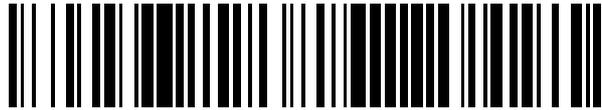


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 087**

51 Int. Cl.:

**H02J 13/00** (2006.01)  
**H02H 7/26** (2006.01)  
**H02H 1/00** (2006.01)  
**H02J 3/00** (2006.01)  
**G01R 31/08** (2006.01)  
**H02H 3/04** (2006.01)  
**H02H 3/07** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2016** **E 16188456 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020** **EP 3293854**

54 Título: **Procedimiento para determinar la causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica y aparato de protección para realizar un procedimiento de esa clase**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.08.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ERKENS, INGO;**  
**WERNER, THOMAS;**  
**DZIENIS, CEZARY;**  
**KEREIT, MATTHIAS y**  
**YELGIN, YILMAZ**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 778 087 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 determinar la causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica y aparato de protección para realizar un procedimiento de esa clase

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica, en el cual, en al menos un punto de medición de la red de suministro de energía se detectan variables de medición eléctricas, y las variables de medición eléctricas se proporcionan a por lo menos un aparato de protección que analiza las variables de medición en cuanto a la presencia de una falla en la red de suministro de energía eléctrica, y en el caso de una falla detectada se genera una señal de falla, donde después de la detección de una falla por al menos un aparato de protección, se analizan perfiles de tiempo de las variables de medición, detectados inmediatamente antes y/o durante la falla, en cuanto a la presencia de criterios determinados, donde a los criterios individuales y/o combinaciones de criterios están asociadas posibles causas de fallas, se determinan uno o una pluralidad de criterios que están cumplidos de forma total o parcial por los perfiles analizados de las variables de medición, e independientemente de los criterios determinados y del grado de su cumplimiento, mediante los perfiles, se determina una causa de la falla. La invención hace referencia también a un aparato de protección eléctrico para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica. El procedimiento según la invención y el aparato de protección según la invención se emplean por ejemplo en una subestación digital (Digital Substation) de una red de suministro de energía.

20 Por la solicitud WO 95/09463 A1 se conoce un procedimiento con el cual puede realizarse una diferenciación entre fallas metálicas transitorias y permanentes. Por las solicitudes WO 97/36185 A1 y DE 44 330 406 C1 se conocen procedimientos similares.

25 Para el monitoreo de componentes primarios, por ejemplo líneas, redes de suministro de energía eléctrica, se utilizan los así llamados aparatos de protección, para detectar y detener automáticamente estados de funcionamiento inadmisibles de los componentes primarios respectivamente monitoreados, los cuales por ejemplo pueden estar causados por cortocircuitos o cortocircuitos a tierra. Para ello, el aparato de protección, habitualmente en uno o en una pluralidad de puntos de medición en la red de suministro de energía, registra variables de medición, por ejemplo en forma de valores de medición de corriente y/o de tensión, que caracterizan el estado de funcionamiento del componente primario. Para realizar una función de protección, el aparato de protección evalúa después las variables de medición realizando un así llamado algoritmo de protección, por tanto, una especificación de cálculo y/o de vinculación lógica, para evaluar las variables de medición registradas, y en función del resultado de la evaluación eventualmente genera una señal de falla que dispone a un disyuntor que se encuentra conectado al aparato de protección, a abrir sus contactos de conmutación, para desconectar la sección defectuosa del resto de la red de suministro de energía.

35 Un ejemplo de un algoritmo de protección, utilizado con frecuencia para monitorear redes de suministro de energía, trabaja según el así llamado procedimiento de protección de distancia, en el cual, a partir de valores de medición de corriente y tensión, se calculan valores de impedancia que se ubican en un plano numérico complejo, y se verifica si los valores de impedancia se ubican dentro de un rango de activación predeterminado - denominado también como polígono de activación. En tanto los valores de impedancia se ubiquen dentro de ese rango de activación predeterminado, el aparato de protección establece un estado de funcionamiento no admisible en la línea, monitoreada por el mismo, de la red de suministro de energía eléctrica, y envía una señal de falla a uno o a una pluralidad de disyuntores que limitan la línea, para desconectar la línea defectuosa del resto de la red de suministro de energía. La magnitud del valor de impedancia informa además sobre la ubicación de la falla en la línea.

La utilización de aparatos de protección eléctricos para monitorear redes de suministro de energía en cuanto a fallas que se presentan de forma probable, en general es conocida. Los aparatos de protección correspondientes son comercializados por la parte solicitante, por ejemplo bajo la denominación SIPROTEC.

45 Hasta el momento, la detección de una falla, mediante un aparato de protección, se limita a la mera presencia de la falla; pero queda en manos de la compañía operadora de la red de suministro de energía, el encontrar la causa de la falla. Las causas de fallas propiamente dichas, ciertamente, son muy variadas; entre éstas se encuentran por ejemplo explanaciones en el área próxima a cables, árboles que crecen cerca de la línea de red aérea, animales que entran en contacto con las líneas, envejecimiento de los aislamientos o el hurto de cables y líneas de red aéreas.

50 Las líneas de red aéreas o cables de redes de suministro de energía en zonas poco pobladas o no pobladas - debido al valor relativamente elevado de las líneas utilizadas, por ejemplo de cobre - ciertamente, a menudo son afectadas por el hurto de las líneas. Para poder separar sin riesgos los cables o líneas, los ladrones causan intencionalmente un cortocircuito, por ejemplo interviniendo en la línea con una grúa o una excavadora. Ese cortocircuito es detectado como una falla por los aparatos de protección instalados en los extremos de la línea, y la línea se desconecta de la red de ambos lados. El cortocircuito se muestra como una falla, por los aparatos de protección, pero no hay ningún indicio de su causa, a saber, si ese cortocircuito fue producido de forma intencional,

o de si fue causado por un fenómeno natural, como por ejemplo la caída de un rayo, el crecimiento de plantas en la línea, aislantes sucios o un defecto técnico del cable.

5 Dependiendo de la causa de la falla, la compañía operadora de la red debe introducir diferentes medidas para eliminar la falla o sus efectos. En el caso de una falla provocada de forma accidental y/o no intencional, debe enviarse al lugar de la falla un equipo de mantenimiento con equipos correspondientes, para remediar la falla. En el caso de una falla causada de forma intencional, con el fin de un hurto, debe informarse a la policía o a un servicio de seguridad. Sin embargo, puesto que hasta el momento no se encuentra ningún indicador de la causa de la falla, por ejemplo en cuanto a un cortocircuito posiblemente provocado de forma intencional, a menudo no es posible enviar a tiempo al lugar de la falla al personal de seguridad o a la policía.

10 Hasta el momento no tiene lugar ninguna detección automática de una causa de la falla. La determinación de una causa de la falla en la mayoría de los casos sólo puede establecerse posteriormente mediante una inspección in situ, en el lugar de la falla.

Por ese motivo, sería deseable que el aparato de protección, al activarse, proporcionase al personal de la compañía operadora también una causa probable de la falla.

15 De este modo, el objeto de la presente invención, junto con una detección de una falla en una red de suministro de energía, consiste también en determinar una causa de la falla.

20 Dicho objeto, según la invención, se soluciona mediante un procedimiento de la clase indicada en la introducción, en el cual al menos algunos de los criterios son adecuados para detectar fallas provocadas de forma intencional, donde como criterios que indican una falla provocada de forma intencional, se utiliza una pluralidad de los siguientes criterios:

- la detección de una falla que se encuentra presente de forma permanente;

- la detección de una conexión y desconexión automática reiterada de una fase de una línea dentro de un periodo predeterminado;

- una impedancia de falta que se ubica por debajo de un valor umbral predeterminado; y

25 - en tanto del control resulte que la falla ha sido provocada de forma intencional, se genera una señal de alarma que indica un posible hurto de la línea.

30 En el procedimiento según la invención, de este modo, se comparan perfiles de las variables de medición registradas, por ejemplo corrientes, tensiones, ángulos de fase, frecuencias, con criterios prefijados determinados. Cada criterio describe en este caso una o una pluralidad de propiedades de las respectivas variables de medición (por ejemplo superación de un valor umbral, un componente determinado de armónicos, un aumento o un descenso repentinos, patrones característicos determinados en el perfil), los cuales están cumplidos de forma completa o parcial cuando se encuentra presente una causa determinada de una falla. Mediante la comparación de los perfiles de las variables de medición con los respectivos criterios - en función del cumplimiento total o parcial de uno o de una pluralidad de criterios - puede deducirse una causa probable de la falla. Ciertamente, cuando están cumplidos uno o una pluralidad de criterios con un grado de cumplimiento suficiente (es decir por completo o por encima de un valor umbral), mediante los perfiles considerados de las variables de medición, la causa asociada a ese criterio o a esa combinación de criterios puede suponerse como probable para la falla. De este modo, junto con la mera detección de la falla también puede determinarse una posible causa de la falla.

40 Según la invención se prevé que al menos algunos de los criterios sean adecuados para detectar fallas provocadas de forma intencional, y en tanto del control resulte que la falla ha sido provocada de forma intencional, se genere una señal de alarma que indica un posible hurto de la línea.

45 Las fallas provocadas de forma intencional indican ciertamente una manipulación maliciosa de la red de suministro de energía, por ejemplo un hurto de la línea. En este caso, una falla en la línea se produce de forma intencional, por ejemplo interviniendo en la línea con una pala de una excavadora. El cortocircuito que se produce dispone a un aparato de protección que monitorea la línea, a desconectar la línea. Cuando la misma se encuentra sin corriente, la línea puede separarse y robarse relativamente sin riesgos. Por lo tanto, la detección de una falla provocada de forma intencional es especialmente importante para poder tomar contramedidas correspondientes, por ejemplo alertar a la policía.

50 A este respecto, concretamente se prevé que como criterios que indican una falla provocada de forma intencional, se utilice uno o una pluralidad de los siguientes criterios:

- la detección de una falla que se encuentra presente de forma permanente;
- la detección de una conexión y desconexión automática reiterada de una fase de una línea dentro de un periodo predeterminado;
- una impedancia de falta que se ubica por debajo de un valor umbral predeterminado.

5 Esos criterios, ciertamente de forma individual, pero en particular también en combinación, son adecuados para diferenciar una falla provocada de forma intencional, de una falla que se produce de forma casual o no intencional. Por ejemplo, los análisis estadísticos de casos de fallas indican que la mayor cantidad de las fallas que se producen son fallas temporarias, las cuales por ejemplo son provocadas por partes de plantas que crecen cerca de la línea de red aérea y que se queman al entrar en contacto con la línea. En el caso de un hurto de la línea, en cambio, antes de la separación de la línea debe provocarse una falla que se encuentre presente de forma permanente. De este modo, la presencia de una falla permanente - rara considerada desde el aspecto estadístico - indica la posibilidad de una falla provocada de forma intencional. Habitualmente, los aparatos de protección, después de una primera desconexión de una línea de una red de suministro de energía, realizan una o varias reconexiones automáticas, para mantener lo más reducido posible el tiempo de parada de la línea, en el caso de fallas temporarias. Si al establecerse la conexión aún se encuentra presente la falla, el proceso de conexión se interrumpe o la línea se desconecta de nuevo. Si ahora se establece que la línea ha sido conectada nuevamente varias veces de forma exitosa (no se encuentra presente una falla permanente), pero debe desconectarse nuevamente dentro de un tiempo corto, debido a otra falla, esto indica una manipulación maliciosa. Finalmente, también una impedancia de falta muy reducida indica una falla provocada de forma intencional, puesto que en este caso un cortocircuito se provoca con objetos metálicos (por ejemplo la pala de una excavadora), mientras que una falla provocada por otros sucesos en la mayoría de los casos está asociada a una impedancia de falta más elevada. La determinación de la impedancia de falta puede realizarse por ejemplo con un procedimiento como el descrito en la solicitud EP 2937704 A1.

25 En una forma de ejecución ventajosa del procedimiento según la invención se prevé que desde al menos un aparato de protección se emita una señal que indica la causa determinada. En esa forma de ejecución, de manera muy sencilla puede informarse sobre la causa de la falla a la compañía operadora de la red de suministro de energía, a saber, transmitiendo la señal que indica la causa determinada, para poder tomar pronto las contramedidas correspondientes. La señal puede en este caso transmitirse como señal óptica o acústica, o en forma de un mensaje de datos con contenido correspondiente. Por ejemplo, de ese modo, puede tener lugar una transmisión de la información sobre la causa determinada, hacia un centro de control de la red.

30 Según otra forma de ejecución ventajosa, puede preverse que como un criterio que indica una falla causada de forma intencional se utilice un punto de desconexión detectado en una línea defectuosa.

35 La detección de un punto de desconexión (que se encuentra presente de forma permanente) en la línea indica ciertamente que ya ha tenido lugar una separación de la línea. En el caso de una falla habitual, la mayoría de las veces no tiene lugar una separación de la línea, de manera que también ese criterio puede indicar una falla provocada de forma intencional.

Concretamente, a este respecto puede preverse que para controlar si se encuentra presente un punto de desconexión, durante una reconexión temporal de la línea defectuosa, se analicen ondas progresivas de la corriente y/o de la tensión que se propagan en la línea, donde el punto de desconexión se detecta en aquel punto de la línea en el cual una función objetivo que indica el perfil de corriente a lo largo de la línea defectuosa presenta un mínimo.

40 Mediante el método de ondas progresivas ciertamente un punto de desconexión que se encuentra presente puede determinarse de forma especialmente conveniente, ya que las ondas de un pulso de corriente o de tensión que se propagan se reflejan en el punto de desconexión, y los componentes retrodispersados pueden medirse como reflexiones. En base a los mismos puede deducirse la presencia de un punto de desconexión y su distancia desde el punto de medición.

45 Además, a este respecto, según una forma de ejecución ventajosa del procedimiento según la invención, puede preverse que después de la aparición de la falla se realice una localización de la falla y que el lugar de la falla determinado se compare con el lugar del punto de desconexión determinado, y que se determine el grado de cumplimiento del criterio en cuanto a un punto de desconexión que se encuentra presente, en función de la distancia entre el lugar de la falla y la posición del punto de desconexión.

50 Ciertamente, si el punto de desconexión (permanente) se ubica en aquel punto en donde también se ha producido la falla, entonces esto indica también que la falla ha sido provocada de forma intencional, para poder separar la línea después de su desconexión.

5 Según otra forma de ejecución ventajosa del procedimiento según la invención, con relación a la detección de fallas provocadas de forma intencional puede preverse que en base al respectivo grado de cumplimiento de los criterios individuales que indican una falla provocada de forma intencional, respectivamente se determinen valores de probabilidad que indican la probabilidad de que el cumplimiento del respectivo criterio signifique efectivamente una falla provocada de forma intencional, mediante la vinculación de los valores de probabilidad individuales se determine un valor de probabilidad total, que el valor de probabilidad total se compare con un valor umbral de probabilidad y que la señal de alarma se genere cuando el valor de probabilidad total supere el valor umbral de probabilidad.

10 De este modo, de forma especialmente conveniente, en base a una combinación de criterios, así como en base al grado de su cumplimiento, puede deducirse la presencia de una falla provocada de forma intencional. De este modo, ciertamente, cada criterio individual contribuye a la formación de un valor de probabilidad total, el cual se utiliza para poder determinar si probablemente se encuentra presente o no una falla provocada de forma intencional.

15 En otra forma de ejecución ventajosa del procedimiento según la invención, con relación a la detección de fallas provocadas de forma intencional puede preverse que el aparato de protección detecte una falla en la red de suministro de energía mediante una función de protección de distancia; y que una información sobre la distancia de la falla, detectada con la función de protección de distancia, desde el punto de medición asociado al aparato de protección, se añada a la señal de alarma.

20 De este modo, con gran facilidad puede avisarse a la policía o a un servicio de emergencias en dónde puede tener lugar en ese momento un hurto de la línea. Puesto que con relación a un procedimiento de protección de distancia, habitualmente también se determina el punto de la falla, esa información puede emitirse fácilmente con la señal de alarma.

25 De manera alternativa con respecto a ello, según una forma de ejecución ventajosa del procedimiento según la invención, también puede preverse que después de la aparición de la falla, una localización de la falla sea realizada por el aparato de protección, y que una información sobre el lugar de la falla determinado se añada a la señal de alarma.

30 Esa forma de ejecución - independientemente del procedimiento de protección utilizado para la detección de la falla - posibilita añadir a la señal de alarma una información sobre el lugar en el que se ha producido la falla. Una localización de la falla puede realizarse con cualquier procedimiento de localización de fallas, por ejemplo con una localización de la falla, unilateral o bilateral, basada en la impedancia. Procedimientos de localización conocidos pueden observarse por ejemplo en el documento de patente norteamericano US 4996624 A o en el documento de patente norteamericano US 5,929,642.

35 El objeto antes mencionado se soluciona también mediante un aparato de protección para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica, donde el aparato de protección presenta un dispositivo de cálculo que, mediante la utilización de variables de medición eléctricas detectadas en al menos un punto de medición de la red de suministro de energía, está configurado para realizar un análisis en cuanto a la presencia de una falla en la red de suministro de energía eléctrica, y en el caso de una falla detectada, para generar una señal de falla, donde el dispositivo de cálculo, después de la detección de una falla, está configurado para analizar perfiles de tiempo de las variables de medición, detectados inmediatamente antes y/o durante la falla, en cuanto a la presencia de criterios determinados, donde a los criterios individuales y/o combinaciones de criterios están asociadas posibles causas de fallas, para determinar uno o una pluralidad de criterios que están cumplidos de forma completa o parcial por los perfiles analizados de las variables de medición, e independientemente de los criterios determinados y del grado de su cumplimiento, mediante los perfiles, para determinar una causa de la falla.

45 Según la invención se prevé que el dispositivo de cálculo, después de la detección de una falla, esté configurado para analizar perfiles de tiempo de las variables de medición, detectados inmediatamente antes y/o durante la falla, en cuanto a la presencia de criterios determinados, donde a los criterios individuales y/o combinaciones de criterios están asociadas posibles causas de fallas, para determinar uno o una pluralidad de criterios que están cumplidos de forma completa o parcial por los perfiles analizados de las variables de medición, e independientemente de los criterios determinados y del grado de su cumplimiento, mediante los perfiles, para determinar una causa de la falla.

50 En cuanto al aparato de protección según la invención aplican todas las explicaciones relativas al procedimiento según la invención, indicadas anteriormente y a continuación, y de forma inversa de modo correspondiente; en particular el aparato de protección según la invención está configurado para realizar el procedimiento según la invención en cualquier forma de ejecución deseada o en una combinación de formas de ejecución deseadas. También en cuanto a las ventajas del aparato de protección según la invención se remite a las ventajas descritas con relación al procedimiento según la invención.

A continuación, la presente invención se describe en detalle mediante un ejemplo de ejecución. La variante específica del ejemplo del ejemplo de ejecución no debe entenderse en modo alguno de forma limitativa para la realización general del procedimiento según la invención y del aparato de protección según la invención; más bien, las características individuales de la realización del ejemplo de ejecución pueden combinarse entre sí libremente de cualquier modo deseado, y pueden combinarse con las características antes descritas.

A este respecto, muestran

Figura 1: una vista esquemática de una línea en una red de suministro de energía eléctrica, que es monitoreada por un aparato de protección;

Figura 2: una vista esquemática de una línea en una red de suministro de energía eléctrica, que es monitoreada por dos aparatos de protección;

Figura 3: una vista esquemática de un aparato de protección para explicar una detección de patrón realizada para detectar la causa de una falla,

Figura 4: un esquema secuencial a modo de ejemplo para explicar la detección de una falla provocada de forma intencional;

Figura 5: un diagrama a modo de ejemplo para explicar la formación de un valor de probabilidad;

Figura 6: un diagrama a modo de ejemplo con valores de medición de corriente y tensión para determinar la posición de un punto de desconexión en una línea;

Figura 7: un diagrama a modo de ejemplo con componentes modales formados a partir de valores de medición de corriente y tensión;

Figura 8: un diagrama a modo de ejemplo con componentes modales de corriente y tensión en el rango de frecuencia; y

Figura 9: un diagrama a modo de ejemplo con la representación del perfil de una función objetivo, para explicar la determinación de la posición de un punto de desconexión en una línea.

La figura 1, en una representación esquemática, muestra una línea 10 de una red de suministro de energía eléctrica 11, por lo demás no representada en detalle. La línea 10 se trata de una línea 10 alimentada de forma unilateral, la cual, en su lado apartado de la red de suministro de energía 11, está conectada a una carga 15, indicada sólo de forma esquemática.

La línea 10, en un punto de medición 12, es monitoreada por un aparato de protección 13 en cuanto a la presencia de eventuales fallas 14. Para ello, en el punto de medición 12, mediante transductores indicados sólo de forma esquemática, se registran variables de medición en forma de corriente  $i$  y tensión  $u$ , y se suministran al aparato de protección 13. Un dispositivo de cálculo no mostrado en la figura 1, por ejemplo un microprocesador que ejecuta un software del aparato, evalúa las variables de medición registradas mediante la utilización de los así llamados algoritmos de protección (por ejemplo protección de distancia, protección de sobreintensidad), y emite una señal de falla  $T$  cuando ha sido detectada una falla 14 que se encuentra presente en la línea, para disponer a un disyuntor 16 que limita la línea, para abrir sus contactos de conmutación  $y$ , con ello, separar la línea 10 defectuosa del resto de la red de suministro de energía 11.

La figura 2, en una representación esquemática, muestra otro ejemplo de ejecución de una línea 20, de una red de suministro de energía eléctrica 21a, 21b, por lo demás no representada en detalle. Los componentes correspondientes a la figura 1 están indicados en la figura 2 con los símbolos de referencia correspondientes.

En el ejemplo de ejecución según la figura 2, la línea es alimentada desde ambos lados, y es monitoreada con dos aparatos de protección 13 dispuestos en los dos extremos, en puntos de medición 12. Los aparatos de protección 13, de manera opcional, pueden estar conectados uno con otro mediante una conexión de comunicaciones 22, para el intercambio de datos.

También en el ejemplo de ejecución de la figura 2, los aparatos de protección 13, mediante variables de medición registradas en los puntos de medición 12 (por ejemplo corriente, tensión), mediante la utilización de algoritmos de protección adecuados (por ejemplo protección diferencial), monitorean la línea 20 en cuanto a eventuales fallas 14 y, en el caso de una falla, emiten señales de falla a los disyuntores 16, para disponer los mismos para una separación de la línea 20.

Ese modo de funcionamiento de los aparatos de protección, descrito con relación a las figuras 1 y 2, se conoce desde hace largo tiempo.

Si bien en las figuras 1 y 2, con el fin de una mayor claridad, se muestran redes de suministro de energía de una sola fase, las redes de suministro de energía pueden tratarse también de redes polifásicas, en particular trifásicas.

5 Habitualmente, en el caso de una falla, mediante un mensaje enviado a un centro de control de la red, de la red de suministro de energía (por ejemplo un mensaje de datos enviado mediante una red de comunicaciones no mostrada en las figuras 1 y 2), se informa a la compañía operadora de la red de suministro de energía sobre la falla que se encuentra presente, para disponer una pronta eliminación de la falla. En cambio, en los sistemas utilizados hasta el momento no se determina una posible causa de la falla, de manera que depende de la compañía operadora de la red determinar la causa mediante una inspección visual del lugar de la falla.

10 Por lo tanto, a continuación se presentan ejemplos de ejecución de aparatos de protección que, junto con la mera detección de la presencia de una falla, realizan también una determinación de la causa. Para ello, perfiles de las variables de medición, almacenados en el aparato de protección 13, que han sido registrados antes y/o durante la falla, se comparan con una pluralidad de criterios predeterminados. Cada criterio y/o una combinación de criterios determinados indica una causa determinada de la falla. De este modo, a cada criterio y/o a cada combinación de criterios, está asociada una causa de la falla. En el caso de la detección del cumplimiento completo o parcial de uno o de una pluralidad de criterios, el aparato de protección, mediante las causas asociadas a los criterios, puede determinar aquella causa hacia la cual apuntan mayormente los criterios cumplidos.

15 Un primer ejemplo de ejecución de un aparato de protección de esa clase se describe con relación a la figura 3. Los componentes correspondientes a las figuras 1 y 2, a su vez, están indicados con símbolos de referencia correspondientes:

20 La figura 3, en una vista esquemática, muestra un aparato de protección 13 que está configurado para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía. Al aparato de protección, de manera conocida, se suministran variables de medición, como corriente *i*, tensión *u*, mediante una o una pluralidad de entradas de medición 31 (véanse las figuras 1 y 2). Mediante un dispositivo de cálculo 32, el aparato de protección 13, utilizando un algoritmo de protección, realiza una detección de una falla, y mediante una salida de comando 33, en el caso de una falla, emite la señal de falla *T*. Como dispositivo de cálculo 32, en este contexto, debe considerarse un módulo de cálculo, incluyendo una programación adecuada, por ejemplo un procesador programado mediante un software, o un módulo de cálculo con programación basado en hardware (por ejemplo ASIC, FPGA).

25 Junto con la detección de la falla, el aparato de protección 13 está equipado con un algoritmo para la detección de patrones. Para ello, las variables de medición registradas, al menos de manera temporaria, se almacenan en una memoria de valores de medición 34 del aparato de protección 13. Los perfiles almacenados de las variables de medición, en el caso de una falla, se usan para determinar la causa de la falla, utilizando la detección de patrones. Para ello, en el caso de una falla, en el aparato de protección 13, en base a los perfiles almacenados de las variables de medición, se estructura primero una matriz (por ejemplo corriente y tensión, según la magnitud y la fase). Para ello, el perfil almacenado se observa en diferentes momentos. Los intervalos de observación pueden realizarse de forma equidistante o de forma progresiva (de forma progresiva: intervalos de observación más reducidos a una proximidad temporal de la falla, e intervalos más grandes en el pasado más distante). La matriz que se produce puede adoptar por ejemplo la forma representada a continuación:

$$\begin{pmatrix}
 I_{1,t} & I_{2,t} & I_{3,t} & I_{E,t} & \varphi_{1,t} & \varphi_{2,t} & \varphi_{3,t} & \varphi_{E,t} & U_{1,t} & U_{2,t} & U_{3,t} & \theta_{1,t} & \theta_{2,t} & \theta_{3,t} \\
 I_{1,t-1} & I_{2,t-1} & I_{3,t-1} & I_{E,t-1} & \varphi_{1,t-1} & \varphi_{2,t-1} & \varphi_{3,t-1} & \varphi_{E,t-1} & U_{1,t-1} & U_{2,t-1} & U_{3,t-1} & \theta_{1,t-1} & \theta_{2,t-1} & \theta_{3,t-1} \\
 \vdots & \ddots & & & & & & & & & & & & \\
 I_{1,t-T} & I_{1,t-T} & I_{3,t-T} & I_{E,t-T} & \varphi_{1,t-T} & \varphi_{1,t-T} & \varphi_{1,t-T} & \varphi_{E,t-T} & U_{1,t-T} & U_{2,t-T} & U_{2,t-T} & \theta_{1,t-T} & \theta_{2,t-T} & \theta_{3,t-T}
 \end{pmatrix}$$

- 40 donde
- I magnitud de la corriente;
  - φ ángulo de fase de la corriente;
  - U magnitud de la tensión;
  - 45 Θ ángulo de fase de la tensión;

t momento de la falla;

T cantidad de los intervalos de observación.

El objeto de la detección de patrones se encuentra ahora en la asociación de la matriz a un criterio k que indica una causa de la falla:

$$\begin{pmatrix} I_{1,t} & I_{2,t} & I_{3,t} & I_{E,t} & \varphi_{1,t} & \varphi_{2,t} & \varphi_{3,t} & \varphi_{E,t} & U_{1,t} & U_{2,t} & U_{2,t} & \theta_{1,t} & \theta_{2,t} & \theta_{3,t} \\ I_{1,t-1} & I_{2,t-1} & I_{3,t-1} & I_{E,t-1} & \varphi_{1,t-1} & \varphi_{2,t-1} & \varphi_{3,t-1} & \varphi_{E,t-1} & U_{1,t-1} & U_{2,t-1} & U_{2,t-1} & \theta_{1,t-1} & \theta_{2,t-1} & \theta_{3,t-1} \\ \vdots & \ddots & & & & & & & & & & & & \\ I_{1,t-T} & I_{1,t-T} & I_{3,t-T} & I_{E,t-T} & \varphi_{1,t-T} & \varphi_{1,t-T} & \varphi_{3,t-T} & \varphi_{E,t-T} & U_{1,t-T} & U_{2,t-T} & U_{2,t-T} & \theta_{1,t-T} & \theta_{2,t-T} & \theta_{3,t-T} \end{pmatrix}$$

→  $k \in \{1..K | K \in N\}$

5

donde

k criterio;

K cantidad de los criterios.

10 La matriz representada sólo debe representar una forma de ejecución a modo de ejemplo, de una matriz adecuada para la detección de patrones. De manera correspondiente pueden emplearse matrices con una cantidad mayor o menor de parámetros para la detección de patrones.

15 Para realizar una detección de patrones, es decir, la asociación de los perfiles de las variables de medición representados en la matriz, a uno o a una pluralidad de criterios determinados, en el dispositivo de cálculo 32 del aparato de protección está implementada una red neuronal artificial 35 (KNN). Para la detección de patrones mediante KNN existe una serie de procedimientos que pueden llegar a utilizarse, por ejemplo modelos de perceptrón multicapa o máquinas de vector soporte.

20 Para poder realizar una detección de patrones, la KNN debe estar instruida de modo correspondiente. Para ello, en una fase de entrenamiento, a la red neuronal se presentan primero pares de patrones conocidos, en este caso, por tanto, matrices con variables de medición (por ejemplo en correspondencia con la representación anterior), y el criterio correspondiente que indica la causa de la falla. De este modo, la KNN "aprende" las relaciones intrínsecas entre los pares de patrones y, a continuación, puede aplicarlas en nuevos datos de entrada en forma de matrices formadas a partir de perfiles de las variables de medición.

25 Puesto que el aprendizaje de una red neuronal es un proceso que implica muchos cálculos y los aparatos de protección utilizados, durante el funcionamiento, en general sólo en raras ocasiones atraviesan una situación de falla de esa clase, el aprendizaje de la red neuronal debe tener lugar por fuera del aparato de protección, en un sistema de procesamiento de datos externo 36.

30 De este modo, por ejemplo, el mismo puede tratarse de un sistema de procesamiento de datos central basado en la nube, en el cual uno o una pluralidad de dispositivos de procesamiento de datos, con una programación adecuada, realizan procedimientos correspondientes para el aprendizaje de una red neuronal. En el sistema de procesamiento de datos externo están almacenados pares de patrones (matrices y las respectivas causas de las fallas) desde una pluralidad de aparatos de protección 37a-n, complementados eventualmente con información sobre fallas, obtenida desde simulaciones. Esos pares de patrones forman los datos de entrenamiento para la red neuronal. Además, el sistema de procesamiento de datos externo 36 contiene una red neuronal que presenta la misma estructura que la red neuronal que está implementada en el aparato de protección 13. En el sistema de procesamiento de datos externo 36 se entrena en primer lugar la red neuronal que se encuentra presente, con la ayuda de la información recolectada sobre la falla (pares de patrones). Después de finalizado el entrenamiento se encuentra presente una parametrización de la KNN, que se transmite a la KNN implementada en el aparato de protección 13, y que puede configurarse allí.

40 Los datos de entrenamiento pueden provenir por ejemplo de datos de fallos recolectados por fabricantes o compañías operadoras de aparatos de protección para redes de suministro de energía. Los mismos pueden ponerse a disposición del sistema de procesamiento de datos externo, por ejemplo mediante una carga (upload). Para ello puede preverse que el sistema de procesamiento de datos externo disponga de un acceso basado en un navegador, el cual permita una carga de los datos de fallos, desde un ordenador 38 de un usuario. Después de una carga exitosa, el usuario asocia al registro un criterio de una falla y, con ello, una causa de la falla, desde un conjunto de criterios predefinidos, o crea un nuevo criterio, en caso de que aún no exista el criterio deseado. De manera

45

alternativa, una función de carga también puede integrarse en programas ya existentes para el análisis de los así llamados registros de fallos (perfiles almacenados de variables de medición para casos de fallas individuales).

5 Después de la carga de los datos de fallos, los mismos primero se clasifican con la red neuronal implementada en el sistema de procesamiento de datos externo. En caso de que el resultado de la red neuronal corresponda al criterio que también ha seleccionado el usuario, la información del fallo y el criterio forman un par de patrones válido. En cambio, en el caso de que la red neuronal implementada en el sistema de procesamiento de datos externo llegue a otro criterio (y con ello, a otra causa), se informa primero al administrador del sistema de procesamiento de datos externo. El mismo se pone en contacto con el usuario que ha cargado en el sistema los datos del fallo en cuestión, y aclara con el mismo si se trata de una entrada errónea por parte del usuario o de una estimación de un fallo de la red neuronal. En el último caso mencionado, datos de fallos y el respectivo criterio correspondiente se añaden directamente a los datos de entrenamiento y la red neuronal se entrena de nuevo. En el primer caso, la entrada errónea se corrige y los datos de fallo con el criterio se añaden igualmente a los datos de entrenamiento; en ese caso ya no debe tener lugar un nuevo entrenamiento.

15 Después de que se ha instruido la red neuronal implementada en el sistema de procesamiento de datos externo y de que se ha efectuado la detección del criterio correcto con una calidad suficientemente elevada, los parámetros de la red neuronal se transmiten al aparato de protección. Ese conjunto de parámetros puede ser leído por el microprograma del aparato de protección, el cual, con ello, parametriza la red neuronal implementada en el aparato de protección. Esto sucede al fabricarse el aparato de protección o en el caso de una actualización del microprograma, cuando el aparato de protección ya se encuentra en funcionamiento.

20 Con la red neuronal 35 instruida de ese modo, el aparato de protección 13, sin la necesidad de otro intercambio de datos con el sistema de procesamiento de datos externo 36, puede efectuar una determinación de la causa de una falla, puesto que la red neuronal 35, mediante el patrón característico, deduce uno o una pluralidad de criterios, a los cuales se encuentra asociada la causa correspondiente.

25 Una información sobre la causa puede ser emitida desde el aparato de protección 13, mediante una interfaz de comunicaciones 39, y mostrarse localmente en el aparato y/o transmitirse a la compañía operadora de la red.

30 En el procedimiento descrito se considera ventajoso en particular también el hecho de que con ello se asocia una reducción de la inversión y de los costes para eliminar la falla. Al conocerse la supuesta causa de la falla, la compañía operadora de la red, ciertamente, puede organizar más rápido contramedidas adecuadas. La misma no debe esperar hasta que el equipo de mantenimiento llegue al lugar y pueda identificar la causa de la falla. De este modo se reduce la inversión para la eliminación de la falla.

A continuación, mediante las figuras 4 a 9 se describe otro ejemplo de ejecución. Los ejemplos de ejecución descritos naturalmente también pueden combinarse unos con otros.

35 En el ejemplo de ejecución según las figuras 4 a 9 se encuentra en primer plano la detección de si la falla ha sido provocada de forma intencional y, con ello, como causa de la falla se encuentra presente una manipulación en partes de la red de suministro de energía, o de si se trata de una falla accidental o casual.

40 En este caso, el aparato de protección 13 se perfecciona de manera que mediante la evaluación de los perfiles registrados de variables de medición (por ejemplo corrientes, tensiones), mediante criterios determinados (por ejemplo resultados de una función de protección o una localización de la falla), se forma una señal que indica un cortocircuito causado probablemente de forma intencional, y se ofrece a la compañía operadora de la red la posibilidad de enviar personal de seguridad o a la policía lo más rápido posible al lugar del posible hurto de la línea.

45 El aviso de que se encuentra presente un cortocircuito producido de forma intencional, probablemente debido a un hurto, a modo de ejemplo, se genera mediante diferentes criterios y/o mediante su combinación. Por ejemplo, puede tener lugar una detección de si una falla se encuentra presente de forma permanente y/o de si tiene lugar una desconexión y conexión automática reiterada de una fase de una línea dentro de un periodo predeterminado. Además, puede analizarse posteriormente una impedancia de falta, con respecto a si ésta se encuentra por debajo de un valor umbral predeterminado. Por último, también puede controlarse si en una línea defectuosa se detecta un punto de desconexión permanente.

50 Una detección de una falla permanente, así como de procesos de desconexión y de conexión reiterados, puede tener lugar por ejemplo mediante un análisis de la tensión medida durante la así llamada pausa monopolar. Ese criterio funciona en el caso de transformadores de tensión conectados del lado de la línea, y en el caso de una activación monopolar. Durante la pausa sin tensión puede controlarse si a pesar de la desconexión puede medirse una tensión del arco eléctrico.

Una determinación de la impedancia de falta puede realizarse por ejemplo con la ayuda de una función de localización de fallas proporcionada en el aparato de protección. La determinación de la impedancia de falta es posible en particular en el caso de la utilización de una función de localización de la falla, la cual trabaja según el así llamado método de reactancia. Una función de localización de fallas de esa clase se describe por ejemplo en la solicitud EP 2937704 A1. Mediante la localización de la falla también puede detectarse por ejemplo si una falla se ha producido en determinadas secciones de la línea, considerados como riesgosas (por ejemplo debido a una población escasa).

Por último, la determinación del punto en el cual fue cortada la línea (punto de desconexión) puede tener lugar mediante una reconexión temporaria de la línea. Para ello debe cerrarse nuevamente el disyuntor abierto debido a la falla y determinarse el punto de desconexión con la ayuda de los fenómenos transitorios que se producen. Para una solución calculatoria, de manera ventajosa, puede emplearse la así llamada ecuación del telegrafista, con la cual pueden describirse procesos de propagación eléctricos en las líneas.

En el caso de un cumplimiento completo o parcial de los criterios en sí mismos o de una combinación de los criterios, el aparato de protección 13 puede generar una señal de alarma que indica una falla provocada de forma intencional. Lo mencionado, por ejemplo, puede utilizarse para enviar al lugar de la falla un servicio de seguridad o a la policía.

Cada uno de esos criterios de decisión arroja como resultado un valor de probabilidad, cuyo valor habitualmente se ubica entre 0...1. En el caso de una combinación, los valores de probabilidad de esos criterios se asocian unos con otros formando un valor de probabilidad total, por ejemplo mediante una suma. En caso de superarse un valor umbral de probabilidad que debe fijarse, por el valor de probabilidad total, se emite la señal de alarma.

En la figura 4, de manera esquemática, se muestra un diagrama secuencial en donde se representa una combinación de los criterios descritos, para una detección lo más segura posible de una falla provocada de forma intencional.

En primer lugar, el dispositivo de cálculo del aparato de protección 13 analiza los perfiles de variables de medición (por ejemplo tensiones de conductor - tierra  $U_{L1E}$ ,  $U_{L2E}$ ,  $U_{L3E}$ ; corrientes de fase  $i_{L1}$ ,  $i_{L2}$ ,  $i_{L3}$ ), en cuanto a si cumple con uno o con una pluralidad de criterios.

Según un primer criterio tiene lugar un control de la tensión del arco eléctrico en la pausa sin tensión (bloque 40). Si en una línea de red aérea se produce un cortocircuito, después de la desconexión de las fase(s) afectadas en general se realiza una reconexión automática. En ese caso, un aparato de protección desconecta la(s) fase(s) afectadas del disyuntor, y las conecta nuevamente de forma automática después de un periodo breve. En el caso de una falla temporaria (por ejemplo una rama cae sobre la línea y se quema), la reconexión automática puede ser exitosa, mientras que en el caso de una falla permanente (por ejemplo debido a un cortocircuito metálico), la reconexión automática no es exitosa.

A continuación se aborda en detalle sólo una activación monopolar, puesto que el criterio descrito puede aplicarse en particular para esos casos. Se activa de forma monopolar generalmente sólo en las fallas monofásicas; una activación monopolar, sin embargo, también es posible en el caso de fallas bifásicas sin participación a tierra. Además, el procedimiento descrito sólo puede aplicarse cuando los transformadores de tensión están conectados del lado de la línea (véanse las figuras 1 y 2).

En el caso de una falla temporaria, si la reconexión automática monopolar ha sido exitosa, depende en primer lugar de si el arco eléctrico causado al abrirse los contactos de conmutación se ha apagado durante el periodo de pausa, así como de si se ha desionizado el recorrido del arco eléctrico.

La reconexión automática monopolar, en el caso de fallas temporarias, impide una desconexión que dura más tiempo de la respectiva fase, aumentando con ello la fiabilidad del suministro de la red. Un efecto secundario de la reconexión automática monopolar es la producción de un arco eléctrico de poca corriente, el cual se alimenta mediante el acoplamiento capacitivo e inductivo, mediante los dos conductores no interrumpidos.

Cómo se detecta un arco eléctrico de poca corriente se describe por ejemplo en el artículo "Beurteilung der Lichtbogenlöschung bei der einpoligen AWE in Höchstspannungsnetzen (Rainer Luxenburger, TU Dresden, Andrea Ludwig, Vattenfall Europe Transmission GmbH, Peter Schegner, TU Dresden)".

Mediante la capacidad de diferenciar fallas permanentes de fallas temporarias, puede generarse una señal para mostrar un cortocircuito provocado probablemente de forma intencional, con el fin de un hurto de la línea. En este caso existen tres situaciones posibles que deben considerarse:

5 Puede suponerse que una persona desea causar intencionalmente una desconexión de una línea. Para ello, la persona por ejemplo pone un objeto en contacto con la línea (por ejemplo arroja el objeto a la línea o pone en contacto con la línea una pala de una excavadora), donde el objeto causa un cortocircuito (de forma monofásica con tierra o de forma bifásica). El aparato de protección que monitorea la línea se activa en este caso de forma monopolar.

En este caso, por una parte existe la posibilidad de que el objeto se quede sobre la línea, y no se queme, generando con ello una falla permanente. Puesto que después de transcurrido el periodo de pausa de la reconexión automática el cortocircuito aún se encuentra presente, tiene lugar una reconexión no exitosa. Finalmente la línea se desconecta se forma definitiva.

10 Por otra parte, existe la posibilidad de que el objeto se queme o de que se separe nuevamente de la línea, de manera que se encuentra presente una falla temporaria. En ese caso, del modo antes descrito, se produce un arco eléctrico de poca corriente. Esto es detectado por el aparato de protección.

15 De este modo, según una primera alternativa, puede suceder que el arco eléctrico de poca corriente no se apague durante el periodo de pausa. De este modo, no es exitosa una reconexión automática monopolar. A continuación se introduce un ciclo de reconexión de tres polos. Debido a esto se apaga el arco eléctrico de poca corriente y la línea puede pasar nuevamente al funcionamiento normal.

De acuerdo con una segunda alternativa, puede suceder que el arco eléctrico de poca corriente se apague durante el periodo de pausa. Se produce una reconexión exitosa. La línea puede pasar nuevamente al funcionamiento normal.

20 Puesto que la persona que manipula la línea está interesada en una desconexión completa de la línea, la misma debe repetir la situación descrita, eventualmente varias veces. En general, ciertamente después de varios ciclos de una reconexión automática, la línea se pone fuera de servicio de forma definitiva, ya que entonces debe contarse con el hecho de que se encuentra presente un problema permanente.

25 Con el procedimiento descrito según el bloque 40, como resultado se genera un valor de probabilidad  $P_1$ , cuya magnitud depende de si el criterio se ha cumplido de forma completa o parcial. Para formar el valor de probabilidad  $P_1$  existen las siguientes posibilidades:

30  $P_1$  se vuelve más grande cuando varias veces, dentro de un periodo predeterminado, fue detectado un arco eléctrico de poca corriente, aunque se hayan producido reconexiones exitosas. Ciertamente, esto indica que una persona ha puesto en contacto objetos con la línea varias veces, de forma consecutiva, para finalmente forzar una desconexión total.

$P_1$  se vuelve más grande cuando se detecta un cortocircuito sin la producción de un arco eléctrico con poca corriente, es decir, cuando se encuentra presente una falla permanente. Esto es justificable, ya que según las estadísticas aproximadamente el 90 % de las fallas temporarias y, con ello, una falla permanente, posee un riesgo mayor de un efecto externo.

35 De acuerdo con un segundo criterio tiene lugar una evaluación de una impedancia de falta (bloque 41).

40 La impedancia de falta puede determinarse por ejemplo en combinación con un procedimiento de localización de fallas según el método de reactancia. Ciertamente, los aparatos de protección de líneas generalmente disponen de una función de localización de fallas, mediante la cual, después de detener la falla mediante la medición de la impedancia  $X_L$ , puede determinarse la distancia con respecto al punto de la falla. Con una función de localización de fallas adecuada, por ejemplo según el método de reactancia, puede determinarse la distancia con respecto al punto de la falla, por una parte, de forma relativamente precisa. Además, con ese método de cálculo puede determinarse también la impedancia de falta  $R_F$ .

45 Los cortocircuitos que se provocan por ejemplo mediante la caída de rayos, el crecimiento de plantas o la suciedad de los aislamientos, en general implican la producción de un arco eléctrico. Ese arco eléctrico presenta una impedancia de falta  $R_F$  que puede ser determinada por la función de localización de fallas. Si en un cable se encuentra presente un defecto del aislamiento, entonces en el punto de la falla está encendido igualmente un arco eléctrico.

Un cortocircuito provocado de forma maliciosa mediante objetos, una excavadora o una grúa, en cambio, será un cortocircuito metálico. En esos casos, la impedancia de falta  $R_F$  es muy reducida.

5 La variable de la impedancia de falta  $R_F$ , por lo tanto, es adecuada para proporcionar un indicio sobre si un cortocircuito fue provocado o no de forma maliciosa. Las faltas de impedancia muy reducidas indican una falla provocada de forma intencional. Además, la precisión de la función de localización de fallas depende de si fue realizada una medición unilateral (véase la figura 1) o una medición bilateral (véase la figura 2), o debido a la ausencia de una medición en el extremo opuesto o a la ausencia de una conexión de comunicaciones entre los aparatos de protección sólo fue posible una medición unilateral.

10 Para establecer el valor de probabilidad  $P_3$  determinado con ese criterio, de este modo, debe considerarse también si ha sido realizada una determinación de localización de la falla unilateral o bilateral. En el caso de una medición unilateral es menor la precisión debido a la falta de conocimiento de las impedancias previas. Por lo tanto, en ese caso, el valor de probabilidad asociado a  $P_3$  debería ser más reducido que en el caso de una medición bilateral. El establecimiento del valor de probabilidad  $P_3$ , según la figura 4, en el bloque 42, tiene lugar mediante la impedancia de falta  $R_F$ .

15 En la figura 5, para ello, a modo de ejemplo, se representan posibles curvas características para la determinación de localización de fallas con una medición unilateral (curva característica 50) o medición bilateral (curva característica 51). El valor máximo  $P_{3,max,1-extremo}$  así como  $P_{3,max,2-extremo}$ , por tanto, el valor de probabilidad respectivamente más elevado, se alcanza entonces sólo cuando para la impedancia de falta  $R_F$  fue determinado el valor 0. Si la impedancia de falta supera el valor  $R_{F,max,1-extremo}$ , así como  $R_{F,max,2-extremo}$ , entonces es muy improbable un cortocircuito provocado de forma maliciosa; el valor de probabilidad  $P_3$  se fija en 0.

20 Según un tercer criterio se verifica finalmente la presencia de un punto de desconexión permanente con la ayuda de los transitorios que se producen después de una conexión.

25 Los cortocircuitos temporarios en líneas de transmisión, del modo antes explicado, pueden aclararse con la ayuda de una reconexión automática. La interrupción del flujo de corriente mediante la apertura de un disyuntor en un bucle cortocircuitado, a menudo conduce al apagado del arco eléctrico provocado por la caída de un rayo, el crecimiento de plantas o suciedad. Después de una reconexión del disyuntor continúa el funcionamiento normal de la línea. La detección de si además se encuentra presente una falla se realiza por ejemplo mediante la medición de corriente o el control de las señales de excitación, de las funciones de protección de un aparato de protección.

30 En general, después de un ciclo de reconexión no exitoso tiene lugar una desconexión definitiva. En casos excepcionales se realizan varios ciclos de reconexión para eliminar el cortocircuito. A lo sumo después de varios ciclos de reconexión no exitosos se decide por un cortocircuito permanente y la línea que presenta el cortocircuito se separa de la línea. Sólo después de la eliminación del daño que se encuentra presente en el punto de la falla, mediante un equipo de mantenimiento, la línea se conecta de forma manual.

35 En el caso de un cortocircuito provocado de forma intencional, por ejemplo con el fin de un hurto de la línea, las líneas son guiadas por un tercero, de forma intencional, hacia el estado del cortocircuito permanente. Las líneas sólo se separan en el estado sin tensión. De este modo, mediante el alejamiento de las líneas, se produce un punto de desconexión permanente en la línea.

40 Para obtener una indicación segura en cuanto a ese punto de desconexión permanente, la línea puede conectarse nuevamente por un plazo corto, para controlar el tercer criterio después de un tiempo de espera. De este modo, mediante reflexión en los extremos de la línea se generan transitorios, cuyo perfil es característico para el lugar del punto de desconexión que se encuentra presente. La reconexión temporaria y la medición y la evaluación de los transitorios, según la figura 4, se realiza en un bloque 43. De este modo, como se presenta en detalle a continuación, junto con la mera información sobre la presencia de un transitorio se determina su distancia  $u_D$  desde el punto de medición.

45 Los transitorios, mediante el modelo matemático de la línea, pueden mostrarse en una realización de parámetros distribuida. Se parte del hecho de que en el punto de desconexión no circula ninguna corriente. La corriente en el punto de desconexión, en el caso de un sistema monofásico, puede definirse mediante la siguiente ecuación en el rango de frecuencia:

$$I(x, j\omega) = -\frac{1}{Z_c(j\omega)} U_1(j\omega) \sinh \gamma(j\omega)x + I_1(j\omega) \cosh \gamma(j\omega)x$$

50  $U_1$  y  $I_1$  son las variables medidas.  $\gamma$  es una constante de propagación y  $Z_c$  es una impedancia de onda. Se busca un punto de desconexión  $x$  desconocido, en donde la corriente  $I$  se ubica en cero (o cerca de cero). Puesto que el proceso de conmutación está asociado a una pluralidad de transitorios que se presentan, se espera que toda

vibración armónica medida en la corriente y en la tensión, que se recalcula en la corriente en el punto de desconexión, sea muy reducida. La figura 6, a modo de ejemplo, muestra el perfil de las corrientes I y tensiones U en el caso de una reconexión temporaria de la línea para determinar la presencia y la posición de un punto de desconexión. En el caso de  $t=0,02s$  tiene lugar la reconexión temporaria.

- 5 Los sistemas trifásicos, de manera correspondiente, pueden transformarse en los así llamados sistemas modales, y considerarse entonces de una fase. Para la transformación en sistemas modales se utiliza la transformación  $\alpha\beta 0$  (también conocida como "Clark-Transformation"):

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \\ U_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

- 10 En la figura 7, a modo de ejemplo, se marcan los componentes modales de las corrientes y tensiones mostradas en la figura 6.

Para los componentes modales se realiza un cálculo separado:

$$I_{\alpha\beta 0}(x, j\omega) = -\frac{1}{Z_{\alpha\beta 0}(j\omega)} U_{1\alpha\beta 0}(j\omega) \sinh \gamma_{\alpha\beta 0}(j\omega)x + I_{1\alpha\beta 0}(j\omega) \cosh \gamma_{\alpha\beta 0}(j\omega)x$$

La operación inversa en la matriz de transformación conduce a un retorno a las variables de fase. Las corrientes pueden evaluarse entonces de forma separada:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix}_x$$

- 15 Se busca por tanto un punto de desconexión  $x$  que cumpla con las condiciones antes indicadas, en el cual la corriente se ubica en cero o casi en cero. Para ello puede crearse una función objetivo por fase, la cual reduce al mínimo el valor de amplitud de la corriente. Por ejemplo, para la fase A aplica la siguiente ecuación:

$$\min_x \left\| \left( I_\alpha + I_\beta \right) \right\|$$

- 20 Como ejemplo se selecciona un sistema de 230kV con una línea de 150km de largo y que se alimenta de ambos lados. El procedimiento descrito a continuación naturalmente puede aplicarse también en otros niveles de tensión, en particular más reducidos. La línea indicada a modo de ejemplo, en el caso de una frecuencia nominal, posee los siguientes parámetros:

$$Z = \begin{bmatrix} 0.187 + j0.858 & 0.098 + j0.3705 & 0.098 + j0.3705 \\ 0.098 + j0.3705 & 0.187 + j0.858 & 0.098 + j0.3705 \\ 0.098 + j0.3705 & 0.098 + j0.3705 & 0.187 + j0.858 \end{bmatrix} \Omega$$

$$Y = 1e^{-5} \begin{bmatrix} j0.3 & -j0.036 & -j0.036 \\ -j0.036 & j0.3 & -j0.036 \\ -j0.036 & -j0.036 & j0.3 \end{bmatrix} S$$

En este caso Z representa la impedancia de la línea e Y la admitancia de la línea.

Las matrices antes indicadas resultan de la geometría de las torres, así como de parámetros del suelo. Los mismos son conocidos por la compañía operadora de la red, así como pueden determinarse en base a los datos base de la línea.

5

La transformación modal conduce al desacoplamiento de las variables de fase:

$$Z_{\alpha\beta 0} = TZT^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0894 + j0.487 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0894 + j0.487 & 0 \\ 0 & 0 & 0.383 + j1.599 \end{bmatrix} \Omega$$

$$Y_{\alpha\beta 0} = TYT^{-1} = 1e^{-5} \begin{bmatrix} j0.336 & 0 & 0 \\ 0 & j0.336 & 0 \\ 0 & 0 & j0.229 \end{bmatrix} S$$

Se producen matrices diagonales que indican que el cálculo del sistema puede realizarse de forma separada en componentes modales. Para utilizar el modelo con parámetros distribuidos deben calcularse parámetros adicionales. Éstos son la constante de propagación, así como la impedancia de onda:

10

$$\gamma_{\alpha\beta 0} = \begin{bmatrix} 0.0001 + j0.00128 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0001 + j0.00128 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0002 + j0.0019 \end{bmatrix}$$

$$Z_{C\alpha\beta 0} = 1e+2 \begin{bmatrix} 3.821 - j0.3475 & 0 & 0 \\ 0 & 3.821 - j0.3475 & 0 \\ 0 & 0 & 8.411 - j0.994 \end{bmatrix} \Omega$$

Puesto que el cálculo se realiza en un espectro de frecuencia más amplio, esos dos parámetros principales deben determinarse por frecuencia considerada. Se parte del hecho de que esos parámetros dependen linealmente de la frecuencia. La resolución de la frecuencia depende de la ventana de medición seleccionada. El ancho de banda de frecuencia que debe calcularse depende de la frecuencia de muestreo seleccionada. Se recomienda seleccionar al menos 16kHz como velocidad de muestreo. Si se selecciona un sistema con una velocidad de muestreo reducida, entonces no se detectarán transitorios y el punto de desconexión no podrá deducirse de forma segura. Las consideraciones realizadas en este caso se basan en un aparato de protección con un sistema de medición que trabaja con una velocidad de muestreo de 64kHz.

15

20 El procedimiento para determinar la posición del punto de desconexión es del siguiente modo:

5 En un primer paso, durante la conexión, mediante técnicas de medición, se detectan las corrientes y las tensiones en la línea separada (véase la figura 6). En la figura 6 puede apreciarse que después de la conexión de la línea se presentan transitorios significativos que señalan el punto de desconexión. La frecuencia de los transitorios depende ciertamente de la distancia del punto de desconexión, y puede aclararse mediante el mecanismo de reflexión de las ondas progresivas que se producen. Cuanto más alejado se encuentra el punto de desconexión, tanto más reducidas son las frecuencias que se presentan.

En un segundo paso, a partir de los perfiles de corriente y tensión para el desacoplamiento del sistema trifásico, se forman los componentes modales (figura 7). Después de la transformación no se pierden los transitorios; más bien su propagación y el comportamiento pueden interpretarse con mayor facilidad.

10 En un tercer paso, los componentes modales se representan en el rango de frecuencia (figura 8). Para el cálculo simple es de utilidad la transformación en el rango de frecuencia. Aunque los modelos basados en el tiempo son más precisos, requieren sin embargo también mayor capacidad de cálculo. Además, en el rango de frecuencia es esencialmente más simple considerar las influencias de medición (por ejemplo mediante los transductores).

15 En un cuarto paso, con una variable  $x$  se realizan los cálculos en componentes modales y se transforman nuevamente en las variables de fase. La función objetivo creada, para las tres fases A, B, C proporciona la indicación sobre la posición del punto de desconexión (figura 9). La función objetivo representada en la figura 9 muestra un mínimo  $y$ , con ello, el punto de desconexión en el caso de 45 km desde un extremo de la línea. En la figura 9 puede apreciarse que el mínimo de la función objetivo indica el punto de desconexión. La función objetivo está definida de manera que la misma proporciona un contenido acumulado de vibraciones armónicas. El contenido de los armónicos en el punto de desconexión es el más reducido. Con ello, de manera sencilla, puede determinarse la posición  $x$  del punto de desconexión, así como la distancia  $d_U$  del punto de desconexión, desde un extremo de la línea.

20 La sola presencia de un punto de desconexión permanente apunta a una falla provocada de forma intencional; en base a ello puede determinarse un valor de probabilidad  $P_2$  que adopta su máximo en el caso de la presencia del punto de desconexión.

En un bloque 44, los valores de probabilidad  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  se asocian unos con otros, por ejemplo mediante adición. Si el valor de probabilidad total  $\Sigma P$  resultante se ubica sobre un valor umbral de probabilidad  $P_{\text{alarma}}$ , lo cual puede comprobarse en un bloque de comparación 45, entonces se emite una señal de alarma.

30 Además, en un paso opcional, mediante una función de localización de fallas (por ejemplo con relación al cálculo de la impedancia de falta  $R_F$  en base a la reactancia de la línea  $X_L$ ), puede tener lugar un cálculo del lugar de la falla  $d$  (distancia del lugar de la falla desde un extremo de la línea). Esto puede tener lugar en un bloque 46 opcional. Ese lugar de la falla  $d$ , en otro bloque opcional 47, puede compararse con la posición del punto de desconexión  $d_U$ . Cuando los dos valores  $d$  y  $d_U$  casi coinciden, entonces puede deducirse un hurto de la línea, puesto que en ese caso el punto de desconexión ha sido generado en aquel punto en donde también la falla ha sido provocada de forma intencional.

El mecanismo descrito funciona también cuando la desconexión no ha tenido lugar de forma completa y hay algunos conductores no desconectados.

Al realizarse esos controles opcionales, una determinación del valor de probabilidad  $P_2$  puede tener lugar también empleando adicionalmente el lugar de la falla, como se indica a continuación.

40 Cuando no pudo detectarse ningún punto de desconexión, el valor de probabilidad es  $P_2 = 0$ . Cuando con la ayuda de los transitorios fue hallado un punto de interrupción y también se encuentra presente un resultado del lugar de la falla, entonces la probabilidad  $P_2$  es una función de la diferencia  $\Delta d$  desde el lugar de la falla  $d$  y la posición del punto de desconexión  $d_U$  determinado. Un lugar de la falla determinado mediante un localizador de fallas y la posición del punto de desconexión determinado deberían ser idénticos en el marco de la precisión de medición, en tanto la falla se haya provocado de forma intencional, para separar la línea en ese punto después de la desconexión.

$$\Delta d = |d - d_U|$$

Cuando  $\Delta d$  es mayor que un valor umbral  $\Delta d_{\text{max}}$  que debe establecerse, entonces la probabilidad es  $P_2 = 0$ . En caso contrario,  $P_2$  se establece según una función que debe determinarse, por ejemplo mediante una función lineal:

$$P_2 = f(\Delta d)$$

5 Además, en otro bloque opcional 48 puede verificarse si el lugar de la falla determinado se ubica en una zona considerada como riesgosa (por ejemplo una zona escasamente poblada o una zona en la que estadísticamente son frecuentes los hurtos de líneas). En ese caso puede preverse que la señal de alarma se emita sólo cuando ese control sitúa la posición del lugar de la falla en una zona riesgosa. Esto se alcanza mediante un elemento- Y 49.

Otro criterio no descrito con relación a la figura 4 puede ser además el número de los ciclos de reconexión no exitosos. Una desconexión definitiva mediante la función de reconexión automática apunta entonces a un cortocircuito provocado de forma intencional.

10 De acuerdo con esa segunda forma de ejecución descrita, la compañía operadora, inmediatamente después de una falla, recibe un aviso en forma de una señal de alarma, de que la falla probablemente fue provocada de forma intencional. En el caso de una sospecha correspondiente, personal de seguridad o la policía pueden enviarse esencialmente más rápido al lugar de la falla. La evaluación de los criterios descritos y su asociación contribuyen esencialmente a que pueda tomarse una decisión pronta para formar el aviso de alarma. Mediante el análisis combinado de todos los criterios mencionados, además, la probabilidad de una falla provocada de forma intencional puede indicarse con mucha más precisión que si esa decisión se tomara sin un control de esa clase.

15 Otra ventaja consiste en que la función en cuestión puede integrarse en un aparato de protección que debe instalarse de todos modos en la red de suministro de energía. Para la realización de esa función, por lo tanto, no se originan costes de hardware adicionales para el usuario.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica (11, 21a, 21b), en el cual
- 5 - en al menos un punto de medición (12) de la red de suministro de energía (11, 21a, 21b) se detectan variables de medición eléctricas; y
- las variables de medición eléctricas se proporcionan a por lo menos un aparato de protección (13) que analiza las variables de medición en cuanto a la presencia de una falla en la red de suministro de energía eléctrica (11, 21a, 21b) y en el caso de una falla detectada genera una señal de falla, donde
- 10 - después de la detección de una falla por al menos un aparato de protección (13), perfiles de tiempo de las variables de medición, detectados inmediatamente antes y/o durante la falla, se analizan en cuanto a la presencia de criterios determinados, donde a los criterios individuales y/o combinaciones de criterios están asociadas posibles causas de fallas;
- se determinan uno o una pluralidad de criterios que están cumplidos de forma total o parcial por los perfiles analizados de las variables de medición; e
- 15 - independientemente de los criterios determinados y del grado de su cumplimiento mediante los perfiles, se determina una causa de la falla;
- caracterizado porque
- al menos algunos de los criterios son adecuados para detectar fallas provocadas de forma intencional, donde
- 20 - como criterios que indican una falla provocada de forma intencional, se utiliza una pluralidad de los siguientes criterios:
- la detección de una falla que se encuentra presente de forma permanente;
- la detección de una conexión y desconexión automática reiterada de una fase de una línea dentro de un periodo predeterminado;
- una impedancia de falta que se ubica por debajo de un valor umbral predeterminado; y
- 25 - en tanto del control resulte que la falla ha sido provocada de forma intencional, se genera una señal de alarma que indica un posible hurto de la línea.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque
- una señal que indica la causa determinada es emitida por al menos un aparato de protección (13).
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque
- 30 - como criterio que indica una falla causada de forma intencional, se utiliza un punto de desconexión detectado en una línea defectuosa.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque
- durante una reconexión temporal de la línea defectuosa se analizan ondas progresivas de la corriente y/o de la tensión que se propagan en la línea, para verificar si se encuentra presente un punto de desconexión, donde el punto de desconexión se detecta en aquel punto de la línea en el cual una función objetivo que indica el perfil de corriente a lo largo de la línea defectuosa presenta un mínimo.
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque
- después de la aparición de la falla se realiza una localización de la falla y el lugar de la falla determinado se compara con el lugar del punto de desconexión determinado; y

- se determina el grado de cumplimiento del criterio en cuanto a un punto de desconexión que se encuentra presente, en función de la distancia entre el lugar de la falla y la posición del punto de desconexión.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque

5 - en base al respectivo grado de cumplimiento de los criterios individuales que indican una falla provocada de forma intencional, respectivamente se determinan valores de probabilidad que indican la probabilidad de que el cumplimiento del respectivo criterio signifique efectivamente una falla provocada de forma intencional;

- mediante la vinculación de los valores de probabilidad individuales, se determina un valor de probabilidad total,

- el valor de probabilidad total se compara con un valor umbral de probabilidad; y

- la señal de alarma se genera cuando el valor de probabilidad total supera el valor umbral de probabilidad.

10 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque

- el aparato de protección (13) detecta una falla en la red de suministro de energía (11, 21a, 21b) mediante una función de protección de distancia; y

- una información sobre la distancia de la falla, detectada con la función de protección de distancia, desde el punto de medición asociado al aparato de protección (13), se añade a la señal de alarma.

15 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque

- después de la aparición de la falla, una localización de la falla es realizada por el aparato de protección (13); y

- una información sobre el lugar de la falla determinado se añade a la señal de alarma.

9. Aparato de protección (13) para determinar una causa de una falla en una red de suministro de energía eléctrica (11, 21a, 21b), donde el aparato de protección (13) presenta un dispositivo de cálculo (32) que está configurado para

20 - mediante la utilización de variables de medición eléctricas detectadas en al menos un punto de medición (12) de la red de suministro de energía (11, 21a, 21b), realizar un análisis en cuanto a la presencia de una falla en la red de suministro de energía eléctrica (11, 21a, 21b); y

- en el caso de una falla detectada, generar una señal de falla;

donde

25 - el dispositivo de cálculo (32), después de la detección de una falla, está configurado para analizar perfiles de tiempo de las variables de medición, detectados inmediatamente antes y/o durante la falla, en cuanto a la presencia de criterios determinados, donde a los criterios individuales y/o combinaciones de criterios están asociadas posibles causas de fallas;

30 - se determinar uno o una pluralidad de criterios que están cumplidos de forma total o parcial por los perfiles analizados de las variables de medición; e

- independientemente de los criterios determinados y del grado de su cumplimiento mediante los perfiles, determinar una causa de la falla;

caracterizado porque

35 - al menos algunos de los criterios son adecuados para detectar fallas provocadas de forma intencional, donde como criterios que indican una falla provocada de forma intencional, se utiliza una pluralidad de los siguientes criterios:

- la detección de una falla que se encuentra presente de forma permanente;

- la detección de una conexión y desconexión automática reiterada de una fase de una línea dentro de un periodo predeterminado;

- una impedancia de falta que se ubica por debajo de un valor umbral predeterminado; y

- el dispositivo de cálculo está configurado para generar una señal de alarma que indica un posible hurto de la línea, en tanto del control resulte que la falla ha sido provocada de forma intencional.

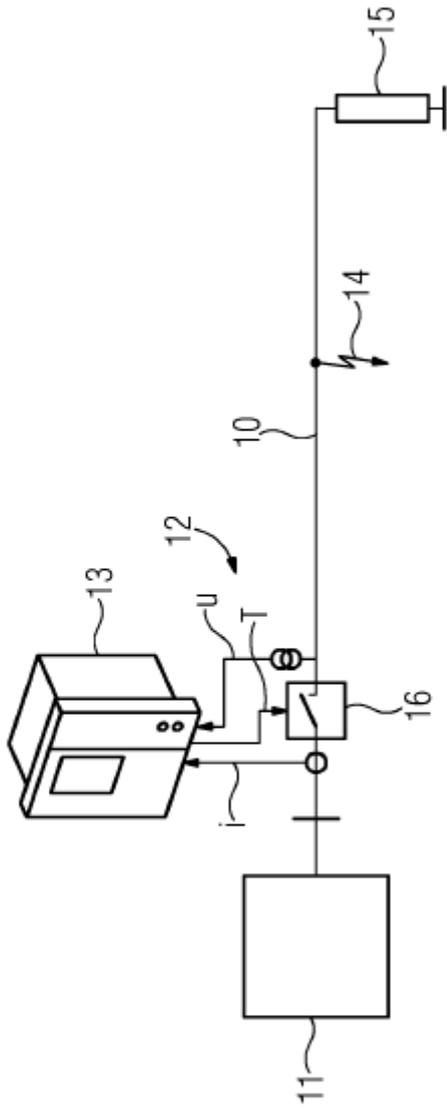


FIG 1

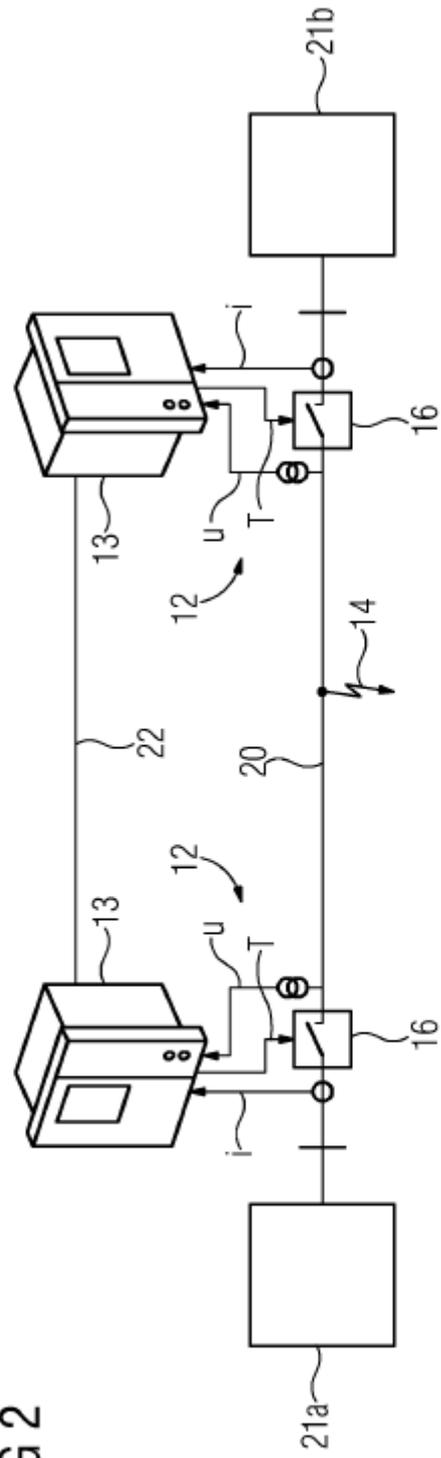


FIG 2

FIG 3

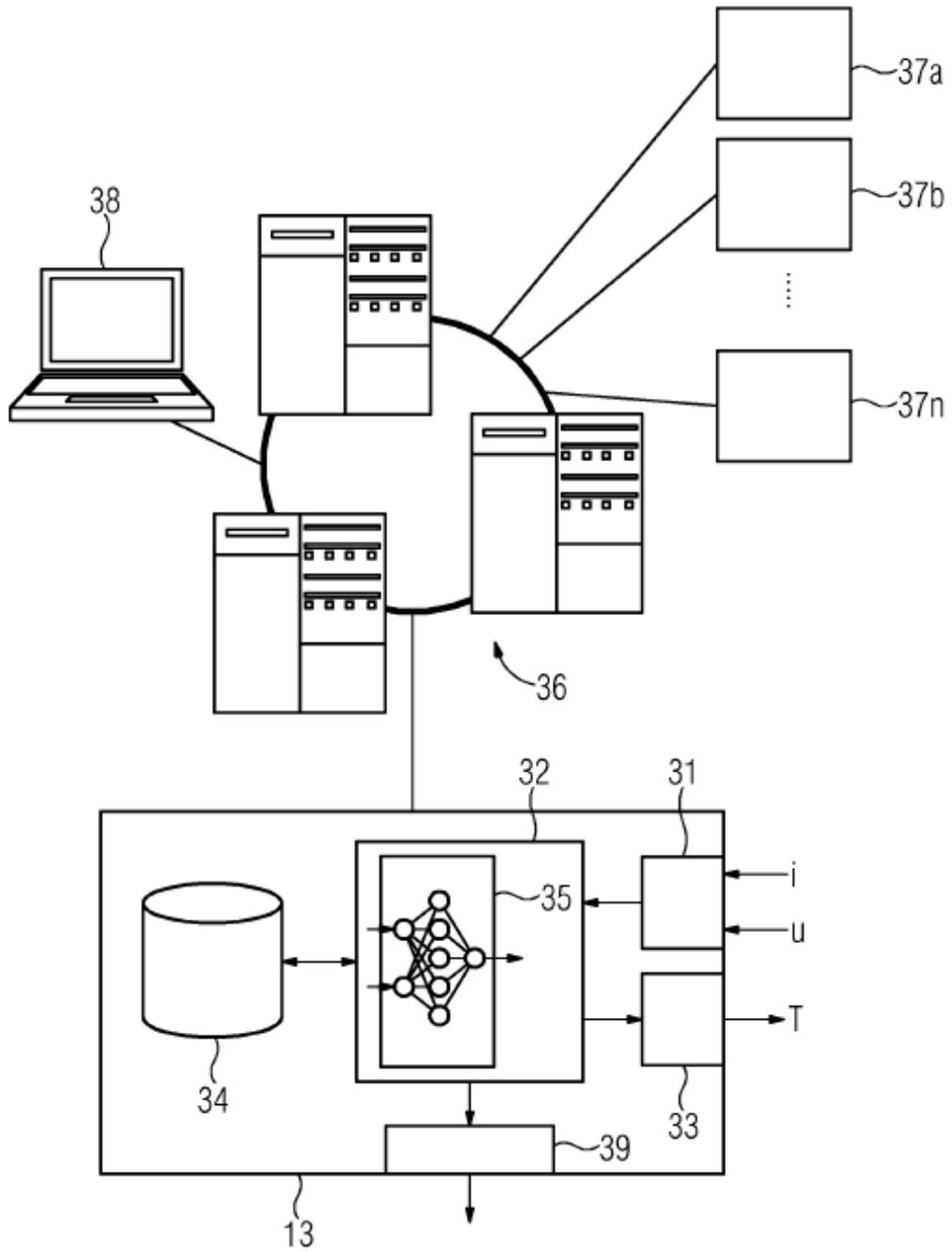


FIG 4

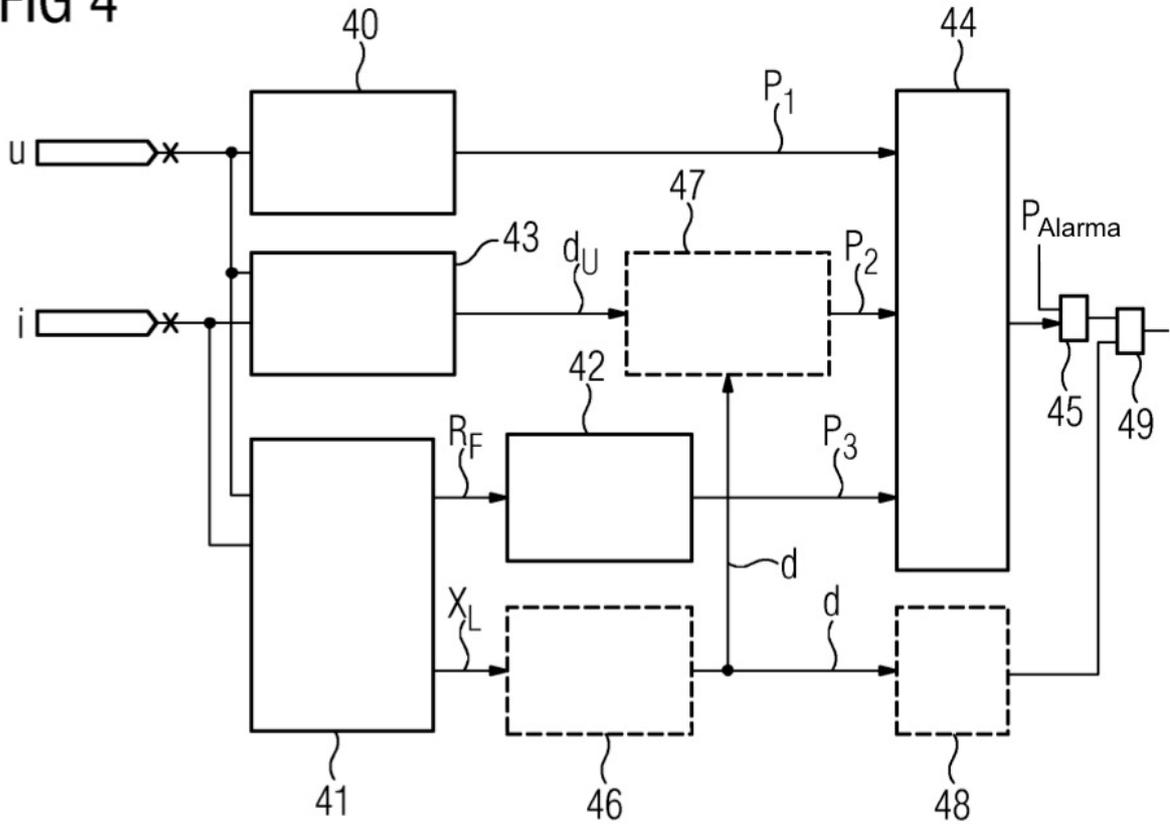


FIG 5

