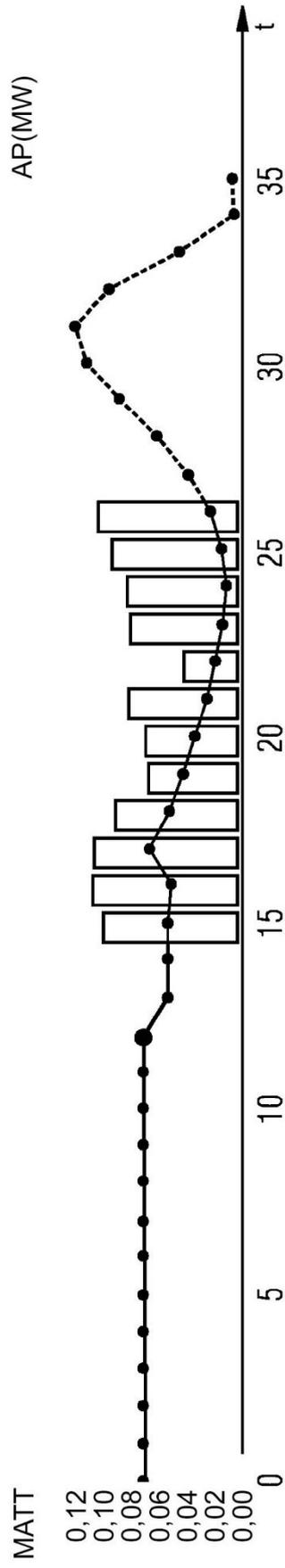


FIG 19

