

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 368**

51 Int. Cl.:

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

H02J 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2014 E 14154639 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2779347**

54 Título: **Procedimiento y equipo para operar una red eléctrica**

30 Prioridad:

14.03.2013 DE 102013204482

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

24.07.2017

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**BOPP, THOMAS, DR.;
GAXIOLA, ENRIQUE, DR.;
HUBAUER, THOMAS;
KREBS, RAINER, DR.;
LAMPARTER, STEFFEN, DR. y
RUSITSCHKA, SEBNEM**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 626 368 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).

PROCEDIMIENTO Y EQUIPO PARA OPERAR UNA RED ELÉCTRICA

DESCRIPCIÓN

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un aparato para operar una red eléctrica.
- La presente invención se refiere a un procedimiento y a un aparato para operar una red eléctrica que incluye una pluralidad de elementos de red.
- 10 Las redes eléctricas convencionales están configuradas tal que pueden interceptar perturbaciones predecibles. El criterio de seguridad en cuestión se denomina criterio N-1. El criterio N-1 significa que red eléctrica permanece, a pesar de un fallo de cualquier componente de la red, en un estado seguro, desde el cual puede volver de nuevo a su estado normal.
- 15 Sin embargo, cuando se produce un fallo de la corriente, la causa es por lo general que la red eléctrica ya había estado previamente en un estado N-1 y que en la red eléctrica bajo carga en esta situación, además e inesperadamente ha fallado otro componente de la red. Tales fallos adicionales pueden conducir a una cascada entera de perturbaciones y fallos y con ello en última instancia a un fallo completo de la corriente.
- 20 Sin embargo, muchos de estos eventos imprevistos son predecibles utilizando informaciones en tiempo real (real-time), por ejemplo mediante simulaciones avanzadas.
- 25 En los sistemas actuales, para evitar interrupciones de la corriente, se utilizan los llamados Esquemas de Protección Especial (Special Protection Schemes, SPS). Un tal SPS permite eliminar perturbaciones en la red eléctrica. Los SPS forman parte del llamado plan de defensa (Defense Plan). Un plan de defensa es un sistema predefinido de acciones, tales como maniobras de conmutación, que se pueden realizar para corregir las perturbaciones en la red eléctrica. Sin embargo, tales acciones predefinidas tienen una serie de inconvenientes. En particular, las acciones predefinidas rara vez son adecuadas para corregir una perturbación existente en ese mismo momento, ya que la ejecución de estas acciones predefinidas suele significar una sobreacción o una reacción insuficiente. Esta circunstancia sólo se mitiga por el hecho de que las redes eléctricas tienen reservas suficientemente grandes. Sin embargo, esto es complejo y en consecuencia costoso. Además, las actuales redes eléctricas, debido por ejemplo a la desregulación del comercio de electricidad o a la alimentación con energías renovables, llegan a sus límites de capacidad.
- 30 También se conocen simulaciones offline (sin conexión) para determinar parámetros apropiados para una red eléctrica planificada, que pueden encontrar aplicación en un SPS. Desde luego sólo quedan cubiertos entonces escenarios N-1 ó N-2. Además, se supone que los eventos en cascada sólo se producen con una probabilidad baja.
- 35 Pero tales simulaciones no son adecuadas para aplicaciones en tiempo real y pueden utilizarse difícilmente para predecir o eliminar perturbaciones en tiempo real. Además, las dinámicas de la red eléctrica son muy complejas, por lo que no se puede determinar ninguna solución analítica con una precisión dada durante un período de tiempo determinado.
- 40 XU, T. y colab., "Case-based reasoning for coordinated voltage control on distribution networks" (Razonamiento basado en casos para el control coordinado de la tensión en redes de distribución", Electric Power Systems Research, Elsevier, Amsterdam, NL, vol. 81, nº 12, de 4 de agosto de 2011, da a conocer un procedimiento para el control de la tensión de redes con varios generadores distribuidos conectados. El proceso utiliza un razonamiento basado en el caso y una verificación en línea (online) para elegir una cantidad adecuada de acciones de control.
- 45 El documento WO 2011/056144 A1 da a conocer un sistema para el diagnóstico de faltas en un sistema de red eléctrica. Se asigna a una falta que se presente un caso con un número de identificación y éstos se almacenan en un banco de datos. Los casos incluyen recomendaciones para eliminar la falta.
- 50 El documento WO 2008/003033 A2 da a conocer un sistema para la optimización en tiempo real de recursos eléctricos en un sistema eléctrico. Una unidad funcional genera salidas de datos predichas para el sistema eléctrico utilizando un modelo de sistema virtual del sistema eléctrico.
- 55 Por lo tanto, existe la necesidad de herramientas para la predicción de estados críticos, así como para el tratamiento de estados críticos que se presenten en una red eléctrica.
- 60 En este contexto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento mejorado para operar una red eléctrica que evite los inconvenientes antes descritos.
- 65 Este objetivo se logra mediante el procedimiento según la reivindicación 1, así como el equipo según la reivindicación 12. Formas de realización preferidas son objeto de las reivindicaciones secundarias.

El estado detectado es entonces el estado actual de la red eléctrica, que viene determinado por la tensión eléctrica, la energía disponible (cantidad y fase), capacidad de una línea o potencia reactiva de un elemento de red.

5 En una base de casos, también conocida como banco de datos de casos o memoria de casos (case memory), los problemas ya resueltos están memorizados como casos. Un tal caso está compuesto al menos por una descripción del problema y una resolución del problema asociada. Un estado detectado en un momento dado de la red eléctrica representa en este caso el problema, por ejemplo cuando un elemento de red ha caído. En la etapa de la determinación, se compara el problema actual y por lo tanto
10 el caso existente en ese momento con los casos memorizados en la base de casos. Si se detecta una solución en la base de casos para éste o para un caso similar, se asigna la maniobra de conmutación asociada a esta solución para corregir el estado detectado.

15 El procedimiento llamado razonamiento basado en el caso (Case-Based Reasoning), es un proceso de aprendizaje por máquina para resolver el problema mediante conclusiones por analogía. El procedimiento se basa en incluir para solucionar un problema dado la solución a un problema similar y ya resuelto anteriormente.

20 El procedimiento permite identificar estados críticos en una red eléctrica, en particular en situaciones críticas en el tiempo y determinar soluciones para corregirlas en base a casos conocidos. Además, el procedimiento es adecuado para predecir estados críticos en la red eléctrica y para determinar medidas preventivas apropiadas.

25 La fiabilidad del procedimiento aumenta entonces al aumentar el tiempo de funcionamiento.

La asignación de la maniobra de conmutación indicada incluye en particular mostrar la maniobra de conmutación indicada por medio de un equipo de visualización para un usuario y realizar automáticamente la maniobra de conmutación indicada mediante un equipo de conmutación para controlar la red eléctrica.
30

El equipo de visualización es, por ejemplo, parte de un centro de control y tiene una pantalla.

35 De esta manera queda asegurado que el usuario, por ejemplo el personal técnico del operador de la red eléctrica, a partir de un conjunto correcto de posibles maniobras de conmutación, puede seleccionar aquella que desde su perspectiva experta es adecuada para corregir el estado actual de la red eléctrica. En particular, es posible que el usuario se ponga de acuerdo con otros usuarios, por ejemplo personal técnico de otro operador de red eléctrica sobre las maniobras de conmutación a realizar, antes de la realización efectiva.

40 En el caso de la ejecución automática de la maniobra de conmutación indicada, es posible una intervención automática eficiente y rápida para evitar o corregir un estado crítico incipiente o ya existente de la red eléctrica. La ejecución automática se combina entonces con la visualización de las maniobras de conmutación indicadas, para permitir una intervención manual del personal técnico.

45 Según otra forma de realización, el procedimiento incluye una ampliación de la base de casos. Se realizan entonces las siguientes etapas:

50 Generar al menos un caso que incluye al menos una descripción de un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el caso que incluye el estado detectado;

55 realizar, basándose en la descripción del estado, así como en un modelo de simulación electromecánico, una simulación de flujo de energía de la red eléctrica para al menos un caso generado para determinar un efecto de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado;

determinar una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado;

60 determinar un indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado, mediante una evaluación del efecto determinado y

65 memorizar el caso generado, así como el efecto determinado, la probabilidad determinada de la ocurrencia del efecto determinado y el indicador de medida determinado en la base de casos.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia del efecto determinado, está dotada por ejemplo la simulación de determinadas distribuciones de probabilidad. Alternativamente, por ejemplo, están distribuidos aleatoriamente por ejemplo los parámetros de entrada para la simulación, tales como por ejemplo la velocidad del viento para un aerogenerador. También es posible por ejemplo, utilizando un

ES 2 626 368 T3

método de Monte-Carlo en base a las distribuciones de probabilidad de los valores de entrada, determinar las distribuciones de probabilidad de los valores de salida de la simulación.

5 De esta manera es posible ampliar la base de casos tomada como base para el procedimiento, incluyendo cada uno de los casos recién generados de esta manera una descripción del problema, así como una solución al problema.

10 Según otra forma de realización, se realiza repetidamente la ampliación de la base de casos, para ampliar de esta manera la base de casos.

El establecimiento de la base de casos puede realizarse por ejemplo en el marco de una fase de entrenamiento, antes de un primer inicio del procedimiento. Sin embargo, la base de casos se puede establecer también posteriormente.

15 Según otra forma de realización adicional, se realiza la ampliación de la base de casos en forma de un aprendizaje no supervisado.

20 La ampliación de la base de casos no requiere supervisión alguna por parte de personal técnico y puede transcurrir por completo sin supervisión.

De acuerdo con otra forma de realización, la etapa de determinar un caso incluye, en una determinación sin resultado positivo del caso incluido en la base de casos, adicionalmente la ampliación de la base de casos, determinando un caso.

25 De esta manera, la base de casos se perfecciona continuamente cuando se capta un caso en forma de un estado hasta ahora no observado de la red eléctrica. El caso en cuestión se procesa y el resultado se almacena en la base de casos, de modo que cuando se den estados futuros similares de la red eléctrica, se pueden indicar medidas apropiadas en forma de maniobras de conmutación especificadas para corregir el estado correspondiente.

30 Según otra forma de realización, se llevan a cabo las siguientes etapas cuando el caso determinado incluye varias indicaciones sobre una maniobra de conmutación para corregir el estado detectado de la red eléctrica:

- 35
- determinar un subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas en función de un criterio determinado,
 - crear una evaluación para cada operación de conmutación del subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas,
 - 40 - clasificar el subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas basándose en las evaluaciones realizadas y
 - asignar el subconjunto clasificado de las varias maniobras de conmutación indicadas para corregir el estado detectado de la red eléctrica.

45 La clasificación en función de la evaluación es un ranking de las maniobras de conmutación indicadas.

El criterio determinado para elegir el subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas se basa por ejemplo en el número de maniobras de conmutación necesarias o en la suma de las pérdidas de carga y/o pérdidas en el generador en la red eléctrica.

50 Existen también otros criterios posibles, tales como la selección (aleatoria) de un número específico predeterminado de maniobras de conmutación o una selección de las k mejores maniobras de conmutación (proceso Top-k) con respecto a las evaluaciones realizadas de las maniobras de conmutación.

55 Según otra forma de realización, incluye el procedimiento además las siguientes etapas:

- identificar al menos un estado crítico de la red eléctrica,
- determinar al menos una maniobra de conmutación posible para al menos un elemento de red para corregir el estado crítico,
- 60 - ejecutar una simulación del flujo de la energía en la red eléctrica basándose en una descripción del estado crítico de la red eléctrica, así como en un modelo de simulación electromecánico para determinar un efecto de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico,
- determinar una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado,
- determinar un parámetro de medida que determine la idoneidad de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico mediante evaluación del efecto determinado y
- 65 - memorizar el estado crítico de la red eléctrica, si el parámetro de medida determinado presenta un valor inferior a un valor límite predeterminado.

De esta manera es posible identificar preventivamente estados potencialmente críticos durante el funcionamiento de la red eléctrica y determinar medidas apropiadas, es decir, maniobras de conmutación para, en el caso de que se presente en la realidad el estado potencialmente crítico, poder maniobrar rápidamente en base a la solución al problema ya memorizada en la base de casos.

5

Para identificar estados potencialmente críticos se utiliza por ejemplo una herramienta de análisis probabilístico estático de la red (Static Probabilistic Network Analysis), como por ejemplo PRACTICE (Ciapessoni y colab., Simulation approaches in cascading risk assessment, Proceedings of PMAPS, 2012) (Enfoques de simulación en la evaluación de riesgos en cascada, actas de PMPAS, 2012).

10

Según otra forma de realización, se inicia una reconfiguración de la red eléctrica si el estado identificado en la red eléctrica se aproxima a un estado crítico de la red eléctrica almacenado.

15

Para este fin se supervisa el estado de la red eléctrica mediante un llamado controlador de reconfiguración. El controlador de reconfiguración vigila la red eléctrica con especial énfasis en las tendencias en ciernes en parámetros de la red eléctrica. Tan pronto como el controlador de reconfiguración detecta que está emergiendo una tendencia hacia un estado potencialmente crítico previamente identificado y almacenado en la base de casos en la red eléctrica, puede reconfigurarse preventivamente la red eléctrica antes de que realmente se presente el estado potencialmente crítico.

20

Según otra forma de realización adicional, se ejecuta la simulación del flujo de energía en forma de una simulación del conjunto (ensemble). Se realizan entonces las siguientes etapas:

25

- generar un conjunto de variaciones del estado determinado mediante variación de los parámetros de la red eléctrica que definen el estado determinado, dentro de una gama de variaciones predeterminada;
- realizar una sola simulación del flujo de energía para cada una de las distintas variaciones del estado determinado y
- compendiar los resultados de las distintas simulaciones del flujo de energía.

30

Así, en lugar de una sola simulación para un caso concreto, se realizan varias simulaciones para un conjunto de parámetros de entrada que varía sólo ligeramente, cuyos resultados se compendian y se almacenan en la base de casos.

35

De esta manera es posible determinar también para un estado detectado que se desvíe sólo ligeramente de un estado conocido en cuanto a sus parámetros, una resolución de problemas en la base de casos.

40

Además, se propone un producto de programa de ordenador que en un equipo controlado por programa realiza el procedimiento antes explicado.

45

Un producto de programa de ordenador, tal como un medio de programa de ordenador, puede proporcionarse o suministrarse desde un servidor en una red por ejemplo como medio de almacenamiento, como por ejemplo tarjeta de memoria, lápiz USB, CD-ROM, DVD o también en forma de un fichero que puede descargarse. Esto puede hacerse por ejemplo en una red de comunicación inalámbrica mediante la transmisión del fichero correspondiente con el producto de programa de ordenador o el medio de programa de ordenador.

50

Además se propone un soporte de datos con un programa de ordenador almacenado con órdenes, que provoca la realización del procedimiento descrito anteriormente en un equipo controlado por programa.

55

El equipo permite identificar estados críticos en una red eléctrica, en particular en situaciones críticas en el tiempo y determinar soluciones para corregirlas en base a casos conocidos. Además, el equipo es adecuado para predecir estados críticos en la red eléctrica y determinar medidas preventivas apropiadas.

60

Según una forma de realización, el equipo incluye un medio generador para generar al menos una descripción del estado correspondiente a un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el caso que incluye el estado determinado, un medio de simulación para realizar una simulación del flujo de energía en la red eléctrica basado en la descripción del estado, así como en un modelo de simulación electromecánico para el caso generado, de los que al menos hay uno, para determinar el efecto de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado, un medio de determinación de probabilidad, para determinar la probabilidad de que suceda el efecto determinado, un medio de evaluación para determinar un parámetro de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado mediante una evaluación del efecto determinado y un medio de memoria para memorizar el caso generado, así como el efecto

65

determinado, la probabilidad determinada de que se presente el efecto determinado y el parámetro de medida determinado en la base de casos.

5 De esta manera es posible ampliar la base de casos, incluyendo cada uno de los casos nuevos generados de esta manera una descripción del problema así como una solución al problema.

10 Según otra forma de realización adicional, incluye el equipo un medio de identificación para identificar al menos un estado crítico de la red eléctrica, un medio generador para determinar al menos una maniobra de conmutación posible para al menos un elemento de red para corregir el estado crítico, un medio de simulación para ejecutar una simulación del flujo de energía en la red eléctrica basada en descripción del estado crítico de la red eléctrica, así como en un modelo de simulación electromecánico para determinar un efecto de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico, un medio de determinación de la probabilidad para determinar la probabilidad de que se presente el efecto determinado, un medio de evaluación para determinar un parámetro de medida que define la idoneidad de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico mediante una evaluación del efecto determinado y un medio de memoria para memorizar el estado crítico de la red eléctrica, en el caso de que el parámetro de medida determinado dé un valor inferior a un valor límite predeterminado.

20 De esta manera es posible identificar preventivamente estados potencialmente críticos durante el funcionamiento de la red eléctrica y determinar medidas apropiadas, es decir, maniobras de conmutación para, en el caso de que se presente realmente un estado potencialmente crítico, poder operar rápidamente en base a la solución del problema ya memorizada en la base de casos.

25 Los medios de identificación para identificar estados potencialmente críticos están configurados, por ejemplo como una herramienta de análisis probabilístico estático de redes (Static Probabilistic Network Analysis), como por ejemplo PRACTICE (Ciapessoni y colab., Simulation approaches in cascading risk assessment, Proceedings of PMAPS, 2012) (Enfoques de simulación en la evaluación de riesgos en cascada, actas de PMPAS, 2012).

30 El medio correspondiente, medio de detección, medio de determinación, medio de asignación, medio generador, medio de simulación, medio de determinación de probabilidad, medio de almacenamiento, medio de identificación y medio de evaluación puede estar implementado en técnica de hardware y/o también de software. En una implementación en técnica de hardware, puede estar configurado el respectivo medio como equipo o como parte de un equipo, por ejemplo como ordenador o microprocesador. En una implementación en técnica de software, puede estar configurado el correspondiente medio como producto de programa de ordenador, como una función, como una rutina, como parte de un código de programa o como objeto que puede ejecutarse.

40 La invención se define mediante las características de las reivindicaciones independientes. Al respecto añadirá el especialista también aspectos individuales como mejoras o complemento a la correspondiente forma básica de la invención.

45 Otras variantes y aspectos ventajosos de la invención son objeto de las reivindicaciones secundarias, así como de los ejemplos de realización de la invención que se describen a continuación. En lo que sigue se describirá la invención más en detalle en base a formas de realización preferentes, con referencia a las figuras adjuntas.

50 Figura 1 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica;

figura 2 muestra un diagrama de circuitos en bloques de un ejemplo de realización de un equipo para operar una red eléctrica;

figura 3 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica;

55 figura 4 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica;

figura 5 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica y

figura 6 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

60 En las figuras se han dotado elementos idénticos o funcionalmente idénticos de las mismas referencias, siempre que no se especifique lo contrario.

65 La figura 1 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

La red eléctrica contiene al respecto un cierto número de elementos de red. El procedimiento se basa en una base de casos, que incluye un cierto número de casos. Un caso correspondiente de la base de casos comprende al menos una descripción del estado correspondiente a un estado determinado de la red

ES 2 626 368 T3

eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el estado detectado.

- 5 En la etapa S101 se detecta un estado de la red eléctrica.
- En la etapa S102 se determina un estado incluido en la base de casos, comparando el estado detectado con las descripciones de estados incluidas en los casos de la base de casos.
- 10 En la etapa S103 se muestra la maniobra de conmutación, de las que al menos hay una, indicada para el caso detectado para corregir el estado determinado por medio de una pantalla en un centro de control para un usuario.
- 15 La figura 2 muestra un diagrama de circuitos en bloques de una forma de realización de un equipo 10 para operar una red eléctrica.
- 20 El equipo 10 incluye un medio de detección S101 para detectar un estado de la red eléctrica. Además incluye el equipo 10 un medio de determinación S102 para determinar un caso incluido en la base de casos mediante comparación del estado captado con las descripciones de estados incluidas en los casos de la base de casos. Además incluye el equipo 10 un medio de asignación S103 para asignar la maniobra de conmutación indicada, de las que al menos hay una, para el caso determinado, para corregir el estado detectado, para el elemento de red, de los que al menos hay uno, para corregir el estado detectado en la red eléctrica.
- 25 Además incluye el equipo 10 un medio generador S104 para generar al menos una descripción de estado de un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el caso que incluye el estado determinado.
- 30 El equipo 10 incluye además un medio de simulación S105 para ejecutar una simulación del flujo de energía en la red eléctrica basado en la descripción del estado, así como en un modelo de simulación electromecánico para el caso generado, de los que al menos hay uno, para determinar el efecto de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado.
- 35 Además incluye el aparato 10 un medio de determinación de probabilidad S106 para determinar la probabilidad de ocurrencia del efecto determinado.
- 40 El equipo 10 comprende además un medio de evaluación S107 para determinar un indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado, mediante una evaluación del efecto determinado.
- 45 Además incluye el equipo 10 un medio de memoria S108 para memorizar el caso generado, así como el efecto determinado, la probabilidad determinada de la ocurrencia del efecto determinado y el indicador de medida determinado en la base del caso.
- Además incluye el equipo 10 un medio de identificación S109 para identificar al menos un estado crítico de la red eléctrica.
- 50 Además incluye el equipo 10 un medio de generación S110 para determinar al menos una maniobra de conmutación posible para al menos un elemento de red para corregir el estado crítico.
- 55 El equipo 10 incluye además un medio de simulación S111 para realizar una simulación del flujo de energía en la red eléctrica basada en una descripción del estado crítico de la red eléctrica, así como en un modelo de simulación electromecánico, para determinar un efecto de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico.
- 60 Además incluye el equipo 10 un medio de determinación de la probabilidad S112 para determinar la probabilidad de que se presente el efecto determinado.
- El equipo 10 incluye además un medio de evaluación S113 para determinar un parámetro de medida que define la adecuación de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico mediante una evaluación del efecto determinado.
- 65 Además incluye el equipo 10 un medio de memoria S114 para memorizar el estado crítico de la red eléctrica, en el caso de que el parámetro de medida determinado dé un valor inferior a un valor límite predeterminado.
- La figura 3 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

ES 2 626 368 T3

El procedimiento propuesto se inicializa en el marco de una fase de entrenamiento, en el marco de la cual se construye la base de casos.

5 La fase de entrenamiento se activa mediante una aplicación de entrenamiento 30 representada en la figura 3 (Training Application). Esto se realiza en la etapa S301.

10 A continuación se genera en la etapa S302 un caso de prueba mediante un componente de razonamiento basado en el caso (Case Based Reasoning) 31. Un caso de prueba incluye entonces una descripción de estado de un determinado estado de la red eléctrica, así como una indicación de una maniobra de conmutación para un elemento de red de la red eléctrica, que se utiliza para corregir el estado determinado.

Este caso de prueba se transfiere a un componente de simulación 32.

15 En la etapa S303 se realiza una configuración concreta de los parámetros de la red del caso de prueba que caracterizan el estado determinado, como por ejemplo indicaciones sobre la tensión o la carga de una o varias líneas de la red eléctrica.

20 En la etapa S304 se realiza una simulación de flujo de energía en la red eléctrica basado en la descripción del estado determinado, así como en un modelo de simulación electromecánico. El resultado de la simulación es un efecto o un resultado de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado.

25 En la etapa S305 se determina una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado.

30 En la etapa S306 se determina un indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada mediante una evaluación del efecto obtenido. Entonces se comprueba si la maniobra de conmutación es adecuada para corregir el estado determinado y trasladar la red eléctrica de nuevo a un estado estable o bien si la maniobra de conmutación no es adecuada para ello.

35 Los pasos S303-S306 se llevan a cabo repetidamente en la fase de entrenamiento. De este modo se realiza una llamada simulación del conjunto (ensemble) en la que en cada ejecución de la etapa S303 se modifican dentro de una gama de variación predeterminada los parámetros de la red eléctrica que definen el estado determinado. En el marco de la simulación del conjunto se realizan así varias simulaciones de flujo de energía individuales, en cada caso para una variación del estado determinado. Los resultados de las simulaciones individuales del flujo de energía de la simulación del conjunto se compendian a continuación de una manera adecuada. Por ejemplo, se generan variaciones del estado determinado para las que se realiza la respectiva simulación hasta que converjan los resultados de las diferentes simulaciones. Esto se comprueba en la etapa S307.

40 Si este es el caso, se memoriza el caso de prueba en la etapa S308 en la base de casos. Entonces se memorizan también el efecto determinado y la probabilidad determinada de que se presente el efecto, así como el indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada.

45 En la etapa S309 comprueba el componente Case Based Reasoning 31 si han de generarse otros casos o si la base de casos está completa. Para ello pueden prescribirse determinados criterios. Por ejemplo la fase de entrenamiento termina cuando se ha examinado todo o al menos una parte del espacio de estados completo para la red eléctrica. En este caso termina la fase de entrenamiento en la etapa S310. Caso contrario, prosigue el componente Case Based Reasoning 31 con la etapa S302 y la generación de un caso de prueba adicional.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

55 La figura 4 muestra la aplicación de defensa 40 (Defense Application). La aplicación de defensa 40 sirve para identificar y corregir estados críticos de la red eléctrica.

Para este fin se detecta en la etapa S101 el estado actual de la red eléctrica.

60 Es posible que el procedimiento salte directamente a la etapa S306, con lo que se realiza una evaluación de maniobras de conmutación determinadas que se han realizado, que se llevaron a cabo por ejemplo manualmente.

65 Una vez que se ha detectado el estado actual de la red eléctrica, se transfiere el estado detectado al componente Case Based Reasoning 31, que en la etapa S102 determina un caso similar de la base de casos.

ES 2 626 368 T3

En la etapa S403, se comprueba si pudo determinarse un caso correspondiente de la base de casos y/o si el caso determinado tiene una similitud suficientemente alta con el estado detectado en ese momento de la red eléctrica.

5 Si se ha podido determinar un caso suficientemente similar, el proceso continúa con la etapa S404. En la etapa S404, se determinan las Top-k maniobras de conmutación, que están indicadas para el caso determinado. Se determinan por lo tanto las k mejores maniobras de conmutación.

10 En la etapa S405 se evalúan las Top-k maniobras de conmutación en base a un criterio determinado y se clasifican basándose en las evaluaciones. Es posible procesar en amplia medida la lista de resultados de las maniobras de conmutación así obtenidas, por ejemplo aplicando un procedimiento de votación mayoritaria (Majority Vote) en el que selecciona la maniobra de conmutación que existe con más frecuencia en la lista de resultados. También puede retransmitirse toda la lista de maniobras de conmutación.

15 En la etapa S406, se comprueba si la evaluación previamente realizada de las maniobras de conmutación se ha llevado a cabo correctamente. Si éste es el caso, se muestran las maniobras de conmutación correspondientes en la etapa S103. Si no es éste el caso, es decir, que no se realizó ninguna evaluación, se realiza en la etapa S103a una visualización del problema identificado y, en su caso, de posibles soluciones. A continuación retorna el proceso al paso S101, para captar el estado actual de la red eléctrica.

20 Si no se pudo determinar un caso suficientemente similar en la etapa S403, prosigue el proceso con la etapa S302.

25 En la etapa S302, tal como se ha descrito antes, se genera un caso de prueba, que se transfiere al componente de simulación 32. Pero a diferencia de la fase de entrenamiento antes mostrada, no se realiza ninguna simulación de conjunto en el caso de la aplicación de defensa 40.

30 En lugar de ello se ejecuta en la etapa S304 una sola simulación individual para el caso de prueba presente, cuyos resultados se evalúan en la etapa S306.

A continuación se almacena el caso de prueba, tal como se ha mostrado antes, en la etapa S308 en la base de casos.

35 El proceso continúa entonces con la etapa S406, tal como antes se ha descrito.

La figura 5 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

40 La figura 5 muestra la aplicación de restauración 50 (Restoration Application), que se utiliza cuando por ejemplo hay un fallo del suministro de corriente y se reinicia de nuevo la red.

45 El procedimiento arranca, tal como se ha descrito antes, con la etapa S101, en el que se detecta el estado actual de la red eléctrica. Las otras etapas representadas en la figura 5, S102, S403, S404, S406, S103, S103a, S302, S306 y S308 corresponden a las etapas antes mostradas de la Figura 4,

50 Pero a diferencia de la aplicación de defensa 40 representada en la figura 4, no se ejecuta en la aplicación de restauración 50 una simulación individual para el caso de prueba generado por el componente Case Based Reasoning, sino al igual que para la aplicación de entrenamiento 30 antes representada, una simulación del conjunto. Esta simulación del conjunto se ejecuta en la etapa S501 y se representa simplificada en la figura 5. Las etapas individuales de la simulación del conjunto de la etapa S501 corresponden a las etapas S303-S307 antes representadas para la aplicación de entrenamiento 30.

55 La figura 6 muestra un diagrama de flujo de otro ejemplo de realización de un procedimiento para operar una red eléctrica.

60 La figura 6 muestra la aplicación de reconfiguración 60 (Reconfiguration Application), que sirve para la reconfiguración preventiva de la red eléctrica.

En la etapa S601, se inicializa una fase de aprendizaje para la aplicación de reconfiguración 60.

65 A continuación, en la etapa S602 se identifican estados potencialmente críticos de la red eléctrica. Para ello se utiliza una herramienta 70 para el análisis probabilístico de la red, como por ejemplo la herramienta PRACTICE.

ES 2 626 368 T3

La salida de la herramienta 70 y por lo tanto la etapa S602 es una lista de estados potencialmente críticos de la red eléctrica, para cuya corrección se determinan en la etapa S603 posibles maniobras de conmutación. Esto puede realizarse por ejemplo manualmente personal técnico.

- 5 En la etapa S604 ejecutada por la aplicación de defensa 40, se lleva a cabo una parte de las etapas pertenecientes a la aplicación de defensa 40, que son las etapas S304 (realizar una simulación), S305 (determinar una probabilidad para el efecto determinado) y S306 (determinar un indicador de medida de la idoneidad de la maniobra de conmutación).
- 10 En la etapa S605 se comprueba a continuación si la defensa simulada en base a las maniobras de conmutación simuladas para el estado crítico ha tenido éxito o no.
- Los estados críticos no resueltos se memorizan en la etapa S308.
- 15 Si una defensa simulada en la etapa S604 ha tenido éxito, se comprueba en la etapa S606 si se cumple una condición de interrupción predeterminada. Si no es así, el procedimiento continúa en la etapa S601 e inicia otro análisis sobre estados potencialmente críticos de la red eléctrica.
- 20 Si se cumple la condición de interrupción, se inicializa en la etapa S607 un controlador de reconfiguración, que supervisa a continuación la red eléctrica.
- Si detecta el controlador de reconfiguración en la etapa S608 un estado que en la etapa S609 se reconoce como similar a un estado potencialmente crítico previamente almacenado, inicia el mismo la reconfiguración de la red eléctrica en la etapa S610.
- 25 Si el estado detectado no se clasifica como potencialmente crítico en la etapa S609, continúa el procedimiento con la etapa S608.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para operar una red eléctrica que contiene un cierto número de elementos de red utilizando una base de casos, que incluye un cierto número de casos, incluyendo un caso correspondiente de la base de casos al menos una descripción del estado correspondiente a un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el estado detectado, con las etapas:
- detección (S101) de un estado de la red eléctrica,
 - 10 - detección (S102) de un caso incluido en la base de casos, comparando el estado detectado con las descripciones de estados incluidas en los casos de la base de casos,
 - asignación (S103) de la maniobra de conmutación indicada, de las que al menos hay una, para el caso determinado, para corregir el estado detectado, para el elemento de red, de los que al menos hay uno, para corregir el estado detectado en la red eléctrica, incluyendo la asignación (S103) de la maniobra de conmutación indicada una realización automática de la maniobra de conmutación indicada mediante un equipo de conmutación para controlar la red eléctrica y estando el procedimiento
- 15 **caracterizado porque** incluye una visualización de la maniobra de conmutación indicada mediante un equipo de visualización para un usuario, para permitir una intervención manual.
- 20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
- caracterizado por** una ampliación de la base de casos, que incluye las etapas:
- Generar (S302) al menos un caso que incluye al menos una descripción de un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el caso que incluye el estado detectado,
 - 25 - realizar (S304) una simulación del flujo de energía de la red eléctrica basándose en la descripción del estado, así como en un modelo de simulación electromecánico para el caso generado, de los que al menos hay uno, para determinar un efecto de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado;
 - 30 - determinar (S305) una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado;
 - determinar (S306) un indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado, mediante una evaluación del efecto determinado y
 - 35 - memorizar (S308) el caso generado, así como el efecto determinado, la probabilidad determinada de la ocurrencia del efecto determinado y el indicador de medida determinado en la base de casos.
- 40 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2,
- caracterizado por** la realización repetida de la ampliación de la base de casos para establecer la base de casos.
- 45 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3,
- caracterizado porque** la ampliación de la base de casos se realiza en forma de un aprendizaje no supervisado.
- 50 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2,
- caracterizado porque** en una determinación sin resultado positivo (S102) en la que se detecta un estado que no está incluido en la base de casos, la determinación (S102) del caso incluido en la base de casos incluye adicionalmente la ampliación de la base de casos, con lo que se determina un caso procesando el caso detectado y memorizando el resultado en la base de casos.
- 55 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,
- caracterizado porque** se llevan a cabo las siguientes etapas, cuando el caso determinado incluye varias indicaciones sobre una maniobra de conmutación para corregir el estado detectado de la red eléctrica:
- determinar (S404) un subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas en función de un criterio determinado,
 - crear (S405) una evaluación para cada operación de conmutación del subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas,
 - 60 - clasificar (S405) el subconjunto de las varias maniobras de conmutación indicadas basándose en las evaluaciones realizadas y
 - asignar (S103) el subconjunto clasificado de las varias maniobras de conmutación indicadas para corregir el estado detectado de la red eléctrica.
- 65 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes,
- caracterizado por:**
- identificación (S602) de al menos un estado crítico de la red eléctrica,
 - determinación (S603) de al menos una maniobra de conmutación posible para al menos un elemento de red para corregir el estado crítico,

ES 2 626 368 T3

- ejecución (S304) de una simulación del flujo de la energía en la red eléctrica basándose en una descripción del estado crítico de la red eléctrica, así como en un modelo de simulación electromecánico para determinar un efecto de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico,
 - 5 - determinación (S305) de una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado,
 - determinación (S306) de un parámetro de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico mediante una evaluación del efecto determinado y
 - 10 - memorización (S308) del estado crítico de la red eléctrica, si el parámetro de medida determinado presenta un valor inferior a un valor límite predeterminado.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7,
caracterizado por
- 15 - iniciación (S610) de una reconfiguración de la red eléctrica, si el estado identificado en la red eléctrica se aproxima a un estado crítico de la red eléctrica almacenado.
9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2-8,
caracterizado porque la realización de la simulación del flujo de energía se realiza en forma de una simulación del conjunto (S501), incluyendo las etapas:
- 20 - Generación de un conjunto de variaciones del estado determinado mediante variación de los parámetros de la red eléctrica que definen el estado determinado, dentro de una gama de variaciones predeterminada;
 - 25 - realización de una sola simulación del flujo de energía para cada una de las distintas variaciones del estado determinado y
 - compendio de los resultados de las distintas simulaciones del flujo de energía.
10. Producto de programa de ordenador que provoca la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9 sobre un equipo controlado por programa.
- 30 11. Soporte de datos con un programa de ordenador almacenado con órdenes, que provoca la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9 sobre un equipo controlado por programa.
- 35 12. Equipo (10) para operar una red eléctrica que contiene un cierto número de elementos de red utilizando una base de casos que incluye un cierto número de casos, incluyendo un caso correspondiente de la base de casos al menos una descripción del estado correspondiente a un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el estado detectado, con:
- 40 - medios de detección (101) para detectar (S101) un estado de la red eléctrica,
 - medios de detección (102) para determinar (S102) un caso incluido en la base de casos, comparando el estado detectado con las descripciones de estados incluidas en los casos de la base de casos y
 - 45 - medios de asignación (103) para asignar (S103) la maniobra de conmutación indicada, de las que al menos hay una, para el caso determinado, para corregir el estado detectado para el elemento de red, de los que al menos hay uno, para corregir el estado detectado en la red eléctrica, incluyendo la asignación (S103) de la maniobra de conmutación indicada una realización automática de la maniobra de conmutación indicada mediante un equipo de conmutación para controlar la red eléctrica, estando el equipo
 - 50 **caracterizado porque** el medio de asignación (103) está equipado además para una visualización de la maniobra de conmutación especificada mediante un equipo indicador para un usuario, para permitir una intervención manual.
- 55 13. Equipo de acuerdo con la reivindicación 12,
caracterizado por:
- medios de generación (104) para generar al menos un caso que incluye al menos una descripción de un estado determinado de la red eléctrica, así como al menos una indicación de una maniobra de conmutación para al menos un elemento de red para corregir el estado detectado,
 - 60 - medios de simulación (105) para realizar una simulación del flujo de energía de la red eléctrica basándose en la descripción del estado, así como en un modelo de simulación electromecánico para el caso generado, de los que al menos hay uno, para determinar un efecto de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado,
 - medios para determinar probabilidades(106) para determinar una probabilidad de ocurrencia del efecto determinado,
 - 65 - medios de evaluación (107) para determinar un indicador de medida que determina la idoneidad de la maniobra de conmutación indicada para corregir el estado determinado del caso generado, mediante una evaluación del efecto determinado y

ES 2 626 368 T3

- medios de memoria (108) para memorizar el caso generado, así como el efecto determinado, la probabilidad determinada de la ocurrencia del efecto determinado y el indicador de medida determinado en la base de casos.

5

14. Equipo de acuerdo con la reivindicación 12 ó 13,

caracterizado por:

- medios de identificación (109) para identificar al menos un estado crítico de la red eléctrica,
- 10 - medios de generación (110) para determinar al menos una maniobra de conmutación posible para al menos un elemento de red para corregir el estado crítico,
- medios de simulación (111) para realizar una simulación del flujo de energía en la red eléctrica basada en una descripción del estado crítico de la red eléctrica, así como en un modelo de simulación electromecánico, para determinar un efecto de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico,
- 15 - medios de determinación de la probabilidad (112) para determinar la probabilidad de que se presente el efecto determinado,
- medios de evaluación (113) para determinar un parámetro de medida que define la adecuación de la maniobra de conmutación generada para corregir el estado crítico mediante una evaluación del efecto determinado y
- 20 - medios de memoria (114) para memorizar el estado crítico de la red eléctrica, en el caso de que el parámetro de medida determinado dé un valor inferior a un valor límite predeterminado.

FIG 1

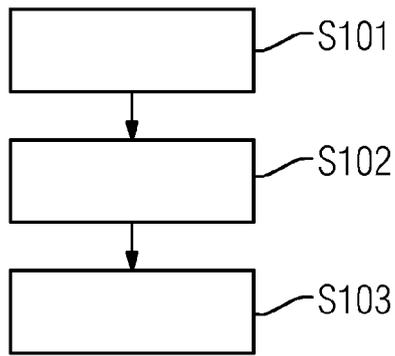


FIG 2

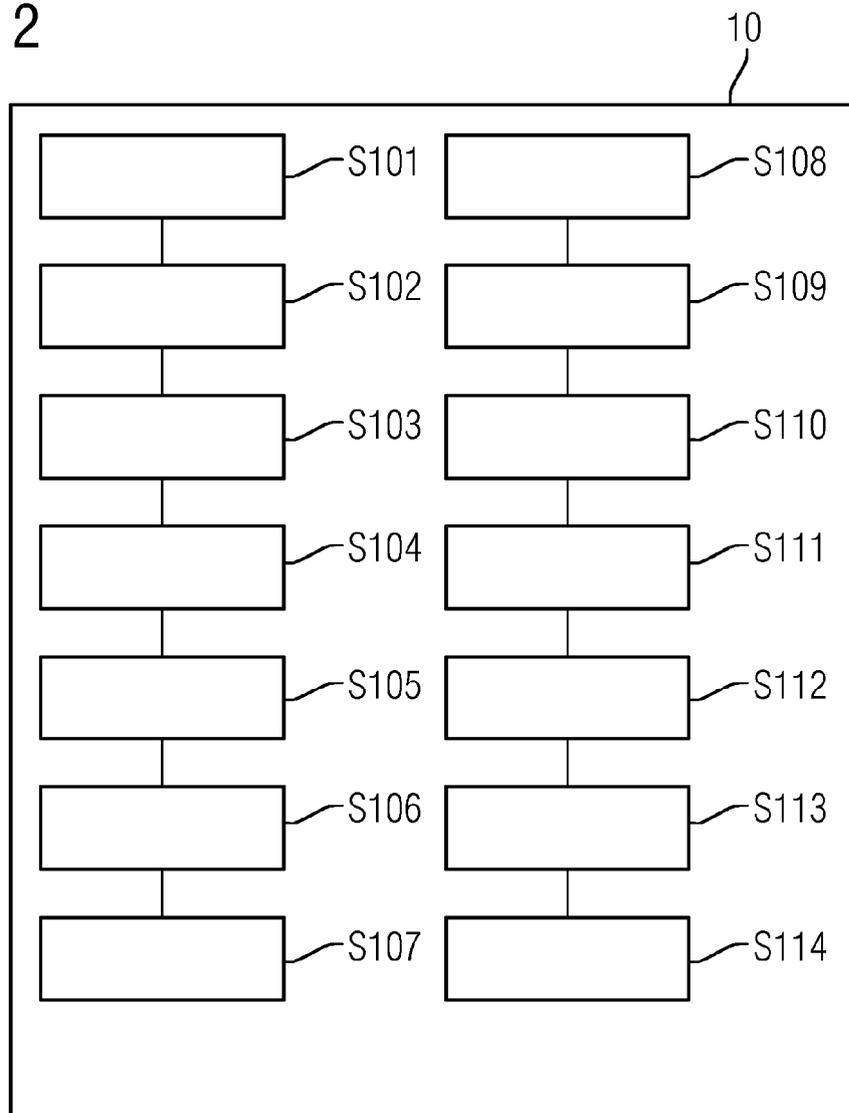


FIG 3

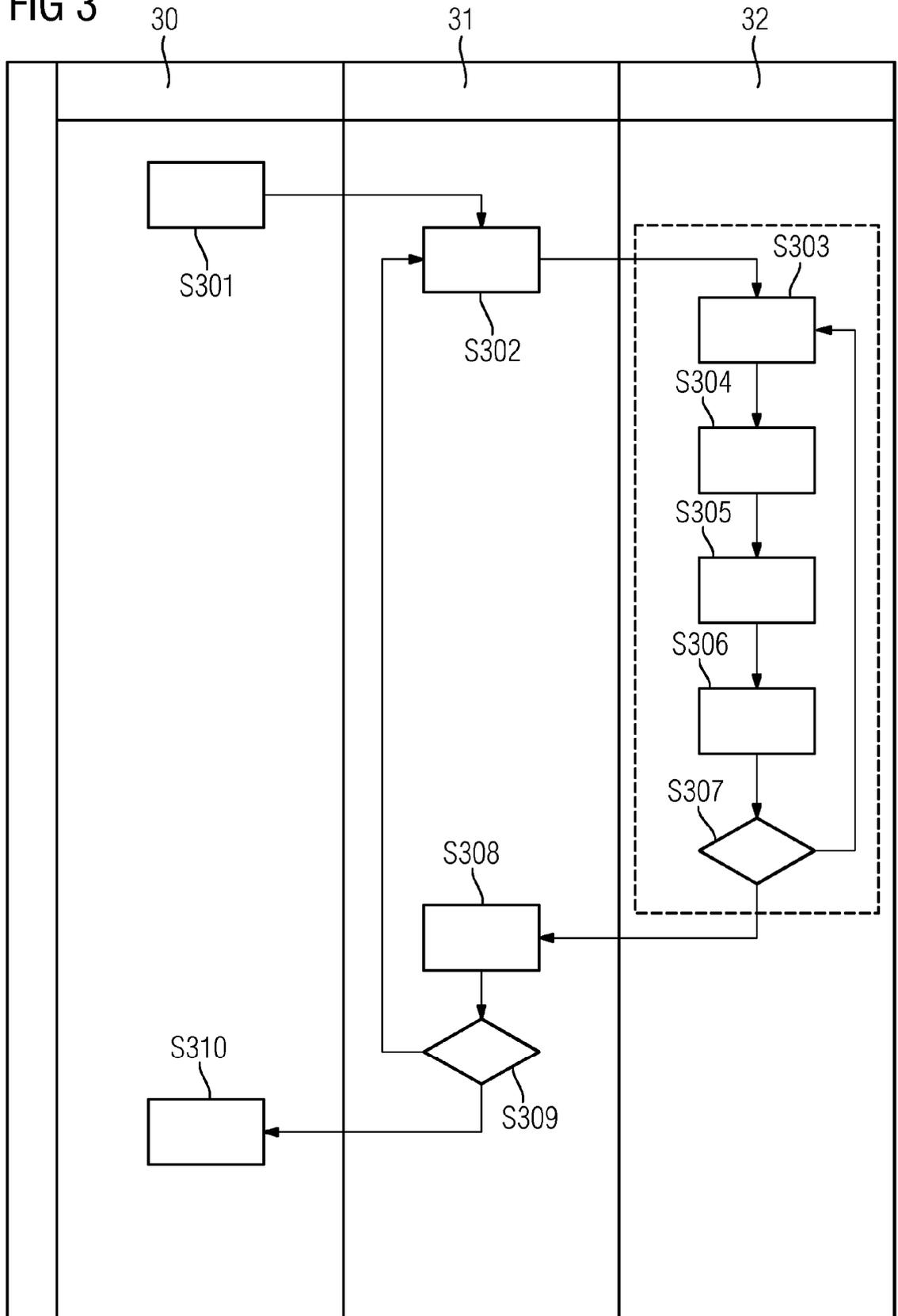


FIG 4

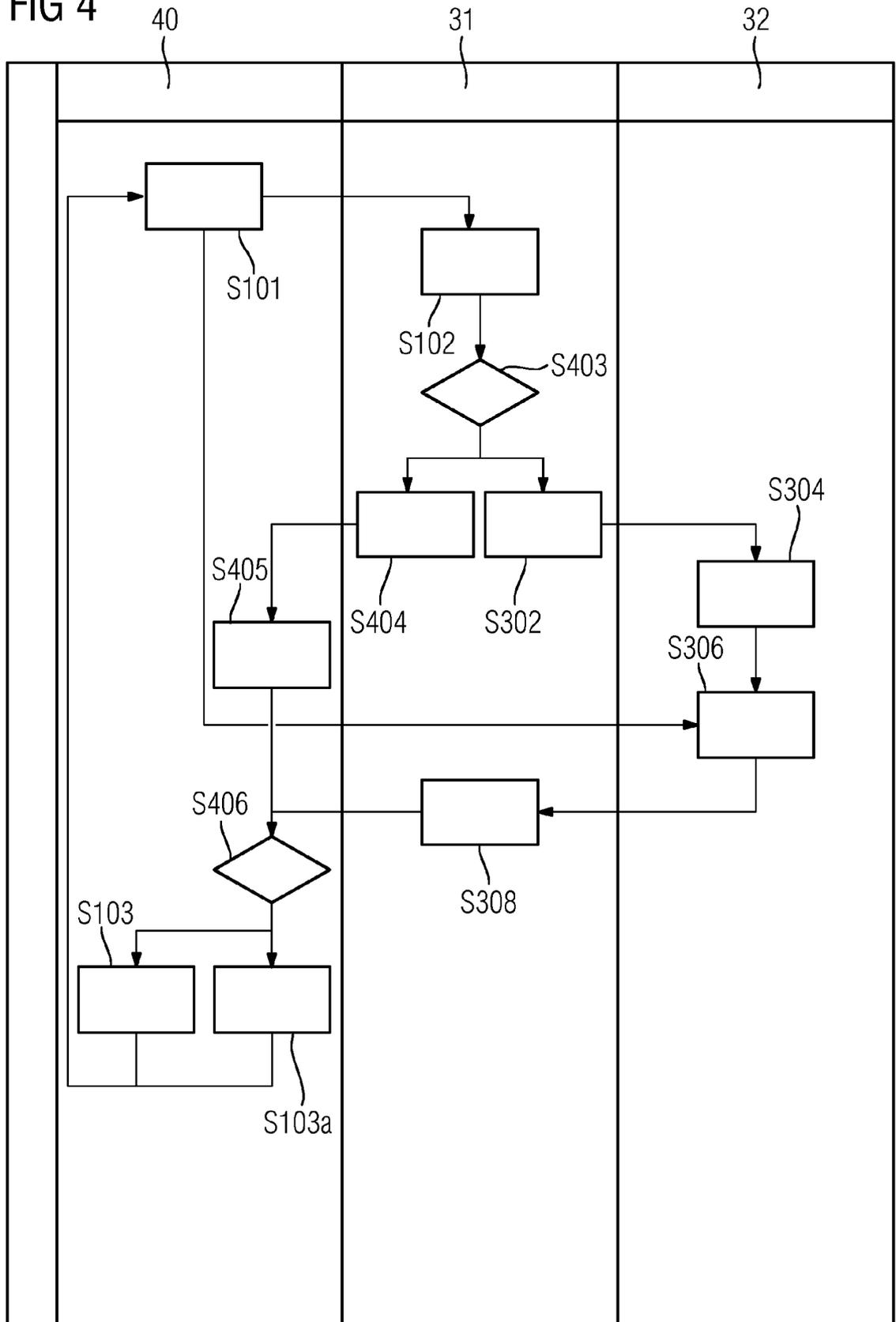


FIG 5

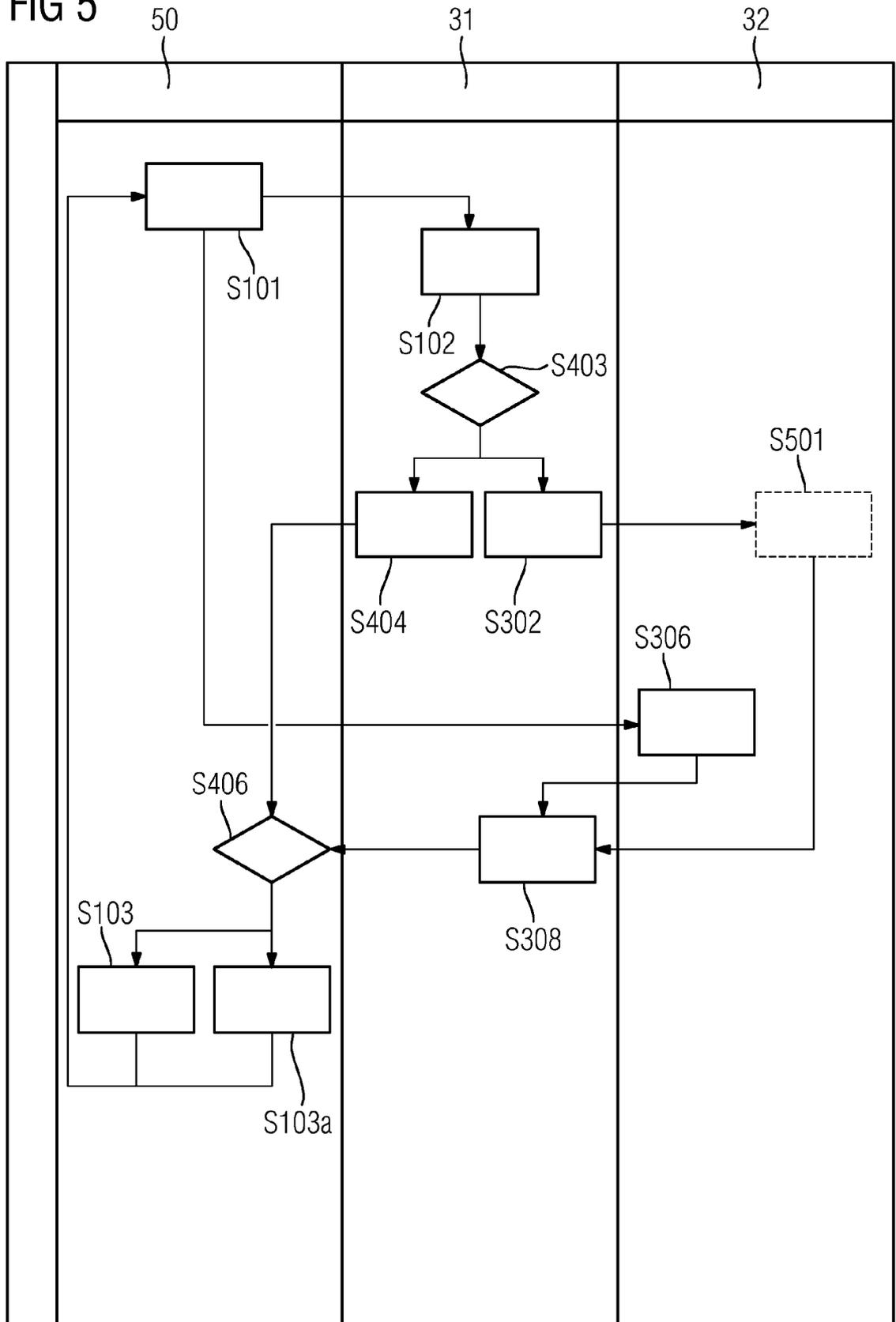


FIG 6

