

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 227**

51 Int. Cl.:

G01R 31/62 (2010.01)

G01K 1/02 (2011.01)

G01K 7/42 (2006.01)

G01K 13/02 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.09.2021** **PCT/EP2021/074318**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2022** **WO22069149**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2021** **E 21770245 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2024** **EP 4208726**

54 Título: **Dispositivo y sistema para determinar indirectamente la temperatura de un transformador de potencia**

30 Prioridad:

30.09.2020 DE 102020125533

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

26.12.2024

73 Titular/es:

MASCHINENFABRIK REINHAUSEN GMBH
(100.00%)

Falkensteinstrasse 8
93059 Regensburg, DE

72 Inventor/es:

ALBER, ALEXANDER y
GRUBER, TOBIAS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 993 227 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

Dispositivo y sistema para determinar indirectamente la temperatura de un transformador de potencia

Los transformadores de potencia son generalmente conocidos en el estado de la técnica. Un transformador de potencia se utiliza para transformar la energía eléctrica de un lado primario asociado a un lado secundario asociado. Los transformadores de potencia suelen estar diseñados para transformar niveles de potencia muy elevados. Por ejemplo, un transformador de potencia puede transformar al menos 30 KW, al menos 50 KW o al menos 100 KW. La transformación de la energía eléctrica genera calor que, a menudo, se libera al medio ambiente a través de un sistema de refrigeración del transformador de potencia. Un transformador de potencia presenta un lado primario con un bobinado primario y un lado secundario con un bobinado secundario. El transformador de potencia presenta una carcasa que forma un depósito. Ambos bobinados están dispuestos en el depósito del transformador de potencia, en el que hay un líquido refrigerante, en particular aceite como líquido refrigerante, y en donde el depósito está conectado a un radiador del sistema de refrigeración a través de un circuito de fluido. La capacidad de refrigeración del refrigerador depende a menudo de la temperatura ambiente. Si la temperatura ambiente es baja, una gran diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura en el radiador puede contribuir a un buen rendimiento de refrigeración del lado primario y secundario. Si la temperatura ambiente aumenta, la capacidad de refrigeración del radiador puede disminuir. Para evitar el sobrecalentamiento del refrigerante, los transformadores de potencia suelen estar equipados con sensores para detectar la temperatura al menos en un punto del transformador de potencia.

En el estado de la técnica, también se conocen modelos matemáticos adecuados para modelizar un transformador de potencia. Sin embargo, estos modelos presentan el inconveniente de que es necesario predeterminar un gran número de parámetros de los modelos para que estos garanticen una representación robusta del transformador de potencia real. A menudo, los parámetros de los modelos deben determinarse en función de las características reales del transformador de potencia. En la práctica, se ha comprobado que es necesario un esfuerzo considerable para determinar dichos parámetros para los modelos. Por lo tanto, estos modelos se utilizan muy raramente en la práctica para modelar las propiedades de un transformador de potencia.

En este contexto, el documento WO 2015/027127 A1 describe un sistema de monitorización y predicción térmica en tiempo real para monitorizar y operar un transformador. Mediante un modelo térmico dinámico para el transformador y previsiones de temperatura ambiente, se estima un nivel de carga para el transformador durante un periodo futuro. El transformador puede cargarse hasta su nivel de carga máximo en caso de sobrecarga en el suministro eléctrico o cuando se restablezca el funcionamiento.

El documento CN 106 844 972 A divulga un procedimiento para determinar la temperatura de bobinados de transformadores basado en la optimización de enjambre de partículas con regresión de vector de soporte.

La invención se basa, por lo tanto, en la tarea de proporcionar un dispositivo y/o un sistema con un dispositivo de este tipo, mediante el cual se pueda deducir en forma fiable y lo más sencilla posible una temperatura relevante del transformador de potencia por medio del dispositivo.

El problema se resuelve según un primer aspecto de la invención mediante un dispositivo que tiene las características de la reivindicación 1. Se prevé así un dispositivo que presenta una interfaz de señal, una unidad de procesador y una unidad de memoria. La interfaz de señal está configurada para recibir una señal de medición que representa los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor, en donde los primeros y segundos datos de sensor representan cada uno al menos una variable detectada en un transformador de potencia. La unidad de procesador está configurada para generar un conjunto de datos de medición en cada ventana de tiempo sucesiva a partir de los primeros y segundos datos de sensor recibidos en la ventana de tiempo respectiva. En la unidad de memoria, se almacena un modelo de simulación del transformador de potencia, que asigna un comportamiento de transmisión de datos de entrada a datos de salida en función de los parámetros de modelo de simulación. La unidad de procesador está configurada para ejecutar repetidamente el siguiente grupo de pasos a) a c) en grupos para cada ventana de tiempo: a) determinación de los datos de salida mediante la ejecución del modelo de simulación con los datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los parámetros de modelo que se determinan a partir de parámetros de referencia predeterminados cuando el modelo de simulación se ejecuta por primera vez para la ventana de tiempo respectiva y, en caso contrario, a partir de los parámetros de optimización determinados en último lugar en cada caso, b) determinación de un valor diana que comprende al menos un error cuadrático, ponderado con un primer factor de ponderación, entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida determinados previamente, y c) determinación de parámetros de optimización como nuevos parámetros de modelo para el modelo de simulación basado en el al menos un valor diana determinado en la ventana de tiempo respectiva. El modelo de simulación también mapea un valor de modelo para una temperatura dentro del transformador de potencia como una función de los datos de entrada y los parámetros de modelo. La unidad de procesador está configurada para determinar el valor de modelo para cada ventana de tiempo ejecutando el modelo de simulación con datos de entrada determinados a partir

de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asociados con la ventana de tiempo respectiva y los parámetros de modelo determinados para la ventana de tiempo respectiva a partir de los parámetros de optimización determinados más recientemente.

Antes de que las características del dispositivo según el primer aspecto se discutan en detalle a continuación, debe destacarse que el dispositivo, y en particular la unidad de procesador del dispositivo, permite mejorar los parámetros de modelo de simulación de ventana de tiempo a ventana de tiempo, de modo que el modelo de simulación puede utilizarse para determinar un valor de modelo para una temperatura dentro del transformador de potencia que no haya sido detectada previamente por sensores sobre o dentro del transformador de potencia. Esto permite supervisar el estado térmico del transformador de potencia con especial fiabilidad. La optimización repetida de los parámetros de modelo de simulación también facilita especialmente la puesta en servicio del dispositivo. Esto se debe a que los parámetros de modelo utilizados al ejecutar el modelo de simulación por primera vez deben ser una buena estimación de los parámetros de modelo, pero no tienen por qué ser necesariamente óptimos. Por lo tanto, pueden determinarse mediante parámetros de referencia predeterminados al principio. Una vez mejorados los parámetros de modelo de simulación tras varias ventanas de tiempo, la unidad de procesador puede determinar al menos una temperatura utilizando el modelo de simulación dentro del transformador de potencia, y esta temperatura determinada puede utilizarse para supervisar el transformador de potencia. Esto permite un mejor aprovechamiento del rendimiento del transformador, incluso en el límite de potencia térmica.

Las características del dispositivo se describen con más detalle a continuación.

El dispositivo cuenta con la interfaz de señal, la unidad de procesador y la unidad de memoria. La interfaz de señal puede ser una interfaz de señal cableada o una interfaz de señal de radio. La interfaz de señal está diseñada para recibir la señal de medición, que representa los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor. El dispositivo puede presentar otra interfaz de señal diseñada para enviar una señal de salida que represente el valor de modelo de la temperatura determinado por la unidad de procesador. En principio, es posible que la interfaz de señal para recibir la señal de medición y la interfaz de señal adicional para transmitir la señal de salida estén formadas por una interfaz de señal común. Sin embargo, también pueden diseñarse como interfaces de señal separadas.

Los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor representan cada uno al menos una variable detectada por sensores en o sobre el transformador de potencia. En este caso, se trata preferiblemente de una variable detectada por un sensor. La respectiva variable detectada por el sensor se refiere preferiblemente a una variable mecánica, eléctrica u otra variable física. Los primeros datos de sensor representan preferiblemente variables exógenas y detectables por el sensor del transformador de potencia. Los segundos datos de sensor representan preferiblemente variables detectables por el sensor pero no exógenas del transformador de potencia. Por lo tanto, los primeros datos de sensor pueden representar variables detectables por el sensor del transformador de potencia que actúan sobre el transformador de potencia desde el exterior y/o no pueden ser influenciadas por el transformador de potencia. Pueden ser, por ejemplo, la tensión aplicada a las conexiones del lado primario del transformador de potencia, la corriente que circula por los bobinados del lado primario o la temperatura ambiente del transformador de potencia. Las variables exógenas del transformador de potencia influyen en variables no exógenas del transformador de potencia tales como, por ejemplo, la temperatura del refrigerante dentro del depósito del transformador de potencia. Por lo tanto, las variables representadas por los segundos datos de sensor son preferiblemente variables del transformador de potencia causadas por las variables representadas por los primeros datos de sensor.

Las variables del transformador de potencia representadas por los primeros y segundos datos de sensor se muestrean preferiblemente a una frecuencia predeterminada, de modo que la señal de medición representa preferiblemente un flujo de datos continuo de los valores muestreados en forma de los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor. Por consiguiente, la unidad de procesador está configurada para generar un conjunto de datos de medición en cada ventana de tiempo sucesiva a partir de los primeros y segundos datos de sensor recibidos en la ventana de tiempo respectiva. De este modo, si un flujo continuo de primeros y segundos datos de sensor se transmite a la unidad de procesador a través de la interfaz de señal mediante la señal de medición, la unidad de procesador copiará los primeros y segundos datos de sensor de este flujo de datos en una ventana de tiempo respectiva a fin de generar un conjunto de datos de medición asociado a la ventana de tiempo respectiva. Las ventanas de tiempo pueden solaparse parcialmente en el tiempo. Por ejemplo, si una ventana de tiempo tiene una duración de 24 horas y la unidad de procesador genera un registro de datos de medición correspondiente cada cuatro horas para una nueva ventana de tiempo de las 24 horas anteriores, las ventanas de tiempo sucesivas se solapan al menos parcialmente, lo que también se aplica en consecuencia a los conjuntos de datos de medición. En el ejemplo anterior, por ejemplo, una ventana de tiempo definida más recientemente y una ventana de tiempo definida previamente pueden solaparse en un período de dieciséis horas. Cada ventana de tiempo puede solaparse con varias ventanas de tiempo anteriores. Si las ventanas de tiempo se solapan, es preferible que los datos se copien del flujo de datos para generar el conjunto de datos de medición asociado a la ventana de tiempo respectiva. La unidad de procesador puede configurarse en consecuencia para este fin. En principio, sin embargo, también es posible que las ventanas de tiempo se sucedan directamente y sin solaparse. Por lo tanto, las ventanas de tiempo pueden definirse sin solapamiento.

Sin embargo, también es posible prever una pausa de tiempo específica o arbitraria entre las ventanas de tiempo, durante la cual ninguno de los datos recibidos a través de la señal de medición se utiliza para generar el conjunto de datos de medición. Cada ventana de tiempo presenta preferiblemente un valor temporal predeterminado y constante. Si se genera una pluralidad de conjuntos de datos de medición para las respectivas ventanas de tiempo asociadas, también se hace referencia a que las ventanas de tiempo avanzan en el tiempo a intervalos discretos predeterminados y se genera un conjunto de datos de medición asociado para cada ventana de tiempo por medio de la unidad de procesador. Como se ha explicado con anterioridad, es preferible que la duración de cada ventana de tiempo sea de 24 horas, por ejemplo. Además, la ventana de tiempo puede adelantarse cuatro horas cada cuatro horas. Sin embargo, no se trata de la misma ventana de tiempo, sino que se define una nueva ventana de tiempo del mismo tamaño.

En la unidad de memoria del dispositivo, se almacena un modelo de simulación. El modelo de simulación es preferiblemente un modelo matemático del transformador de potencia que puede ser ejecutado por la unidad de procesador, mediante el cual el modelo de simulación mapea un comportamiento de transmisión de los datos de entrada a los datos de salida en función de los parámetros de modelo de simulación. Los datos de entrada pueden estar formados por datos que representan variables exógenas del transformador de potencia que pueden detectarse mediante sensores. Los datos de salida pueden estar formados por datos que representan variables del transformador de potencia que no pueden ser detectadas por sensores y/o que representan variables no exógenas del transformador de potencia. Preferiblemente, el modelo de simulación también asigna un comportamiento de transferencia de los datos de entrada al valor de modelo en función de los parámetros de modelo de simulación.

El modelo de simulación ofrece la ventaja de que el modelo de simulación puede utilizarse mediante la unidad de procesador para estimar al menos uno o más estados del transformador de potencia. Un estado del transformador de potencia puede ser, por ejemplo, una temperatura existente dentro del transformador de potencia u otras variables físicas del transformador de potencia que dependan de variables exógenas del transformador de potencia. Por lo tanto, los datos de salida que pueden surgir durante una simulación utilizando el modelo de simulación suelen referirse a propiedades del transformador similares o iguales a los segundos datos de sensor, que están representados por la señal de medición y llegan a la unidad de procesador a través de la señal de medición. Sin embargo, los datos de salida generados durante la simulación mediante el modelo de simulación deben entenderse preferiblemente como valores estimados de las propiedades del transformador, mientras que los segundos datos de sensor registrados por el sensor deben entenderse preferiblemente como valores reales de las propiedades correspondientes del transformador. En otras palabras, los datos de salida pueden representar valores estimados para las propiedades del transformador y los segundos datos de sensor pueden representar valores reales detectados por el sensor para las mismas propiedades del sensor. Por lo tanto, es posible realizar una comparación entre los valores estimados y los valores reales a través de los datos de salida y los segundos datos de sensor, por lo que el resultado de la comparación representa un error en los valores estimados en comparación con los valores reales, o viceversa. Si el error es pequeño, puede suponerse que el modelo de simulación representa especialmente bien el transformador de potencia. Para reducir el error, se repiten preferiblemente en grupos los pasos a), b) y c) mencionados con anterioridad para cada ventana de tiempo, con el fin de optimizar los parámetros de modelo de simulación. El objetivo aquí es minimizar el error cuadrático ponderado entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida generados por la simulación durante la ejecución del paso a) en el correspondiente grupo de pasos a) a c). Esto permite determinar los parámetros de optimización en el paso c) como nuevos parámetros de modelo para el modelo de simulación por medio de la unidad de procesador, de modo que los parámetros de modelo se mejoran después de la ejecución múltiple del grupo de pasos a) a c) de tal manera que el error cuadrático ponderado se reduce a menudo a un mínimo. Preferiblemente, el grupo de pasos a) a c) se repite durante al menos 100 ventanas de tiempo. El grupo de pasos a) a c) se repite para cada ventana de tiempo. Por lo tanto, tiene lugar la repetición en grupos antes mencionada.

El modelo de simulación también está diseñado para generar un valor de modelo para una temperatura dentro del transformador de potencia en función de los datos de entrada y los parámetros de modelo, en particular los parámetros de modelo actualizados en último lugar por los respectivos parámetros de optimización, cuando se ejecuta el modelo de simulación. El valor de modelo representa preferiblemente una temperatura en un punto predeterminado dentro del transformador de potencia. Este punto puede ser cualquier punto predeterminado dentro del transformador de potencia. Por ejemplo, la temperatura puede referirse a la temperatura del punto caliente en uno de los bobinados del lado primario o del lado secundario. Sin embargo, el valor de modelo también puede referirse a la denominada temperatura del aceite superior. Este es particularmente el caso si el líquido refrigerante está formado por aceite en el depósito del transformador de potencia. Preferiblemente, la temperatura del aceite superior se encuentra en la zona superior del depósito.

Para actualizar el valor de modelo con la mayor precisión posible, se prevé que la unidad de procesador determine el valor de modelo para cada ventana de tiempo ejecutando el modelo de simulación. El modelo de simulación se ejecuta con los datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los parámetros de modelo determinados para la ventana de tiempo respectiva a partir de los parámetros de optimización determinados

más recientemente. La unidad de procesador puede configurarse en consecuencia para este fin. Por lo tanto, la unidad de procesador puede determinar para cada ventana de tiempo un valor de modelo para una de las temperaturas mencionadas dentro del transformador de potencia. Esta temperatura puede representarse entonces mediante una señal de salida que puede transmitirse, en particular, enviarse a través de la o de otra interfaz de señal del dispositivo. Por lo tanto, el receptor tiene acceso a la información sobre la temperatura antes mencionada dentro del transformador de potencia a una velocidad de actualización suficiente.

En el paso b), que puede ser ejecutado por la unidad de procesador, se determina un valor diana. El valor diana puede formarse a partir de la suma de varios componentes. Sin embargo, se prevé que el valor diana comprenda al menos el siguiente error cuadrático ponderado como un componente o incluso se forme únicamente a partir de él. Por ejemplo, se prevé que el valor diana comprenda el error cuadrático ponderado con el primer factor de ponderación entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida determinados previamente, o que se forme únicamente a partir de este. El error simple (no cuadrático) puede estar formado, por ejemplo, por la diferencia entre los segundos datos de sensor y los datos de salida. Preferiblemente, la unidad de procesador está diseñada para determinar este error. Los segundos datos de sensor y los datos de salida pueden entenderse cada uno como un vector de datos, por lo que el error simple puede formarse a partir de la diferencia entre los dos vectores. El error cuadrático puede, a su vez, formarse a partir de la suma de las entradas al cuadrado del error simple. La unidad de procesador puede diseñarse a tal efecto. Por lo tanto, el error cuadrático es preferiblemente una variable unidimensional.

Preferiblemente, la unidad de procesador está configurada para realizar un procedimiento de optimización predeterminado para determinar los parámetros de optimización en el paso c). Por ejemplo, la unidad de procesador puede estar configurada para repetir el grupo que comprende los pasos a) a c) hasta que se alcance un valor diana en el paso b) que sea menor que un valor límite predeterminado y/o si se cumple un criterio de cancelación predeterminado en el paso b) o c). Por ejemplo, es posible que la unidad de procesador esté configurada para ejecutar un procedimiento de optimización denominado SQP ("sequential quadratic programming", programación cuadrática secuencial) o un procedimiento de conjunto activo para los pasos a) a c) con el fin de resolver el problema de SQP. Por ejemplo, la unidad de procesador puede configurarse para determinar los parámetros de optimización en el paso c) en función del último valor diana determinado en el paso b) o en función de varios valores diana de varios pasos b) anteriores. Si se tienen en cuenta varios valores diana de pasos b) anteriores, es preferible que estos pasos se hayan ejecutado en la misma ventana de tiempo. Por lo tanto, en el paso c), la unidad de procesador puede determinar los parámetros de optimización en función de uno o varios valores diana, de modo que se determine un valor diana más pequeño cuando se vuelva a ejecutar el paso b). Este proceso de optimización puede repetirse varias veces hasta que se determine un valor diana particularmente pequeño en el paso b) y se determinen los parámetros de optimización o los nuevos parámetros de modelo para el nuevo modelo de simulación en el paso c), de modo que sea posible una representación particularmente buena y precisa del transformador de potencia utilizando el modelo de simulación.

Una realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que la temperatura del transformador de potencia asignada por el valor de modelo comprende o es una temperatura de punto caliente o una temperatura de aceite superior o una temperatura de aceite inferior del transformador de potencia. La temperatura del punto caliente, la temperatura del aceite superior y la temperatura del aceite inferior suelen ser temperaturas especialmente interesantes y relevantes para el funcionamiento de un transformador de potencia. Estas temperaturas no siempre se registran mediante sensores. Por lo tanto, el modelo de simulación ofrece la posibilidad de que la unidad de procesador determine el valor de modelo mediante el modelo de simulación, en donde el valor de modelo mapea y, por lo tanto, representa al menos una de las temperaturas mencionadas o varias de las temperaturas mencionadas del transformador de potencia. Por lo tanto, el modelo de simulación puede utilizarse para determinar un gran número de temperaturas y/o las temperaturas particularmente relevantes, que son y/o no tienen que ser necesariamente registradas por medio de un sensor.

Otro diseño ventajoso del dispositivo se caracteriza por el hecho de que la temperatura en el transformador de potencia, que puede asignarse mediante el valor de modelo, se refiere a una temperatura en una zona de la capa superior del aceite del transformador de potencia o a una temperatura en un punto de uno de los bobinados del transformador de potencia. En particular, una temperatura directamente en un bobinado del transformador de potencia solo puede detectarse mediante sensores con un mayor esfuerzo. Este esfuerzo puede reducirse utilizando el modelo de simulación. Esto se debe a que los segundos datos de sensor y los datos de salida pueden utilizarse para optimizar los parámetros de modelo de simulación, representando los segundos datos de sensor variables del transformador de potencia registradas por los sensores. Estas variables representadas por los segundos datos de sensor pueden ser, por ejemplo, variables del transformador de potencia que los sensores pueden detectar fácilmente o con poco esfuerzo. Por lo tanto, es posible que la determinación de una temperatura en un punto predeterminado del transformador de potencia sea posible con un esfuerzo reducido.

Además, puede ser ventajoso que se prevea al menos otro valor de modelo que, en cada caso, representa otra variable física del transformador de potencia en función de los datos de entrada y los parámetros de modelo.

La unidad de procesador también puede configurarse para determinar cada uno de los valores de modelo para cada ventana de tiempo ejecutando el modelo de simulación con los datos de entrada y los parámetros de modelo. Por ejemplo, otro valor de modelo puede representar una corriente, una tensión, una fuerza mecánica u otra magnitud física del transformador de potencia. Cuando en lo sucesivo se haga referencia al valor de modelo para la temperatura dentro del transformador de potencia, se prevé preferiblemente que las explicaciones asociadas, preferidas, características ventajosas, efectos técnicos y ventajas puedan aplicarse de manera análoga a cada valor de modelo adicional.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el número de repeticiones en grupo del grupo de pasos a) a c) está comprendido entre 10 y 1000. La repetición por grupos se refiere a la repetición de todo el grupo de pasos a) a c). En otras palabras, el grupo de pasos a) a c) se ejecuta en cada caso para luego iniciar el proceso de repetición, de nuevo con los pasos a) a c). Por lo tanto, el grupo de pasos se repite en grupos. El número mínimo de diez repeticiones y la limitación del número a 1000 repeticiones proporcionan un intervalo ventajoso para el número de repeticiones, para el que se ha demostrado en la práctica que pueden determinarse parámetros de modelo para el modelo de simulación, de modo que el transformador de potencia puede modelarse particularmente bien utilizando el modelo de simulación y los parámetros de modelo asociados.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza porque el dispositivo está configurado para determinar el valor diana en el paso b) a partir de la ejecución para la segunda ventana de tiempo en cada caso tal que el valor diana también comprende una diferencia cuadrática, ponderada por un segundo factor de ponderación, entre los últimos parámetros de modelo determinados y los últimos parámetros de optimización determinados para la ventana de tiempo anterior. Como ya se ha explicado al principio, la unidad de procesador está configurada para generar un conjunto de datos de medición en cada ventana de tiempo sucesiva a partir de los primeros y segundos datos de sensor recibidos en la ventana de tiempo respectiva. La segunda ventana de tiempo es, por lo tanto, la segunda ventana de tiempo en la secuencia de ventanas de tiempo. El grupo con los pasos a), b) y c) es ejecutado varias veces en sucesión por la unidad de procesador del dispositivo para cada ventana de tiempo, por lo que el paso b) sigue al paso a) y el paso b) es seguido por el paso c) dentro de cada grupo. En cada paso c), la unidad de procesador determina los parámetros de optimización como nuevos parámetros de modelo de simulación.

Para cada ventana de tiempo, el paso c) también se ejecuta varias veces debido a la repetición del grupo. Por lo tanto, también hay una última ejecución del paso c), de modo que, para la ventana de tiempo respectiva, los últimos parámetros de optimización determinados también se definen como nuevos parámetros de modelo para el modelo de simulación y en relación con la ventana de señal respectiva cuando el paso c) se ejecuta por última vez.

En el paso b) del grupo de pasos a) a c), se determina un valor diana que, según el primer aspecto de la invención, comprende al menos un error cuadrático, ponderado por un primer factor de ponderación, entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asociados con la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida determinados previamente. De acuerdo con la última realización ventajosa mencionada del dispositivo, se prevé preferiblemente que el valor diana comprenda también una diferencia cuadrática, ponderada por un segundo factor de ponderación, entre los últimos parámetros de modelo determinados y los últimos parámetros de optimización determinados para la ventana de tiempo anterior. Al repetir el grupo de pasos a) a c) para y a partir de la segunda ventana diana, se determina así en cada caso un valor diana formado a partir de al menos dos componentes, a saber, el error cuadrático ponderado y la diferencia cuadrática ponderada. Los factores de ponderación primero y segundo determinan cuál de los dos componentes determina en mayor medida el valor diana. Se ha demostrado que es ventajoso que el segundo factor de ponderación sea mayor que el primero. En este caso, el valor diana se ve influido en mayor medida por la diferencia cuadrática. Un segundo factor de ponderación mayor evita un cambio rápido de los parámetros de modelo. Esto se debe a que la diferencia cuadrática se basa inicialmente en la simple diferencia entre los últimos parámetros de modelo determinados y los últimos parámetros de optimización determinados para la ventana de tiempo anterior. Para determinar el valor diana en el paso b) durante la ejecución para la segunda ventana de tiempo, la diferencia simple entre los últimos parámetros de modelo determinados y los últimos parámetros de optimización determinados para la primera ventana de tiempo puede, por ejemplo, determinarse primero utilizando la unidad de procesador. Los parámetros de modelo y los parámetros de optimización pueden entenderse cada uno como un vector, por lo que la diferencia simple entre los parámetros de modelo y los parámetros de optimización también puede entenderse como un vector. La diferencia cuadrática es, en este caso, la suma de las entradas cuadráticas de la diferencia simple entendida como un vector. La diferencia cuadrática es, por lo tanto, un valor unidimensional. La unidad de procesador puede estar configurada para determinar la diferencia simple y/o cuadrática. El valor diana puede determinarse mediante la suma del error ponderado por el primer factor de ponderación y la diferencia cuadrática ponderada por el segundo factor de ponderación. Preferiblemente, la unidad de procesador puede estar configurada para determinar el valor diana en consecuencia.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el dispositivo está configurado para determinar el valor diana en el paso b) de tal manera que el valor diana también comprende una diferencia

cuadrática, ponderada con un tercer factor de ponderación, entre los parámetros de modelo determinados más recientemente y los parámetros de referencia. De este modo, el valor diana puede formarse a partir de la suma de tres componentes, por ejemplo. El primer componente puede estar formado por el error cuadrático ponderado con el primer factor de ponderación, el segundo componente por la diferencia cuadrática ponderada con el segundo factor de ponderación y el tercer componente por la diferencia cuadrática ponderada con el tercer factor de ponderación. La diferencia cuadrática ponderada con el segundo y el tercer factor de ponderación es diferente en cada caso. La diferencia cuadrática ponderada con el segundo factor de ponderación se refiere a la diferencia cuadrática como se ha explicado para el ejemplo de realización ventajoso anterior. La diferencia cuadrática ponderada con el factor de ponderación directo se refiere a la diferencia cuadrática entre los últimos parámetros de modelo determinados y los parámetros de referencia. Para determinar la diferencia, se hace referencia a las explicaciones ventajosas, las características preferidas y los efectos de la misma manera que se han explicado para la diferencia anterior.

Los parámetros de referencia pueden estar predeterminados. Por ejemplo, pueden predeterminarse como valores iniciales para los parámetros de modelo. Estos valores iniciales pueden ser predeterminados por un usuario del dispositivo y/o almacenados en la unidad de memoria del dispositivo. La dimensión de los parámetros de referencia corresponde preferiblemente a la dimensión de los parámetros de modelo. Si los parámetros de modelo y los parámetros de referencia se entienden cada uno como un vector, la diferencia simple entre los parámetros de modelo y los parámetros de referencia también puede resultar en un vector. Por lo tanto, la diferencia simple entre los parámetros de modelo determinados más recientemente y los parámetros de referencia puede ser un vector de variables de diferencia. La diferencia cuadrática de la diferencia simple es preferiblemente la suma de las entradas cuadráticas de la diferencia simple o del vector asociado. La unidad de procesador está configurada preferiblemente para determinar la diferencia simple y/o cuadrática. El tercer factor de ponderación se elige a menudo para que sea pequeño en relación con los factores de ponderación primero y segundo, lo que da lugar a una ponderación débil. Esto tiene un efecto positivo a la hora de optimizar los parámetros de modelo, ya que preferiblemente solo se ajustan los parámetros de modelo en la medida en que sea ventajoso hacerlo de acuerdo con el valor diana. Las desviaciones lentas, que también pueden denominarse derivas, debidas a parámetros de modelo irrelevantes o redundantes pueden evitarse utilizando el tercer factor de ponderación.

Otra realización ventajosa del dispositivo es que los primeros datos de sensor representan variables que actúan sobre el transformador de potencia desde el exterior y que son detectadas por sensores. Una de estas variables es, por ejemplo, la temperatura ambiente, que actúa desde el exterior sobre el transformador de potencia. Por lo tanto, la temperatura ambiente puede representarse mediante los primeros datos de sensor. La temperatura ambiente influye en las propiedades internas del transformador. Por ejemplo, la temperatura del refrigerante, en particular el aceite, en el interior del transformador puede verse influida por la temperatura exterior. La temperatura del refrigerante en el transformador de potencia también puede depender de la potencia de la radiación solar que actúa sobre el transformador de potencia desde el exterior. Por lo tanto, los primeros datos de sensor pueden representar una potencia de radiación solar correspondiente como una variable que actúa sobre el transformador de potencia desde el exterior y que puede ser detectada por los sensores. Tanto la temperatura ambiente como la potencia de radiación solar son variables que no se ven influidas por el estado del transformador de potencia. Otras variables que actúan externamente sobre el transformador de potencia son, por ejemplo, una corriente eléctrica, una tensión eléctrica o una potencia eléctrica en el lado primario o en el lado secundario del transformador de potencia. Todas las variables mencionadas actúan externamente sobre el transformador de potencia y provocan un cambio en las variables físicas dentro del transformador de potencia. Preferiblemente, los primeros datos de sensor representan exclusivamente las variables que actúan externamente sobre el transformador de potencia y que son detectadas por los sensores. Si los parámetros de modelo se seleccionan de tal manera que el modelo de simulación mapee correctamente el comportamiento del transformador de potencia, pueden generarse nuevos datos de salida como los primeros datos de los sensores como datos de entrada, que representan variables físicas dentro del transformador de potencia y que pueden no ser registradas por los sensores o no pueden ser registradas por los sensores, al menos con un esfuerzo razonable.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza porque los primeros datos de sensor representan al menos dos variables del siguiente grupo de variables: corriente eléctrica en el lado primario del transformador de potencia, corriente eléctrica en el lado secundario del transformador de potencia, potencia eléctrica en el lado primario del transformador de potencia, potencia eléctrica en el lado secundario del transformador de potencia, temperatura ambiente en el exterior del transformador de potencia, potencia de radiación solar en el exterior del transformador de potencia y velocidad del viento en el exterior del transformador de potencia. El mencionado grupo de posibles variables físicas que actúan sobre el transformador de potencia desde el exterior y que pueden ser detectadas por sensores puede ser un grupo cerrado o abierto. Por lo tanto, es posible que los datos de sensor representen exclusivamente al menos dos variables del grupo mencionado. Las variables del grupo mencionado tienen preferiblemente en común que actúan sobre el transformador de potencia desde el exterior y provocan así un cambio en las variables físicas dentro del transformador de potencia.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que los segundos datos de sensor representan variables detectadas en el interior del transformador de potencia. Estas variables detectadas se

refieren preferiblemente a variables físicas de componentes del transformador de potencia que están dispuestos dentro del transformador de potencia, en particular dentro de la carcasa del transformador de potencia. Puede tratarse, por ejemplo, de variables físicas del líquido refrigerante, en particular el aceite, variables físicas de los bobinados del lado primario y/o secundario, y/o variables mecánicas que se producen debido a la interacción mecánica entre componentes dentro del transformador de potencia. Por lo tanto, las variables representadas por los segundos datos de sensor son preferiblemente una consecuencia del efecto de las variables representadas por los primeros datos de sensor sobre el transformador de potencia y el comportamiento del sistema del transformador de potencia como tal. Si, por ejemplo, la temperatura exterior está representada por los primeros datos de sensor, la temperatura exterior puede actuar sobre el transformador de potencia y su comportamiento en el sistema puede provocar un cambio en la temperatura del aceite, que forma el líquido refrigerante, por ejemplo. Por lo tanto, la temperatura del aceite puede estar representada por los segundos datos de sensor, ya que se trata de una variable resultante que se produce en el interior del transformador de potencia. Las variables representadas por los segundos datos de sensor pueden detectarse mediante sensores. Esto también se aplica al ejemplo anterior, en el que la temperatura del aceite está representada por los segundos datos de sensor.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que los segundos datos de sensor representan al menos una del siguiente grupo de variables: temperatura del aceite, temperatura del aceite en la parte superior del transformador de potencia, temperatura del aceite en la parte inferior del transformador de potencia, temperatura de bobinado en los bobinados del lado primario, temperatura de bobinado en los bobinados del lado secundario, flujo de calor desde los bobinados del lado primario del transformador de potencia hacia el aceite del transformador de potencia, flujo de calor desde los bobinados del lado secundario del transformador de potencia hacia el aceite del transformador de potencia, y viscosidad del aceite del transformador de potencia. El mencionado grupo de posibles variables físicas puede ser un grupo cerrado o abierto. Por lo tanto, es posible que los segundos datos de sensor representen exclusivamente al menos dos variables del grupo mencionado. Sin embargo, es preferible que los segundos datos de sensor representen exclusivamente al menos una variable del mencionado grupo de variables. Las variables del mencionado grupo tienen preferiblemente en común que están influidas por las variables representadas por los primeros datos de sensor y por el comportamiento del sistema del transformador de potencia.

Para las variables representadas por los datos del primer y segundo sensor, el dispositivo o un sistema con el dispositivo puede presentar un sensor adecuado para cada variable representada y detectada. Para la medición de la temperatura, por ejemplo, el dispositivo o sistema puede presentar uno o más sensores. Para la tensión eléctrica, el dispositivo o sistema puede tener un sensor correspondiente para detectar una tensión eléctrica. Lo mismo se aplica a las demás variables representadas por los datos del primer y segundo sensor. Dos o más sensores pueden estar integrados entre sí. Por ejemplo, un sensor integrado correspondiente puede estar diseñado para detectar una corriente eléctrica, una tensión eléctrica y una potencia eléctrica.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que los primeros y segundos datos de sensor de un conjunto de datos de medición representan cada uno las variables asociadas como una secuencia de valores muestreados registrados periódica y sensorialmente de las variables. Los valores muestreados representan preferiblemente los valores de las variables que se produjeron durante un período de tiempo correspondiente a la ventana de tiempo. Por lo tanto, los primeros y segundos datos de sensor de un conjunto de datos de medición representan cada uno variables del mismo período de tiempo que corresponde a la ventana de tiempo respectiva.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza porque el dispositivo está configurado para que, en cada ventana de tiempo, se genere un conjunto de datos de medición asociado a partir de los datos del primer y segundo sensor, que representan las variables asociadas durante un período de tiempo predeterminado. La duración de cada período de tiempo predeterminado es preferiblemente la misma para cada conjunto de datos de medición y, por lo tanto, para cada ventana de tiempo. Preferiblemente, cada ventana de tiempo tiene la misma duración. Por ejemplo, cada ventana de tiempo puede tener una duración de 24 horas.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el período de tiempo predeterminado es mayor que la mayor constante de tiempo del transformador de potencia. Preferiblemente, el período de tiempo predeterminado es al menos dos veces, en particular al menos diez veces, la constante de tiempo mayor del transformador de potencia. Esto ofrece la ventaja de que la adaptación de los parámetros de modelo, en particular mediante la repetición en grupos de los pasos a) a c), solo es lenta en comparación con la dinámica del transformador de potencia determinada por la constante de tiempo. Esto, a su vez, permite una optimización robusta de los parámetros de modelo con respecto a las variables perturbadoras.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza porque el período de tiempo predeterminado es de al menos dos horas, al menos cuatro horas, al menos ocho horas, al menos dieciséis horas, al menos veinticuatro horas o al menos dos días. En la práctica, se ha observado que el período de tiempo predeterminado para cada ventana de tiempo no debe ser demasiado corto para garantizar solo un ajuste lento de los parámetros de modelo. Sin embargo, un período demasiado largo podría conducir a un ajuste demasiado lento de los parámetros de modelo. Por lo tanto, el período de tiempo predeterminado es preferiblemente de al menos dos,

cuatro, ocho o al menos veinticuatro horas. Sin embargo, también es preferible que el período predeterminado sea inferior a diez días, preferiblemente inferior a cinco días y preferiblemente inferior a cuatro días.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el modelo de simulación se basa en un modelo IEEE Anexo G para el transformador de potencia. Este modelo puede encontrarse en la publicación titulada "IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage-Regulators", disponible en el sitio web www.ieee.org.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el modelo de simulación se basa en un modelo IEC para el transformador de potencia. El modelo IEC está publicado por la Comisión Electrotécnica Internacional (www.iec.ch) y se basa en la norma IEC 60076-7. La versión "Edition 2.0 2018-01", que se titula "Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers" o "Power transformers - Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers", ha demostrado ser ventajosa.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que el dispositivo está diseñado para transmitir una señal de salida que representa el valor de modelo por medio de la interfaz de señal o de otra interfaz. Preferiblemente, la unidad de procesador puede estar configurada para generar la señal de salida. El valor de modelo puede ponerse a disposición de una unidad de nivel superior y/o de un dispositivo de nivel superior a través de la señal de salida. La señal de salida puede enviarse a la unidad o dispositivo respectivo a través de la interfaz de señal o de la otra interfaz de señal. El dispositivo de nivel superior puede ser, por ejemplo, un centro de control para varios transformadores de potencia y dispositivos según el primer aspecto de la invención.

Otra realización ventajosa del dispositivo se caracteriza por el hecho de que la unidad de procesador está configurada para determinar los parámetros de optimización determinados en último lugar para una ventana de tiempo como parámetros finales para la ventana de tiempo respectiva, para determinar parámetros de tendencia por aproximación con la pluralidad de parámetros finales, para comparar los parámetros de tendencia con valores límite predeterminados asociados, y para determinar un primer estado de advertencia para el transformador de potencia si se supera uno de los valores límite. El grupo de pasos a) a c) se repite varias veces para cada ventana de tiempo. Durante la última ejecución del paso c) de las repeticiones, se determinan los parámetros de optimización, que se determinan como parámetros finales para la ventana de tiempo respectiva. La unidad de procesador está configurada, en consecuencia, para este fin. Dado que la unidad de procesador también está configurada para generar varias ventanas de tiempo sucesivas, cada una con datos de medición asociados, también se determina una pluralidad correspondiente de parámetros de terminación basándose en la pluralidad de ventanas de tiempo. La unidad de procesador está configurada para realizar una aproximación basada en esta pluralidad de parámetros de terminación y determinar así parámetros de tendencia. Estos parámetros de tendencia pueden, por ejemplo, representar los parámetros de terminación para ventanas de tiempo futuras. Sin embargo, también pueden representar desviaciones del último parámetro de finalización o un valor medio de los parámetros de finalización en relación con el parámetro de finalización aproximado en el futuro. Además, la unidad de procesador está configurada para comparar los parámetros de tendencia determinados por aproximación con valores límite asociados y predeterminados. Los parámetros de tendencia presentan preferiblemente la misma dimensión que los parámetros de optimización. Los parámetros de tendencia pueden así formar un vector, en donde los valores límite comprenden un valor límite correspondiente para cada entrada en el vector. De este modo, cada uno de los parámetros de tendencia puede compararse con un valor límite predeterminado asociado. La unidad de procesador se configura preferiblemente para este fin. Los parámetros de tendencia y la comparación con los valores límite ofrecen la posibilidad de determinar un estado de advertencia si uno o varios de los parámetros de tendencia superan el valor o los valores límite asociados. Por lo tanto, la unidad de procesador está configurada para determinar un primer estado de advertencia para el transformador de potencia cuando se superan uno o más de los valores límite. Este primer estado de advertencia puede indicar que el transformador de potencia se encontrará en un estado problemático o crítico en el futuro. Por lo tanto, los parámetros de tendencia pueden utilizarse para determinar si el modelo de simulación y, por lo tanto, el comportamiento real del sistema del transformador de potencia podrían cambiar a un estado problemático o crítico en el futuro.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, el problema mencionado se resuelve mediante un sistema que tiene las características de la reivindicación 18. El sistema presenta una pluralidad de dispositivos. Cada uno de los dispositivos está diseñado según el primer aspecto de la invención y/o una de las realizaciones ventajosas asociadas. Para cada uno de los dispositivos del sistema, se hace referencia, por lo tanto, a las explicaciones ventajosas, características preferidas, efectos técnicos y/o ventajas de manera análoga a como ya se ha explicado con respecto al primer aspecto de la invención o a una de las realizaciones ventajosas asociadas.

El sistema según el segundo aspecto de la invención está diseñado para comparar los parámetros de modelo determinados por los dispositivos entre sí y determinar así las diferencias de los parámetros de modelo en cada caso. El sistema también está diseñado para comparar los parámetros de diferencia de modelo en cada caso con valores límite predeterminados asociados y, si se supera uno de los valores límite de los parámetros de modelo que causan la superación, identificar el transformador de potencia asociado y determinar un segundo

estado de advertencia para el transformador de potencia identificado.

Preferiblemente, el sistema dispone también de una pluralidad de transformadores de potencia. Uno de los dispositivos mencionados del sistema se asigna a cada transformador de potencia, de modo que el dispositivo asignado a cada transformador de potencia está diseñado para recibir los primeros y segundos datos de sensor a través de una señal de medición que, en cada caso, representan al menos una variable detectada por sensores en o sobre el transformador de potencia respectivamente asignado. También es preferible que los transformadores de potencia sean del mismo tipo y/o de idéntico diseño. Esto hace posible que el comportamiento del sistema de los transformadores de potencia sea comparable entre sí. Los modelos de simulación de los dispositivos se ajustan mediante los respectivos parámetros de modelo asociados de tal manera que puedan simular el comportamiento del sistema de los transformadores de potencia respectivamente asignados. Por lo tanto, la comparación de los parámetros de modelo de los múltiples dispositivos puede conducir a un resultado análogo a una comparación del comportamiento del sistema de los múltiples transformadores de potencia del sistema. Las diferencias de los parámetros de modelo pueden utilizarse, por lo tanto, para determinar si el comportamiento del sistema de los transformadores de potencia difiere en gran medida. Si uno de los transformadores de potencia presenta un comportamiento del sistema muy desviado, en particular en comparación con un valor medio de los demás transformadores de potencia, los parámetros de modelo de simulación de este transformador de potencia desviado también se desviarán de los demás parámetros de modelo de los demás dispositivos con mayores diferencias de parámetros de modelo. Si las diferencias de los parámetros de modelo superan los valores límite predeterminados asociados, esto es un indicio de que los parámetros de modelo que causan la superación se asignan a un modelo de simulación de un dispositivo que recibe una señal de medición de un transformador de potencia que se encuentra en un estado problemático o crítico. Por lo tanto, los parámetros de modelo pueden utilizarse para identificar un transformador de potencia para el que debe determinarse un segundo estado de advertencia. Por ello, la unidad de procesador está configurada preferiblemente para determinar los parámetros de modelo para un modelo de simulación que causan que se superen los valores límite asociados y, basándose en los parámetros de modelo y el modelo de simulación asociado, para identificar el dispositivo asociado y el transformador de potencia asociado desde el que el dispositivo identificado recibe la señal de medición que representa los primeros y segundos datos de sensor que, a su vez, representan cada uno variables detectadas por el sensor del transformador de potencia identificado. Preferiblemente, el sistema también está diseñado para determinar un segundo estado de advertencia para este transformador de potencia identificado. Una vez determinado el segundo estado de advertencia, pueden tomarse medidas de seguimiento para comprobar el transformador de potencia identificado y, si es necesario, iniciar medidas de reparación.

Otras características, ventajas y posibles aplicaciones de la presente invención se muestran en la siguiente descripción de las realizaciones y en las figuras. Todas las características descritas y/o ilustradas forman el objeto de la invención en sí mismas y en cualquier combinación, independientemente de su composición en las reivindicaciones individuales o sus referencias. En las figuras, los signos de referencia idénticos también representan objetos idénticos o similares.

La Figura 1 muestra una realización ventajosa de un sistema con un transformador de potencia y una realización ventajosa de un dispositivo en una representación esquemática.

La Figura 2 muestra un grupo de ejemplo de los pasos a) a c) en una representación esquemática.

En la Figura 1, se muestra una realización ventajosa de un sistema 1. El sistema 1 comprende un transformador 10 de potencia y un dispositivo 2.

Si a continuación se explican características ventajosas, efectos técnicos y/o ventajas del dispositivo 2, estas explicaciones también pueden aplicarse a una realización del dispositivo 2 que no forme parte del sistema 1 y/o a un dispositivo 2 que forme parte del sistema 1. El transformador 10 de potencia puede formar una parte adicional del sistema 1.

El transformador 10 de potencia del sistema 1 presenta una carcasa 38 en la que están dispuestos un paquete 20 de bobinas del lado primario y otro paquete 28 de bobinas del lado secundario del transformador 10 de potencia. El paquete 20 de bobinas del lado primario está acoplado electromagnéticamente al paquete 28 de bobinas del lado secundario a través de un núcleo, en particular un núcleo toroidal. Además, el transformador 10 de potencia presenta conexiones 18 en el lado primario, que forman una conexión eléctrica con el paquete 20 de bobinas del lado primario. Del mismo modo, se prevén conexiones 30 para el lado secundario, que están conectadas eléctricamente al paquete 28 de bobinas del lado secundario. Cada uno de los dos paquetes 20, 28 de bobinas presenta un gran número de bobinados. Durante el funcionamiento del transformador 10 de potencia, se produce una caída de tensión entre las conexiones 18 del lado primario, lo que, a su vez, provoca una corriente a través de las conexiones 18 y los bobinados del paquete 20 de bobinas del lado primario. Como resultado, se absorbe energía eléctrica en el lado primario. En el lado secundario, también cae una tensión entre las conexiones 30 y fluye una corriente a través de las conexiones 30 y a través de los bobinados del paquete 28 de bobinas en el lado secundario. Por lo tanto, se pone a disposición energía eléctrica en el lado secundario. Por lo tanto, el transformador 10 de potencia sirve para transmitir y convertir la energía eléctrica

del lado primario al lado secundario. Esto genera calor que puede ser absorbido por un líquido 40 refrigerante, que preferiblemente está formado por un aceite. El líquido 40 refrigerante también está contenido en el interior de la carcasa 38 y puede absorber el calor generado en los bobinados de los paquetes 20, 28 de bobinas y conducirlo a un enfriador 26. El enfriador 26 es preferiblemente un enfriador de aceite para enfriar el aceite, que preferiblemente forma el líquido 40 refrigerante.

El líquido 40 refrigerante se calienta mediante un flujo de calor entre los bobinados de los paquetes 20, 28 de bobinas del lado primario o secundario. Por lo tanto, en particular en los bobinados del lado primario, puede surgir un punto especialmente caliente en el líquido 40 refrigerante, donde el líquido refrigerante está especialmente caliente. Por lo tanto, es preferible colocar un sensor 22 de temperatura de bobinado sobre o en un bobinado para determinar la temperatura sobre o en un bobinado. Esta temperatura también se denomina temperatura del punto caliente. El sensor 22 de temperatura del bobinado es preferiblemente un sensor de temperatura diseñado para detectar una temperatura en un bobinado. Como puede verse esquemáticamente y a modo de ejemplo en la Figura 1, el sensor 22 de temperatura del bobinado puede, por ejemplo, fijarse a un bobinado del paquete 20 de bobinas en el lado primario. El sensor 22 de temperatura del bobinado puede conectarse a una unidad 32 de detección del transformador 10 de potencia a través de una conexión de señal. Otros sensores del transformador 10 de potencia están preferiblemente acoplados a esta unidad 32 de detección. Como puede verse en la Figura 1 a modo de ejemplo, el transformador 10 de potencia dispone también y preferiblemente de un sensor 24 de temperatura del aceite. El sensor 24 de temperatura del aceite está dispuesto dentro de la carcasa 38 del transformador 10 de potencia, preferiblemente de tal manera que el sensor 24 de temperatura del aceite detecta la temperatura del líquido 40 refrigerante en una región superior en el interior de la carcasa 38. Así, el sensor 24 de temperatura del aceite puede, por ejemplo, estar dispuesto de tal manera que detecte la denominada temperatura superior del aceite. El sensor 24 de temperatura del aceite está acoplado a la unidad 32 de detección a través de una conexión de señal asociada. Además, es preferible que el transformador 10 de potencia disponga de un sensor 14 de temperatura ambiente. Para ello, el sensor 14 de temperatura ambiente no tiene que estar necesariamente fijado a la carcasa 38 del transformador 10 de potencia, aunque esto es posible. Más bien, es preferible que el sensor 14 de temperatura ambiente forme parte del transformador 10 de potencia sin tener contacto térmico con la carcasa 38. De este modo, el sensor 14 de temperatura ambiente puede, al menos, estar asociado al transformador 10 de potencia y dispuesto en las proximidades de la carcasa 38. El sensor 14 de temperatura ambiente está acoplado a la unidad 32 de detección a través de una conexión de señal asociada. Preferiblemente, el transformador 10 de potencia también presenta un sensor 16 de corriente, que circula a través de una conexión 18 del transformador 10 de potencia para detectar una corriente. En la Figura 1, por ejemplo, el sensor 16 de corriente está dispuesto en una de las conexiones 18 del lado primario para detectar la corriente a través de las conexiones 18. El sensor 16 de corriente está acoplado a la unidad 32 de detección a través de una conexión de señal asociada. El sensor 14 de temperatura ambiente y el sensor 16 de corriente detectan cada uno variables físicas o propiedades que actúan externamente sobre el transformador 10 de potencia. El sensor 22 de temperatura del bobinado y el sensor 24 de temperatura del aceite detectan cada uno variables o propiedades físicas que existen dentro del transformador 10 de potencia, en particular dentro de la carcasa 38 del transformador 10 de potencia. Por lo tanto, se prevé que, por ejemplo, el sensor 14 de temperatura ambiente y el sensor 16 de corriente generen los primeros datos de sensor y que el sensor 22 de temperatura del bobinado y el sensor 24 de temperatura del aceite generen los segundos datos de sensor. Los datos de los sensores 14, 16, 22, 24 pueden transmitirse a la unidad de detección a través de las respectivas conexiones de señal. La unidad 32 de detección puede estar configurada para generar una señal de medición que represente los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor. La unidad 32 de detección puede transmitir la señal de medición a una interfaz 4 de señal del dispositivo 2 a través de la conexión 36 de señal. De este modo, el dispositivo 2 recibe los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor, cada uno de los cuales representa al menos una variable detectada en el transformador 10 de potencia o por el mismo.

Aunque los transformadores de potencia 10 con un gran número de sensores son deseables, en la práctica no suelen instalarse todos los sensores teóricamente disponibles y posibles. En particular, puede ocurrir que un transformador 10 de potencia no disponga de un sensor 22 de temperatura de los bobinados. Este es el caso en la Figura 1, por ejemplo, para los bobinados del paquete 28 de bobinas en el lado 30 secundario. Para una explicación más detallada, se supone a modo de ejemplo que el transformador 10 de potencia representado en la Figura 1 no dispone de un sensor 22 de temperatura de bobinado, aunque la temperatura de los bobinados es de especial interés.

Partiendo del supuesto de que el transformador 10 de potencia descrito con anterioridad no dispone del sensor 22 de temperatura de bobinado, cabe señalar que los segundos datos de sensor no pueden representar la temperatura de los bobinados. Por ejemplo, los segundos datos de sensor pueden ser alimentados exclusivamente por el sensor 24 de temperatura del aceite. En otras palabras, los segundos datos de sensor pueden, por ejemplo, representar la temperatura del aceite del líquido 40 refrigerante en forma de aceite en una región superior e interior de la carcasa 38. No obstante, para obtener información sobre la temperatura en los bobinados de, por ejemplo, el paquete 20 de bobinas en el lado primario, el dispositivo 2 está diseñado, en términos simplificados, para determinar un denominado valor de modelo, que representa, por ejemplo, la temperatura de un bobinado del paquete 20 de bobinas en el lado primario, aunque la temperatura no se detecte

mediante sensores.

El dispositivo 2 presenta una interfaz 4 de señales, una unidad 6 de procesador y una unidad 8 de memoria. La unidad 8 de memoria es preferiblemente una unidad de memoria para almacenar datos. La unidad 6 de procesador está diseñada para realizar operaciones matemáticas y/o procesamiento de señales. La unidad 6 de procesador puede comprender un microprocesador. La interfaz 4 de señal está diseñada para recibir la señal de medición, que representa los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor. La interfaz 4 de señal puede recibir esta señal de medición desde la unidad 32 de detección y a través de la conexión 36 de señal. Preferiblemente, la interfaz 4 de señal está acoplada a la unidad 6 de procesador de tal manera que los primeros datos de sensor y los segundos datos de sensor se ponen a disposición de la unidad 6 de procesador. La interfaz 4 de señal y la unidad 6 de procesador pueden estar formadas integralmente.

La unidad 6 de procesador está configurada para generar un conjunto de datos de medición en ventanas de tiempo sucesivas a partir de los primeros y segundos datos de sensor recibidos en la ventana de tiempo respectiva. La duración de una ventana de tiempo es preferiblemente de 24 horas. También es preferible que cada cuatro horas se genere una nueva ventana de tiempo con el conjunto de datos de medición asociado. Por lo tanto, los registros de datos de medición asignados a una ventana de tiempo pueden comprender primeros y segundos datos de sensor parcialmente idénticos. Además, las ventanas de tiempo del ejemplo mencionado pueden solaparse dieciséis horas en cada caso si se consideran dos ventanas de tiempo consecutivas.

En la unidad 8 de memoria, se almacena un modelo matemático de simulación del transformador 10 de potencia. La unidad 6 de procesador está configurada para cargar y ejecutar el modelo de simulación. El modelo de simulación está diseñado de tal manera que el modelo de simulación representa un comportamiento de transferencia del transformador 10 de potencia. Dado que, en el caso del modelo de simulación, se trata de un modelo matemático, los datos de entrada pueden ser procesados por el modelo de simulación durante la ejecución, de modo que los datos de salida son generados por el procesamiento. Por lo tanto, los datos de salida dependen de los datos de entrada. Sin embargo, el comportamiento de transferencia del modelo de simulación puede modificarse, concretamente a través de los parámetros de modelo asociados. Por lo tanto, los datos de salida dependen tanto de los parámetros de modelo de simulación como de los datos de entrada con los que se ejecuta el modelo de simulación. La unidad 6 de procesador está diseñada para ejecutar el modelo de simulación con los datos de entrada y los parámetros de modelo asociados para el modelo de simulación, generando así datos de salida. Los parámetros de modelo, al menos como parámetros de inicio para ejecutar el modelo de simulación, pueden almacenarse en la unidad 8 de memoria y/o cargarse mediante la unidad 6 de procesador. El modelo de simulación también está diseñado no solo para generar los datos de salida durante la ejecución, sino también para generar un valor de modelo, a saber, para una temperatura dentro del transformador 10 de potencia en función de los datos de entrada y los parámetros de modelo utilizados durante la ejecución. Por lo tanto, el valor de modelo también puede ser el resultado de la ejecución del modelo de simulación. La unidad 6 de procesador está diseñada para ejecutar el modelo de simulación en consecuencia con el fin de determinar el valor de modelo. Por ejemplo, el modelo de simulación puede diseñarse de forma que el valor de modelo represente la temperatura en un bobinado de uno de los paquetes 20, 28 de bobinas. Preferiblemente, se prevé que el modelo de simulación se diseñe de forma que el valor de modelo represente la temperatura en un bobinado del paquete 20 de bobinas del lado primario 20. Dependiendo de la configuración del modelo de simulación y, preferiblemente, también en función del requisito sobre qué temperatura en el transformador 10 de potencia debe determinarse utilizando el modelo de simulación, el valor de modelo también puede representar una temperatura diferente dentro del transformador 10 de potencia. Por ejemplo, el valor de modelo puede representar la temperatura del aceite superior o una temperatura del líquido 40 refrigerante en el refrigerador 26.

Sin embargo, dado que el valor de modelo determinado mediante el modelo de simulación depende no solo de los datos de entrada, sino también de los parámetros de modelo de simulación, es deseable que los parámetros de modelo se seleccionen en forma especialmente ventajosa para que el modelo de simulación mapee el comportamiento de transmisión del transformador 10 de potencia en forma especialmente precisa. Por lo tanto, está previsto que un grupo 12 de pasos a), b) y c) mostrados en la Figura 2, por ejemplo, se lleven a cabo repetidamente en grupos con el fin de determinar parámetros de modelo para el modelo de simulación que permitan una simulación particularmente precisa del transformador 10 de potencia con el modelo de simulación. En la repetición en grupos, cada grupo 12 de pasos a) a c) se ejecuta completamente antes de que el mismo grupo 12 de pasos a) a c) se ejecute de nuevo y, por lo tanto, repetidamente. En la repetición por grupos, los pasos a) a c) del respectivo grupo 12 no se ejecutan en paralelo, sino uno tras otro. Tampoco se ejecutan los pasos de los grupos 12 en paralelo. Por lo tanto, los grupos 12 se ejecutan uno tras otro y los pasos a) a c) se ejecutan uno tras otro en cada grupo 12. Esto da lugar a una repetición por grupos.

La unidad 6 de procesador está configurada para determinar los datos de salida en el paso a) ejecutando el modelo de simulación con datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva, y parámetros de modelo que se determinan a partir de datos de referencia predeterminados cuando el modelo de simulación se ejecuta por primera vez para la ventana de tiempo respectiva y, en caso contrario, a partir de los parámetros de optimización determinados en último lugar en cada caso. Los parámetros de referencia pueden ser parámetros de partida

para los parámetros de modelo. Esto permite ejecutar el modelo de simulación. Los datos de referencia pueden almacenarse en la unidad 8 de memoria y/o cargarse desde la unidad 8 de memoria mediante la unidad de procesador.

En el ejemplo mostrado en la Figura 1, los primeros datos de sensor están formados por los datos de sensor 14 de temperatura ambiente y del sensor 16 de corriente. En este caso, los primeros datos de sensor pueden representar, por lo tanto, la temperatura ambiente del transformador 10 de potencia y la corriente en el lado primario del transformador 10 de potencia. Al ejecutar el modelo de simulación con los primeros datos de sensor como datos de entrada y los parámetros de referencia como parámetros de modelo, se generan los datos de salida. El modelo de simulación puede diseñarse de tal manera que los datos de salida representen variables del transformador 10 de potencia simulado que correspondan a las variables registradas por los segundos datos de sensor. En el ejemplo de la Figura 1, la ejecución del modelo de simulación puede, por lo tanto, generar datos de salida que representen una temperatura de aceite superior simulada para el refrigerante 40 en el interior de la carcasa 38 del transformador 10 de potencia.

De acuerdo con el paso b), se prevé que se determine un valor diana por medio de la unidad 6 de procesador, que comprende al menos un error cuadrático, ponderado con un primer factor de ponderación, entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida determinados previamente en el paso a). Con referencia al ejemplo mostrado en la Figura 1, los segundos datos de sensor representan la temperatura superior del aceite registrada por el sensor 24 de temperatura del aceite. Los datos de salida determinados en el paso a) representan una temperatura superior del aceite simulada para el líquido 40 refrigerante en el interior de la carcasa 38 del transformador 10 de potencia. El error entre los segundos datos de sensor y los datos de salida puede ser tanto un error positivo como negativo, dependiendo del valor de muestra respectivo. El error cuadrático evita que el signo matemático del error sea importante. El primer factor de ponderación puede seleccionarse para calcular el valor diana en consecuencia.

A continuación se muestra una función matemática de ejemplo para determinar el valor diana:

$$E(p) = \int c_a(m(t,p) - s(t,p))^2 dt + \sum c_d(p_i - p_{i,pre})^2 + \sum c_r(p_i - p_{i,o})^2$$

El valor diana $E(p)$ depende de tres componentes. El primer componente con el primer signo integral representa el error cuadrático entre los segundos datos de sensor m y los datos de salida s determinados en el paso a), ponderado con el primer factor de ponderación c_a . Cada uno de los otros dos componentes del valor diana comienza con un signo de suma. Se tiene en cuenta un segundo factor de ponderación c_d para el segundo componente y un tercer factor de ponderación c_r para el tercer componente.

Se prevé preferiblemente que el dispositivo 2 esté configurado para determinar el valor diana E en el paso b) a partir de la ejecución para la segunda ventana diana en cada caso de tal manera que el valor diana E comprenda también una diferencia cuadrática $(p_i - p_{i,pre})^2$ ponderada por el segundo factor de ponderación c_d entre los últimos parámetros de modelo determinados p_i y los últimos parámetros de optimización $p_{i,pre}$ para la ventana de tiempo anterior. El segundo componente del valor diana E puede contribuir a evitar un cambio rápido entre los parámetros de modelo mediante la selección del segundo factor de ponderación c_d . Esto hace que el modelo de simulación sea robusto frente a variables perturbadoras externas.

Además, se prevé preferiblemente que el dispositivo 2 esté configurado para determinar el valor diana E en el paso b) de tal manera que el valor diana E también comprenda una diferencia cuadrática $(p_i - p_{i,o})^2$ entre los últimos parámetros de modelo determinados p_i y los parámetros de referencia $p_{i,o}$ ponderados por el tercer factor de ponderación c_r . El tercer componente del valor diana E puede elegirse para que sea menor en relación con los factores de ponderación primero y segundo c_a y c_d mediante una elección adecuada del tercer factor de ponderación c_r a fin de dar a los demás componentes un peso mayor. Sin embargo, una elección adecuada del tercer factor de ponderación c_r puede evitar una gran desviación entre los parámetros de referencia iniciales $p_{i,o}$ y los parámetros actuales del modelo p_i . Se supone que los parámetros de referencia iniciales $p_{i,o}$ permiten, al menos aproximadamente, una simulación suficientemente buena del comportamiento de transmisión del transformador 10 de potencia con el modelo de simulación.

Además, la unidad 6 de procesador está configurada para determinar los parámetros de optimización en el paso c) como nuevos parámetros de modelo para el modelo de simulación basado en el al menos un valor diana determinado en la ventana de tiempo respectiva del paso b). Por ejemplo, la unidad 6 de procesador puede estar configurada para ejecutar un procedimiento de optimización con el fin de determinar los parámetros de optimización. Para el proceso de optimización, tanto el valor diana determinado en los pasos anteriores b) como los parámetros de optimización determinados en los pasos anteriores c) se utilizan para determinar nuevos parámetros de optimización como parámetros de modelo para el modelo de simulación para la

determinación actual respectiva de los parámetros de optimización basados en el proceso de optimización, que causan un valor diana más bajo en el siguiente paso b). De este modo, el procedimiento de optimización puede diseñarse de tal manera que el valor diana en el paso c) se mantenga lo más pequeño posible y/o se minimice. Esto tiene sentido porque el valor diana incluye errores cuadráticos ponderados o diferencias cuadráticas, que deben mantenerse lo más pequeños posible. Los procedimientos de optimización son generalmente conocidos en el estado de la técnica y pueden utilizarse al ejecutar el grupo 12 de pasos a) a c). Preferiblemente, se prevé que la unidad 6 de procesador esté configurada para repetir el grupo 12 de pasos a) a c) entre 10 y 1000 veces. En la práctica, se ha observado que esto permite determinar los parámetros de optimización como nuevos parámetros de modelo durante la última ejecución de la etapa c), lo que permite una simulación particularmente ventajosa del comportamiento de transmisión del transformador 10 de potencia. Además, dichos parámetros de modelo pueden utilizarse para determinar un valor de modelo para la temperatura en el interior del transformador 10 de potencia mediante el modelo de simulación, que preferiblemente no se registra mediante sensores. Por lo tanto, la unidad 6 de procesador está configurada para determinar el valor de modelo para cada ventana de tiempo ejecutando el modelo de simulación con datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asociados con la ventana de tiempo respectiva, y los parámetros de modelo determinados para la ventana de tiempo respectiva a partir de los parámetros de optimización determinados más recientemente. Esto permite determinar un valor de modelo especialmente preciso para cada ventana de tiempo que, por lo tanto, también mapea o representa la temperatura dentro del transformador 10 de potencia en forma especialmente precisa. Esta temperatura puede ser, por ejemplo, la temperatura en uno de los bobinados de uno de los paquetes 20, 28 de bobinas. Preferiblemente, el dispositivo 2 dispone de otra interfaz 34 acoplada a la unidad 6 de procesador. Además, el dispositivo 2 puede diseñarse de manera que transmita una señal de salida por medio de la interfaz 34 adicional, que representa el valor de modelo, en particular el último valor de modelo determinado.

Además, debe tenerse en cuenta que “que comprende” no excluye otros elementos o pasos y “uno” o “una” no excluye una pluralidad. Además, debe tenerse en cuenta que las características descritas con referencia a una de las realizaciones anteriores también pueden utilizarse en combinación con otras características de otras realizaciones descritas con anterioridad. Los signos de referencia en las reivindicaciones no deben considerarse una limitación.

Lista de signos de referencia

30	1	Sistema
	2	Dispositivo
	4	Interfaz de señal
	6	Unidad de procesador
	8	Unidad de memoria
35	10	Transformador de potencia
	12	Grupo
	14	Sensor de temperatura ambiente
	16	Sensor de corriente
	18	Conexiones lado primario
40	20	Paquete de bobinas del lado primario
	22	Sensor de temperatura del bobinado
	24	Sensor de temperatura del aceite
	26	Enfriador
	28	Paquete de bobinas del lado secundario
45	30	Conexiones del lado secundario
	32	Unidad de detección
	34	Interfaces de señal adicionales
	36	Conexión de señal

38	Carcasa
40	Refrigerante

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (2), que presenta:

una interfaz (4) de señal,

una unidad (6) de procesador y

5 una unidad (8) de memoria,

en donde la interfaz (4) de señal está configurada para recibir una señal de medición que representa primeros datos de sensor y segundos datos de sensor,

en donde los primeros y segundos datos de sensor representan cada uno al menos una variable detectada en o dentro de un transformador (10) de potencia,

10 en donde la unidad (6) de procesador está configurada para generar un conjunto de datos de medición en cada ventana de tiempo sucesiva a partir de los primeros y segundos datos de sensor recibidos en la ventana de tiempo respectiva, en donde un modelo de simulación del transformador (10) de potencia está almacenado en la unidad (8) de memoria, que mapea un comportamiento de transmisión de datos de entrada a datos de salida en función de los parámetros de modelo del modelo de simulación,

15 en donde la unidad (6) de procesador está configurada para ejecutar repetidamente el siguiente grupo (12) de pasos a) a c) en grupos para cada ventana de tiempo:

20 a) determinar los datos de salida ejecutando el modelo de simulación con datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asociados a la ventana de tiempo respectiva, y parámetros de modelo que se determinan a partir de parámetros de referencia predeterminados cuando el modelo de simulación se ejecuta por primera vez para la ventana de tiempo respectiva y, en caso contrario, a partir de los parámetros de optimización determinados en último lugar en cada caso,

25 b) determinar un valor diana que comprenda al menos un error cuadrático, ponderado con un primer factor de ponderación, entre los segundos datos de sensor del conjunto de datos de medición asignados a la ventana de tiempo respectiva y los datos de salida determinados previamente, y

c) determinar parámetros de optimización como nuevos parámetros de modelo para el modelo de simulación basándose en el al menos un valor diana determinado en la ventana de tiempo respectiva,

en donde el modelo de simulación también mapea un valor de modelo para una temperatura dentro del transformador (10) de potencia en función de los datos de entrada y los parámetros de modelo, y

30 en donde la unidad (6) de procesador está configurada para determinar el valor de modelo para cada ventana de tiempo ejecutando el modelo de simulación con datos de entrada determinados a partir de los primeros datos de sensor del conjunto de datos de medición asociados con la ventana de tiempo respectiva y los parámetros de modelo determinados para la ventana de tiempo respectiva a partir de los parámetros de optimización determinados, respectivamente, más recientemente.

35 2. Dispositivo (2) de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque la temperatura del transformador (10) de potencia mapeada por el valor de modelo comprende o es una temperatura de punto caliente o una temperatura de aceite superior o una temperatura de aceite inferior del transformador (10) de potencia.

40 3. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el número de repeticiones en grupos del grupo (12) de pasos a) a c) está comprendido entre 10 y 1000.

45 4. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo (2) está configurado para determinar el valor diana en el paso b) a partir de la ejecución para la segunda ventana de tiempo en cada caso de tal manera que el valor diana comprende también una diferencia cuadrática, ponderada por un segundo factor de ponderación, entre los últimos parámetros de modelo determinados y los parámetros de optimización determinados en último lugar para la ventana de tiempo anterior.

5. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo (2) está configurado para determinar el valor diana en el paso b) de tal manera que el valor diana comprende también una diferencia cuadrática, ponderada por un tercer factor de ponderación, entre los últimos parámetros de modelo determinados y los parámetros de referencia.

50 6. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los primeros datos de sensor representan variables que actúan externamente sobre el transformador (10) de potencia y que

son detectadas por sensores.

7. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los primeros datos de sensor representan al menos dos variables del siguiente grupo (12) de variables: corriente eléctrica en el primario del transformador (10) de potencia, corriente eléctrica en el secundario del transformador (10) de potencia, potencia eléctrica en el lado primario del transformador (10) de potencia, potencia eléctrica en el lado secundario del transformador (10) de potencia, temperatura (14) ambiente en el lado exterior del transformador (10) de potencia, potencia de radiación solar en el lado exterior del transformador (10) de potencia y velocidad del viento en el lado exterior del transformador (10) de potencia.
8. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los segundos datos de sensor representan variables detectadas por sensores situados en el interior del transformador (10) de potencia.
9. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los segundos datos de sensor representan al menos una variable del siguiente grupo (12) de variables: temperatura del aceite, temperatura del aceite en la parte superior del transformador (10) de potencia, temperatura del aceite en la parte inferior del transformador (10) de potencia, temperatura de los bobinados del lado primario, temperatura de los bobinados del lado secundario, flujo de calor de los bobinados del lado primario del transformador (10) de potencia al aceite del transformador (10) de potencia, flujo de calor de los bobinados del lado secundario del transformador (10) de potencia al aceite del transformador (10) de potencia, y viscosidad del aceite del transformador (10) de potencia.
10. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los primeros y segundos datos de sensor de un conjunto de datos de medición representan cada uno las variables asociadas como una secuencia de valores muestreados de las variables registrados periódicamente y por sensores.
11. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo (2) está configurado para que, en cada ventana de tiempo, se genere un conjunto de datos de medición asociado a partir de los primeros y segundos datos de sensor que representan las variables asociadas a lo largo de un período de tiempo predeterminado.
12. Dispositivo (2) de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque el período de tiempo predeterminado es mayor que la constante de tiempo mayor del transformador (10) de potencia.
13. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 y 12 anteriores, caracterizado porque el período de tiempo predeterminado es de al menos dos horas, al menos cuatro horas, al menos ocho horas, al menos dieciséis horas, al menos veinticuatro horas o al menos dos días.
14. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el modelo de simulación se basa en un modelo IEEE Anexo G para el transformador (10) de potencia.
15. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13 anteriores, caracterizado porque el modelo de simulación se basa en un modelo IEC basado en la norma IEC 60076-7 Edición 2.0 2018-01 para el transformador (10) de potencia.
16. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo (2) está diseñado para transmitir una señal de salida que representa el valor de modelo mediante la interfaz (4) de señal u otra interfaz (34).
17. Dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la unidad (6) de procesador está configurada para determinar los parámetros de optimización determinados más recientemente para una ventana de tiempo como parámetros finales para la ventana de tiempo respectiva, para determinar parámetros de tendencia por aproximación con la pluralidad de parámetros finales, para comparar los parámetros de tendencia con valores límite predeterminados asociados, y para determinar un primer estado de advertencia para el transformador (10) de potencia si se supera uno de los valores límite.
18. Sistema (1), que presenta:
 - una pluralidad de dispositivos (2) diseñados cada uno según el dispositivo (2) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,
 - en donde el sistema (1) está diseñado para comparar los parámetros de modelo determinados respectivamente por los dispositivos (2) entre sí y determinar así las diferencias de los parámetros de modelo en cada caso, y
 - en donde el sistema (1) está diseñado para comparar las diferencias de los parámetros de modelo en cada caso con valores límite predeterminados asociados y, si se supera uno de los valores límite, identificar los parámetros de modelo que causan la superación y el transformador (10) de potencia asociado, y determinar

un segundo estado de advertencia para el transformador (10) de potencia identificado.

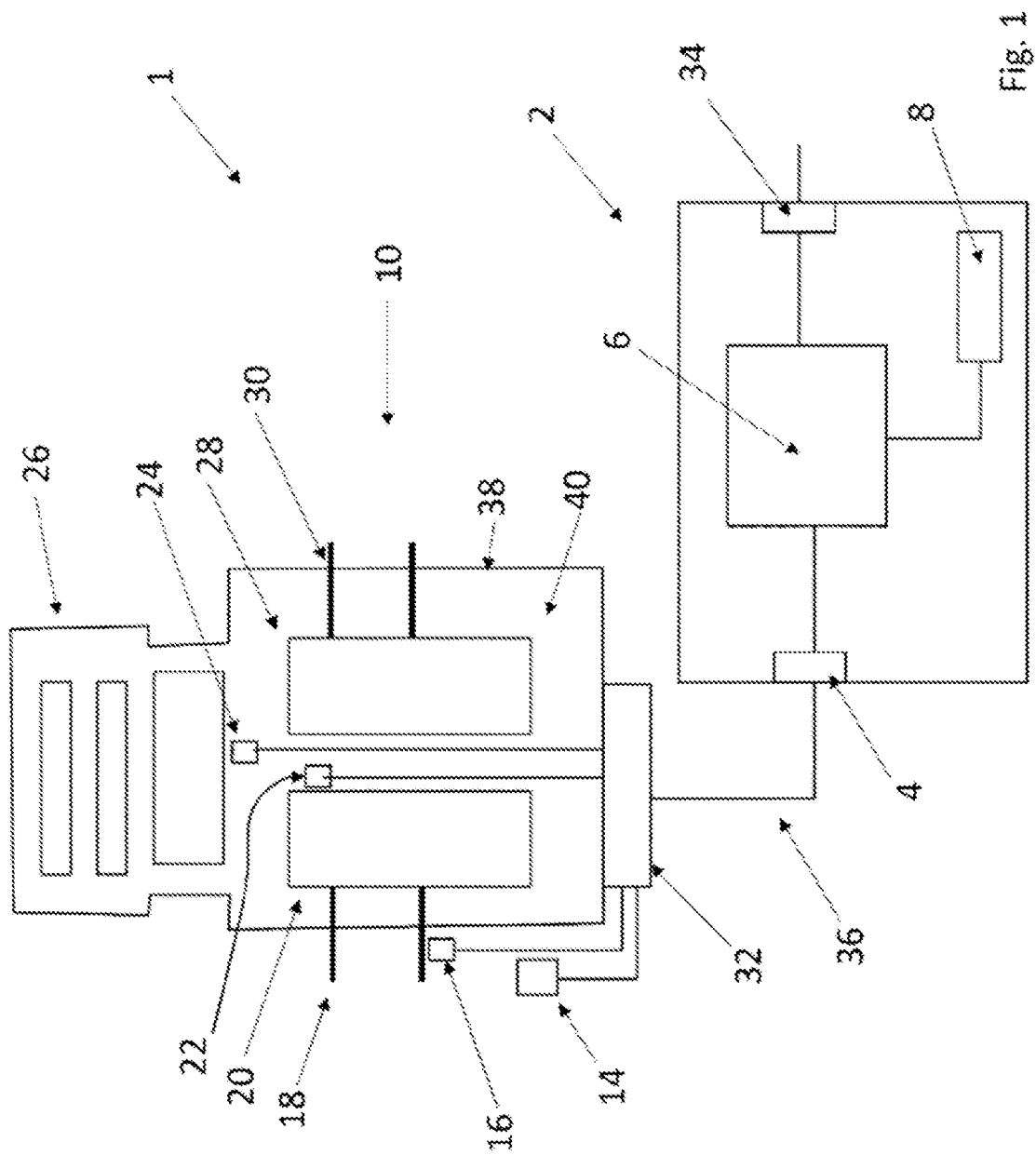


Fig. 1

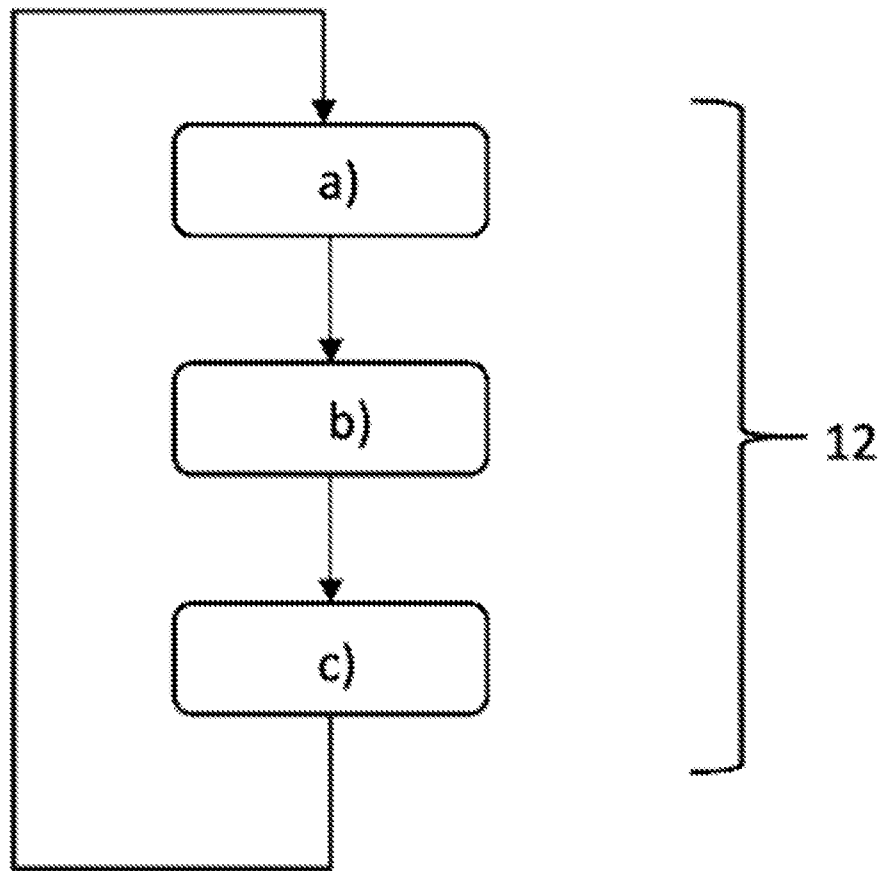


Fig. 2