



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 354 021**

51 Int. Cl.:

**H02H 6/00** (2006.01)

**H02H 7/04** (2006.01)

**G01R 31/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01270775 .8**

96 Fecha de presentación : **14.12.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1350292**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.10.2003**

54 Título: **Aparato y método de diagnóstico.**

30 Prioridad: **15.12.2000 US 255424 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.03.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.03.2011**

73 Titular/es: **ABB T & D TECHNOLOGY Ltd.**  
**Affolternstrasse 44, P.O. Box 8131**  
**8050 Zurich, CH**  
**ABB TECHNOLOGY AG.**

72 Inventor/es: **Stenestam, Bengt-Olof**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 354 021 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****DIAGNÓSTICO DE CONDICIONES****CAMPO TÉCNICO**

5 La presente invención se refiere de forma general a dispositivos eléctricos inductivos, tales como, transformadores y reactores de energía, y en particular a un método y un aparato para diagnosticar las condiciones de dispositivos eléctricos inductivos.

**ANTECEDENTES**

10 Un dispositivo eléctrico inductivo, tal como, un transformador de potencia, usado por servicios públicos, tiene típicamente sus arrollamientos de potencia sumergidos en un refrigerante fluido, normalmente aceite, dentro de un tanque de transformador. Durante el funcionamiento, los arrollamientos y un núcleo, alrededor del que se devanan los arrollamientos, se calientan y calientan de esta manera el fluido circundante. En general, el fluido se enfría a su vez mediante una serie de dispositivos de enfriamiento proporcionados fuera de, pero en conexión con, el transformador. Los dispositivos de enfriamiento están provistos típicamente de diferentes ventiladores para enfriar un flujo de aceite del transformador. Tras el calentamiento, el fluido se eleva hacia arriba hasta la parte superior del tanque que contiene el fluido. Las fracciones calentadas del fluido, extraídas de la parte superior del tanque de enfrían después mediante los dispositivos de enfriamiento y regresan a la parte inferior del tanque de transformador. En consecuencia, se consigue un enfriamiento del fluido e indirectamente por lo tanto de los arrollamientos de potencia y del núcleo.

20 Una supervisión de la condición de un dispositivo eléctrico inductivo es beneficiosa para un funcionamiento fiable y eficiente. En particular, para un transformador las temperaturas de los arrollamientos y del fluido de enfriamiento necesitan seguirse de forma precisa. Pueden suceder accidentes serios, que lleven posiblemente a la destrucción de todo o parte del transformador o una reducción de su vida útil, si la temperatura de los arrollamientos y/o del fluido aumenta por encima de ciertos límites. Por lo tanto, el control de la temperatura del fluido y/o de los arrollamientos es una medida de seguridad común cuando se operan transformadores de energía.

30 Existen varios métodos para obtener la temperatura de los arrollamientos y/o del fluido en la técnica anterior, que se basan bien sea en simulaciones, cálculos o medidas directas. En su forma más simple, una simulación de la temperatura de arrollamiento se realiza influenciando una lectura de termómetro en una cantidad proporcional a la corriente del arrollamiento. Un serpentín del calentador, o medios similares, se disponen normalmente en conexión con un termómetro en el fluido. El serpentín del calentador se controla a su vez mediante un transformador de corriente, que le proporciona al serpentín del calentador una corriente proporcional a la corriente del arrollamiento.

35 En la solicitud de patente internacional WO 99/60682 se describe un método para determinar temperaturas, entre otras temperaturas medias y locales, de un transformador enfriado con aceite. En esta solicitud, las temperaturas locales se obtienen sin ninguna medición directa de temperatura. En cambio, se miden la tensión en el terminal del transformador, la corriente del arrollamiento y la temperatura ambiente, y se determinan el estado de los ventiladores y bombas y la posición de un conmutador paso a paso. Estas variables se suministran después en un modelo termo hidráulico, por medio del cual se calculan temperaturas en base a las pérdidas del transformador, los parámetros de convección de transferencia de calor, la resistencia al flujo y el flujo de aceite. Estas temperaturas calculadas pueden después usarse para controlar y operar el transformador de potencia, para evitar el sobrecalentamiento.

45 En las dos patentes US 4.745.571 y US. 4.775.245, se describen métodos y sistemas para simular y controlar la temperatura de un transformador de potencia enfriado por fluidos. Los métodos computan electrónicamente la temperatura del arrollamiento del transformador en base a la temperatura superior medida del fluido y una temperatura adicional en aumento que resulta de las corrientes de carga del transformador. Estas dos temperaturas se suman después y se usan para controlar los indicadores, los ventiladores de enfriamiento y relees del circuito. En consecuencia, se controla la temperatura para controlar el funcionamiento del transformador, en el sentido de que no deberían ocurrir daños por temperaturas.

50 Las descripciones descritas anteriormente se refieren todas a la protección contra el daño grave de un dispositivo eléctrico inductivo. Una temperatura demasiado alta de acuerdo con estas descripciones conllevará acciones de reducción de carga y/o esfuerzos de enfriamiento aumentados. Sin embargo, un dispositivo eléctrico inductivo que no funcione de forma correcta puede no necesariamente conllevar a un calentamiento peligroso en todos los casos. Un dispositivo eléctrico inductivo que funcione de forma defectuosa puede, por ejemplo, funcionar a una baja fracción de su capacidad nominal y después a pesar

de sus defectos operará a una temperatura predeterminada. No se detecta ninguna indicación del defecto hasta que se aumenta la potencia. En una ocasión de este tipo, a menudo es muy inconveniente poner el dispositivo eléctrico inductivo fuera de funcionamiento para repararlo, puesto que coincide típicamente con una demanda de potencia aumentada.

- 5 Por lo tanto sería ventajoso si alguien, como un complemento a los dispositivos de protección contra sobre temperaturas convencionales, pudiera conseguir un aparato para proporcionar información acerca de la condición de funcionamiento real, en relación con los problemas de calor del dispositivo eléctrico inductivo en cualquier instante, es decir, un aparato de diagnóstico de condiciones.

#### SUMARIO

- 10 Un objeto de la presente invención es proporcionar el diagnóstico de condiciones de dispositivos eléctricos inductivos, proporcionando una imagen más completa de las condiciones de funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo en cualquier estado de funcionamiento.

- 15 Un objeto adicional de la invención es proporcionar un método de diagnóstico, que detecte con precisión factores de operaciones defectuosas y/o externos en los equipos que afectan el funcionamiento incluso en situaciones en las que el dispositivo eléctrico inductivo opera con una baja carga de potencia.

Otro objeto de la invención es proporcionar una detección de fallos precoz antes de que ocurran daños severos.

- 20 Otro objeto adicional de la presente invención es proporcionar aparatos y métodos que puedan usarse en combinación con sistemas de control y de simulación, proporcionando de esta manera un control o simulación más correcta y precisa, respectivamente, del funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo.

- 25 Los objetos anteriores se consiguen mediante aparatos y métodos de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas. En términos generales las condiciones de funcionamiento de un dispositivo eléctrico inductivo que tiene arrollamientos de potencia sumergidos en un fluido, que se enfrían mediante dispositivos de enfriamiento, se diagnostican obteniendo y evaluando los flujos de calor esperados dentro y fuera del fluido del dispositivo eléctrico inductivo, junto con un contenido de calor real y previo del fluido. Se usan diferentes cantidades para representar los flujos de calor.

- 30 El contenido de calor real del fluido se determina, en un modelo de cálculo preferido, a partir de las mediciones de temperatura en diferentes posiciones del fluido. El contenido de calor real es típicamente una suma de varios factores, tales como el calor generado por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del dispositivo eléctrico inductivo, el efecto de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento y factores externos que afectan la temperatura del fluido, por ejemplo, temperatura ambiente o condiciones ambientales, tales como la luz solar.

- 35 El contenido de calor previo del fluido es el contenido de calor del fluido determinado a partir de un cálculo, un registro previo o de cualquier otro momento determinado.

El flujo de entrada de calor esperado se determina preferiblemente como una cantidad esperada del calor que se genera mediante los arrollamientos de potencia, el núcleo y otras partes del dispositivo eléctrico inductivo. Los cálculos se basan, en un modelo preferido, en mediciones de la corriente del arrollamiento y son por tanto dependientes de la carga del dispositivo eléctrico inductivo.

- 40 El flujo de salida de calor esperado se determina preferiblemente como una capacidad de enfriamiento esperada proporcionada por los dispositivos de enfriamiento. En cuanto al contenido de calor real, las mediciones de temperaturas se usan, en un modelo preferido, para estimar la capacidad de enfriamiento, en concreto, temperaturas del fluido así como una temperatura ambiente.

- 45 El equilibrio de calor del sistema del dispositivo eléctrico inductivo se investiga después comparando y evaluando las cantidades obtenidas para detectar cualquier condición de funcionamiento no esperada. En una situación ideal, el contenido de calor real del fluido debería ser casi igual a un contenido de calor esperado del fluido, es decir, el contenido de calor anterior del fluido más la diferencia entre el calor generado esperado y la capacidad de enfriamiento esperada. Una divergencia de equidad es un indicio de condiciones no esperadas, incluyendo funcionamientos defectuosos de los equipos del dispositivo eléctrico inductivo y/o factores externos que afectan el funcionamiento. Este indicio puede por tanto usarse para realizar acciones de diagnóstico, tales como indicadores de luz de funcionamiento y/o envío de información del indicio a medios de visualización, que le proporcionen información a un operador de que algunos funcionamientos defectuosos pueden estar presentes. Como alternativa, el indicio puede usarse en sistemas de control o simulación, para controlar o simular, respectivamente, el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo.
- 55

5 Como alternativa, puede determinarse otra diferencia entre el calor generado esperado y el contenido de calor real. A esta diferencia se le añade el contenido de calor anterior para obtener una representación del flujo de salida de calor real del fluido y sería igual en condiciones óptimas al flujo de salida de calor esperado, es decir, la capacidad de enfriamiento esperada. Puede calcularse una proporción entre el flujo de salida de calor real y la capacidad de enfriamiento, proporcionando una indicación normalizada de la capacidad de enfriamiento. Esta proporción estaría próxima a la de un funcionamiento esperado, mientras que una proporción bastante por debajo es un indicio de un efecto de enfriamiento esperado de los dispositivos de enfriamiento que es menor que el efecto de enfriamiento generado real. Como consecuencia, puede estar presente un funcionamiento defectuoso de, por ejemplo, los dispositivos de enfriamiento. Objetos de bloqueo, tales como hojas pueden, por ejemplo, obstruir los dispositivos de enfriamiento. La medida normalizada puede influir en que un indicador visual se encienda o cambie de color cuando la proporción es menor que un valor umbral predeterminado.

10 Como otra alternativa, puede calcularse una suma del contenido de calor real y de la capacidad de enfriamiento. A partir de esta suma el contenido de calor anterior se resta para obtener una representación del flujo de calor real dentro del fluido y después sería, al menos en condiciones óptimas, casi igual al flujo de entrada de calor esperado, es decir, el calor esperado generado por los arrollamientos, núcleo y otras partes del dispositivo eléctrico inductivo. Una vez más puede obtenerse una proporción, pero ahora entre el calor generado esperado y el flujo de entrada de calor real. Una proporción menor que uno puede ser un indicio de un fallo interno o de factores externos que afectan negativamente la temperatura del fluido, es decir, aumentan la temperatura.

15 El método de diagnóstico real puede preferiblemente realizarse varias veces en condiciones ambientales diferentes y/o en efectos de enfriamiento diferentes. Esto proporciona una imagen más completa de las condiciones de funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo.

20 La ventaja con la presente invención es que proporciona un diagnóstico de condiciones de dispositivos eléctricos inductivos que es capaz de detectar fallos de funcionamiento y otros efectos que afectan a el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo incluso en las situaciones en las que la mayoría de los métodos de la técnica anterior fallan. Esto significa que puede detectarse un fallo de funcionamiento y ocuparse de este antes de que la carga del dispositivo eléctrico inductivo aumente y la situación se vuelva crítica. Adicionalmente, el diagnóstico puede usarse como un complemento en el control y la simulación del funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo, obteniendo de esta manera un control o simulación más preciso, respectivamente, y por lo tanto un riesgo reducido de fallos de funcionamiento y daños.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 La invención junto con los objetos adicionales y ventajas de la misma, pueden entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción tomada en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

30 La figura 1 es una vista global esquemática de los flujos de calor en un sistema de dispositivo eléctrico inductivo;

La figura 2 es una representación esquemática de una parte de un transformador eléctrico provisto con dispositivos de enfriamiento y sensores;

40 La figura 3 es un diagrama de una temperatura del fluido superior medida de un transformador y temperaturas de fluido superiores calculadas para diferentes capacidades de enfriamiento frente al tiempo;

La figura 4 es un diagrama de flujo de las etapas generales comunes del método de diagnóstico de condiciones de la presente invención;

45 Las figuras 5a-c ilustran diagramas de flujo de diferente realizaciones para realizar una de las etapas de la figura 4;

La figura 6 es una realización de un aparato de diagnóstico de condiciones de acuerdo con la presente invención;

50 La figura 7 es otra realización de un aparato de diagnóstico de condiciones de acuerdo con la presente invención; y

La figura 8 es otra realización más de un aparato de diagnóstico de condiciones adecuado con la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los dispositivos eléctricos inductivos de hoy en día son estructuras caras y por lo tanto están a

5 menudo equipadas con sistemas de protección. Tales sistemas se disponen para supervisar el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo y realizar acciones de control cuando el funcionamiento excede ciertos umbrales de funcionamiento seguros. Los sistemas son partes vitales del dispositivo eléctrico inductivo, puesto que un operador quiere operar a petición el dispositivo eléctrico inductivo a la máxima capacidad nominal, tratando de conseguir tanto efecto de rendimiento como sea posible. Por lo tanto, la necesidad de sistemas de protección del funcionamiento de dispositivos eléctricos inductivos es grande, puesto que a la máxima o cerca de la máxima capacidad es bastante fácil exceder los umbrales de seguridad. Una cantidad típica que tiene un umbral de funcionamiento es, como se ha mencionado en los antecedentes, la temperatura de un fluido que enfría los arrollamientos de potencia. Si dicha temperatura aumenta demasiado, podrán surgir daños en el dispositivo eléctrico inductivo y en el equipo asociado. Por lo tanto, el objetivo de muchos sistemas de protección es supervisar y/o controlar la temperatura del fluido de enfriamiento así como la de los arrollamientos de potencia. Las acciones de control de los sistemas se activan básicamente cuando las temperaturas exceden los umbrales de seguridad y por lo tanto puede hacerse referencia a los sistemas de protección como sistemas de protección contra daños graves. Las acciones de emergencia realizadas podrían incluir aumentar el esfuerzo de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento y/o la reducción de la carga del dispositivo eléctrico inductivo. Sin embargo, pueden surgir situaciones en las que las acciones de emergencia de los sistemas de supervisión y control de la técnica anterior son insuficientes o se realizan demasiado tarde, desembocando en el daño del dispositivo eléctrico inductivo.

20 Una situación típica donde fallan los sistemas de la técnica anterior con sólo mediciones de temperatura superior del fluido y los métodos en los que se basan los sistemas es, por ejemplo, cuando un dispositivo de enfriamiento, más a menudo algún tipo de ventilador, se obstruye o se bloquea con, por ejemplo, hojas u objetos sueltos similares. Muchos de estos sistemas carecen de métodos que controlan el efecto de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento. En cambio, sólo se registra un impulso de inicio del dispositivo de enfriamiento para determinar cuando se enciende el dispositivo de enfriamiento. Sin embargo, si un dispositivo de enfriamiento está bloqueado, se sigue registrando el impulso de inicio pero no se toma en consideración el efecto de enfriamiento reducido debido a la obstrucción. Como resultado, el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo puede llevar a la violación de los umbrales de seguridad, puesto que se suministra menos efecto de enfriamiento del suficiente.

30 Otra situación típica en la que los sistemas y métodos de la técnica anterior con sólo mediciones de temperaturas superiores del fluido se encuentran con problemas es cuando factores externos, tales como las diferentes condiciones meteorológicas, incluyendo el sol, afectan al funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo. Puesto que la mayoría de los sistemas de control y de supervisión para dispositivos eléctricos inductivos no tienen en cuenta tales factores externos, pueden violarse por lo tanto los umbrales de seguridad.

35 Puesto que la mayoría de sistemas y métodos de control de la técnica anterior se dirigen a acciones de emergencia, los sistemas pueden encontrarse con problemas particularmente cuando el dispositivo eléctrico inductivo se carga a solo una fracción de su capacidad nominal. Durante dicho funcionamiento de baja energía, el dispositivo eléctrico inductivo puede operarse dentro de sus umbrales de seguridad, por ejemplo, por debajo de la máxima temperatura de fluido permitida, incluso si el equipo funciona defectuosamente o se presentan factores externos que le afectan, como se han descrito anteriormente. Sin embargo, si las condiciones cambian repentinamente, tal como una carga de potencia disminuida repentinamente, los fallos de funcionamiento o los factores externos pueden hacer que el dispositivo eléctrico inductivo exceda los umbrales de seguridad antes de que tengan efecto las acciones de emergencia de los sistemas de control. Como resultado, pueden surgir daños al equipo de dispositivo eléctrico inductivo, llevando a un coste demasiado elevado para el operador, no solo en forma de costes de reparaciones sino también en forma de explotación perdida si los daños son tan graves que el dispositivo eléctrico inductivo, al menos temporalmente, debe apagarse. Incluso si las acciones del sistema de control son suficientemente eficientes para evitar que el dispositivo eléctrico inductivo se dañe, la detección del fallo de funcionamiento viene a menudo en un momento inconveniente.

50 La presente invención se dirige a otro aspecto del funcionamiento de los dispositivos eléctricos inductivos distinto a los sistemas de técnica anterior, descritos brevemente anteriormente. Mientras que los sistemas de la técnica anterior se ocupan de la protección de emergencia y de daño grave, la presente invención se refiere a un diagnóstico de condiciones del estado de calor de dispositivos eléctricos inductivos. Los fallos de funcionamiento y otros factores que podrían llevar posiblemente a daños en el equipo pueden detectarse en una etapa temprana mediante el diagnóstico de condiciones, incluso a una baja carga de energía, es decir, mucho antes de que suceda en realidad el riesgo de daños. La presente invención le dará al operario indicaciones de las condiciones funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo durante su funcionamiento. Después, estas indicaciones pueden usarse para supervisar y/o controlar, continuamente o en ocasiones intermitentes, el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo

y pueden por lo tanto usarse para alertar al operario si las condiciones funcionamiento son tales que puedan violar el umbral de seguridad si la carga de energía aumenta. Después, el operario puede realizar las acciones requeridas para reparar o compensar las condiciones de fallo antes de que ocurran daños costosos. Después, dichas acciones pueden programarse en un momento conveniente en el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo. Las indicaciones también podrían usarse para calcular una previsión de las temperaturas del foco caliente y la capacidad de carga del dispositivo eléctrico inductivo.

Con referencia a la figura 1, se ilustra el principio básico de diagnóstico de condiciones de la presente invención. La figura 1 ilustra esquemáticamente el flujo de calor de entrada y de salida de un fluido que enfría un dispositivo eléctrico inductivo. Un flujo de entrada de calor 92 del fluido es básicamente una suma del calor generado por los arrollamientos de potencia, el núcleo y otras partes del dispositivo eléctrico inductivo y por factores externos que afectan a la temperatura del fluido, por ejemplo, el sol y la temperatura del aire. Un flujo de salida de calor 94 representa básicamente el efecto de enfriamiento principalmente de dispositivos de enfriamiento asociados con el dispositivo eléctrico inductivo. Durante el funcionamiento el contenido de calor real 90 del fluido cambia dinámicamente a medida que cambia el flujo de entrada de calor 92 y el flujo de salida 94. Este cambio 96 en el contenido de calor, es decir, la diferencia entre el contenido de calor real 90 y un contenido de calor anterior 98, podría ser positiva o negativa, dependiendo de si el flujo de calor es de entrada o de salida, que son ambos cantidades positivas o cero, que es el mayor.

El diagnóstico de condiciones de la presente invención calcula un flujo de entrada de calor esperado y un flujo de salida de calor esperado, preferiblemente en base a modelos de cálculos de la generación de calor de los arrollamientos, núcleo y otras partes del dispositivo eléctrico inductivo y el efecto de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento, respectivamente. Estos flujos de calor esperados se comparan después y se evalúan junto con el contenido de calor real 90 y contenido de calor anterior 98 del fluido. Durante el funcionamiento correcto esperado, sin fallos de funcionamiento del equipo y/o factores externos que le afecten, en contenido de calor real 90 sería casi igual al contenido de calor anterior 98 más el cambio en el contenido de calor resultante esperado, es decir, el flujo de entrada de calor esperado restado por el flujo de salida de calor esperado. Una divergencia en el mismo podría ser un indicio de fallos de funcionamiento en el equipo y/o de otros factores, que afectan el funcionamiento del dispositivo eléctrico inductivo. Por lo tanto, el diagnóstico de condiciones compara y evalúa los flujos de calor en el dispositivo eléctrico inductivo y obtiene indicios de los equilibrios técnicos del sistema. Esto está en contra de los sistemas de la técnica anterior que se dirigen principalmente a las mediciones de temperatura y a la protección de temperatura. Las acciones de emergencia de estos sistemas de la técnica anterior están para reducir la temperatura, es decir, el contenido de calor real 90 del dispositivo eléctrico inductivo. Su objetivo principal es por lo tanto evitar que se eleve demasiado el calor 90 del dispositivo eléctrico inductivo o las temperaturas superior del fluido y del foco caliente del arrollamiento, lo que se ilustra esquemáticamente con la flecha 99. El diagnóstico de condiciones de la presente invención se describe a continuación con el dispositivo eléctrico inductivo en forma de un transformador de potencia. Como una persona experta en la materia entiende, un transformador es meramente una realización ilustrativa de un dispositivo eléctrico inductivo, al que se le puede aplicar la presente invención. Por lo tanto, la invención no se limita a transformadores, sino que puede aplicarse también a otros dispositivos eléctricos inductivos, tales como reactores.

Con referencia a la figura 2, se ilustra un transformador de potencia 1 con sus arrollamientos de potencia 2 sumergidos en un fluido de refrigeración 3, por ejemplo, aceite. Los arrollamientos de potencia 2 se enrollan alrededor de un núcleo 7, por ejemplo, un núcleo de hierro. El fluido 3 se enfría mediante una serie de dispositivos de enfriamiento 4, que pueden comprender ventiladores, aletas de refrigeración, radiadores o dispositivos similares. Los dispositivos de enfriamiento 4 enfrían un flujo de fluido del tanque del transformador 6, que contiene los arrollamientos 2, el núcleo 7 y el fluido 3. Típicamente, el fluido de la parte superior del tanque 6 pasa por el dispositivo de enfriamiento 4, en el que se enfría el fluido 3, antes de llevarse de vuelta a la parte inferior del tanque 6. Esta función de enfriamiento es en muchos casos necesaria puesto que los arrollamientos 2 y el núcleo 7 se calientan durante el funcionamiento y por tanto calientan el fluido circundante 3. Si no se realiza un enfriamiento adicional al de la disipación de calor normal a través de las paredes, en muchos casos las temperaturas del fluido 3 y de los arrollamientos 2 aumentarán tanto que causarán daños al transformador sumergido 1 y a los equipos asociados.

El transformador de la Fig. 2 está provisto de una serie de sensores que registran las temperaturas del fluido 3, la temperatura ambiente, así como la carga de los arrollamientos de potencia 2. Las temperaturas del fluido 3 se miden mediante termómetros 16A, 16B. El termómetro 16A se posiciona en la parte superior al tanque 6. La temperatura es por lo tanto una buena representación de la temperatura más alta de fluido en cualquier lugar del sistema así como de la temperatura del fluido que entra en los dispositivos de enfriamiento 4. El termómetro 16B se posiciona en la parte inferior del tanque

6. La temperatura es por lo tanto una buena representación del fluido en la parte inferior del tanque 6.

5 La temperatura ambiente es una medida de la temperatura del aire que rodea al transformador 1. Esta temperatura se mide mediante un termómetro 14 que se dispone en los alrededores del tanque del transformador 6, en contacto con el aire que lo rodea. Esta temperatura es también la temperatura de referencia de los dispositivos de enfriamiento 4.

Para obtener una estimación directa de la carga de los arrollamientos 2, la corriente del arrollamiento se mide mediante un anillo de exploración 13, supervisado a su vez mediante, por ejemplo, un amperímetro 12 o medios de medición de corriente similares. Midiendo la corriente en otros arrollamientos o conociendo la posición del conmutador, se conoce la carga completa del transformador 1.

10 Después, se envían los datos recogidos por los sensores en las conexiones de temperatura 24, 26A, 26B y la conexión de corriente 22, a un aparato de diagnóstico de condiciones 5, que puede proporcionarse en conexión con el tanque del transformador 6, aplicado en su conjunto a los sistemas de control remoto o aplicado parcialmente en conexión con el tanque del transformador 6 y parcialmente en sistemas de control remotos.

15 El método de diagnóstico de condiciones de la presente invención se describirá a continuación con más detalle. Como se ha mencionado anteriormente de manera resumida, el diagnóstico de condiciones usa flujos de entrada y de salida de calor del fluido de enfriamiento del transformador, así como el contenido de calor real y anterior del fluido para obtener indicios del equilibrio de calor del fluido.

20 El contenido de calor real  $Q^{real}$  es típicamente una suma de varias contribuciones diferentes que afectan a la temperatura del fluido, tales como el calor generado por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del transformador, el efecto de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento y factores externos, por ejemplo, el sol. El contenido de calor real  $Q^{real}$  puede, en un modelo de cálculo preferido, expresarse como una suma del contenido de calor real en la parte superior y  $Q_T^{real}$  y en la parte inferior  $Q_B^{real}$  del tanque. Los contenidos de calor superior  $Q_T^{real}$  e inferior  $Q_B^{real}$  reales pueden a su vez determinarse a partir de las mediciones de temperaturas del fluido, más precisamente una temperatura de fluido superior  $T_T$  y una temperatura de fluido inferior  $T_B$ . El contenido de calor previo  $Q^{previo}$  del fluido puede expresarse de manera similar como una suma del contenido de calor superior  $Q_T^{previo}$  e inferior  $Q_B^{previo}$ . El contenido de calor previo  $Q^{previo}$  se obtiene a partir de un registro anterior, un cálculo o de cualquier otro momento determinado. Por lo tanto, los contenidos de calor real  $Q^{real}$  y previo  $Q^{previo}$  se expresan preferiblemente como:

$$Q^{real} = Q_T^{real} + Q_B^{real}$$

$$Q^{previo} = Q_T^{previo} + Q_B^{previo}$$

los contenidos de calor superior  $Q_T^{real}$  e inferior  $Q_B^{real}$  pueden determinarse como:

35

$$Q_T^{real} = \alpha m_{fluido} c_{fluido} \hat{T}_T,$$

$$Q_B^{real} = (1 - \alpha) m_{fluido} c_{fluido} \hat{T}_B$$

en el que  $c_{fluido}$  y  $m_{fluido}$  son una capacidad de calor específica y una masa de fluido, respectivamente,  $\hat{T}_T$  y  $\hat{T}_B$  son las temperaturas de fluido superior e inferior medias, respectivamente, y  $\alpha$  y  $1 - \alpha$  son las fracciones de fluido superior e inferior del fluido total en el transformador. En el modelo anterior los

40 contenidos de calor superior  $Q_T^{real}$  e inferior  $Q_B^{real}$  reales, las temperaturas fluidas medias  $\hat{T}_T$ ,  $\hat{T}_B$  se multiplican por la masa  $m_{fluido}$ , la capacidad de calor específica  $c_{fluido}$  y la fracción respectiva  $\alpha$  y  $1 - \alpha$  del fluido. Si se usan radiadores como dispositivos de enfriamiento, la temperatura de fluido aumenta sustancialmente de manera lineal a medida que se mueve desde la parte inferior del tanque de fluido hasta la parte superior del mismo. Pero para, por ejemplo, ventiladores la situación es diferente. Por lo tanto la distribución de temperatura en la fracción superior e inferior del fluido, respectivamente, es bastante homogénea y es a menudo la cantidad de fluido en la fracción respectiva que puede cambiar.

45 Como consecuencia, en o cerca de un estado constante, una o algunas mediciones de temperatura en diferentes posiciones en la parte superior e inferior del fluido pueden ser suficientes para obtener buenas representaciones de la temperatura superior  $\hat{T}_T$  e inferior  $\hat{T}_B$  medias, respectivamente. Durante un funcionamiento en un estado no constante, las mediciones de temperatura en diferentes posiciones son

necesarias para obtener una imagen más precisa de la distribución de temperatura en el fluido superior e inferior, y por lo tanto una mejor representación de las temperaturas medias. Esto se soluciona simplemente disponiendo más sensores de temperatura, por ejemplo, termómetros, en diferentes posiciones y/o profundidades en el tanque. Después, los valores de todas o algunas de estas mediciones

5 de temperatura pueden usarse en el cálculo de las temperaturas medias  $\hat{T}_T, \hat{T}_B$ . En los modos de funcionamiento diferentes del dispositivo eléctrico inductivo, el valor de  $\alpha$  puede ser cualquier número que varía de 0 a 1. Un valor mayor implica una fracción mayor de fluidos en la parte superior del contenedor, mientras que un valor menor implica una fracción de fluido mayor en la parte inferior. La capacidad de calor específico  $C_{fluido}$  y la masa  $m_{fluido}$  son propiedades características del fluido utilizado y se obtienen normalmente del fabricante del transformador, de la bibliografía convencional o mediante mediciones. Puesto que un objeto de la presente invención es detectar cualquier problema que causa un funcionamiento no esperado antes de que se convierta en un fallo de funcionamiento crítico, las temperaturas de fluido medidas son a menudo inferiores a los umbrales de temperatura de alarma de los sistemas de protección de daños graves de la técnica anterior.

15 El contenido de calor inmediatamente anterior  $Q^{previo}$  del fluido se calcula fácilmente y con precisión a partir de las mediciones de temperatura, por ejemplo, en el inicio o reinicio del transformador. En cuanto al contenido de calor real  $Q^{real}$ , puede determinarse preferiblemente una temperatura en la parte superior e inferior media para calcular el contenido de calor superior  $Q_T^{previo}$  e inferior  $Q_B^{previo}$ , respectivamente. Por ejemplo, el contenido de calor en la parte superior  $Q_T^{previo}$  e inferior  $Q_B^{previo}$  previo puede determinarse usando un modelo de cálculo similar al de los contenidos de calor de la parte superior  $Q_T^{real}$  e inferior  $Q_B^{real}$  reales anteriores. Después, el contenido de calor previo  $Q^{previo}$  se obtiene sumando los dos contenidos de calor calculados  $Q_T^{previo}$  y  $Q_B^{previo}$ . Después de esto, el valor obtenido  $Q^{previo}$  puede almacenarse en una memoria. Puede calcularse un calor previo  $Q^{previo}$  posterior, usado en un diagnóstico de condiciones posterior, partiendo del valor almacenado del contenido de calor previo  $Q^{previo}$  y sumando

25 el cambio en el contenido de calor del fluido, es decir, el flujo de entrada de calor  $Q_{calor}^{esperado}$  restado por el flujo de salida de calor  $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ . También sería posible ajustar intermitentemente el contenido de calor previo  $Q^{previo}$  para ser igual al contenido de calor real  $Q^{real}$ , que se deriva de las mediciones de temperatura. Después, el contenido de calor real  $Q^{real}$  se convierte en el contenido de calor real previo  $Q^{previo}$  para un procedimiento de determinación posterior.

30 El flujo de entrada de calor esperado al fluido se calcula preferiblemente como una cantidad esperada del calor  $Q_{calor}^{esperado}$  generada por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del transformador. El calor esperado  $Q_{calor}^{esperado}$  es el calor esperado o nominal que se produce por la carga del transformador.

En un modelo de cálculo preferido, los cálculos del calor esperado  $Q_{calor}^{esperado}$  se basan en una suma de pérdidas parásitas, pérdidas del núcleo y pérdidas resistivas. Las corrientes eléctricas que circulan en el núcleo del transformador como resultado de la inducción causan las pérdidas parásitas. Estas corrientes producen calor en el núcleo y en los arrollamientos de potencia. Las pérdidas del núcleo se deben a la histéresis, que es una propiedad de la sustancia magnética del núcleo. Esta propiedad hace que la magnetización se retrase después que se ha disipado la fuerza de magnetización y el calor del núcleo al fluido. Las pérdidas resistivas son calor generado por las corrientes a través de los arrollamientos de potencia, debido a la resistencia del arrollamiento. Todas estas pérdidas de calor dependen de la corriente del arrollamiento, que por lo tanto se mide mediante un amperímetro o medio de medición de corriente similar. Multiplicando además las pérdidas por una duración del intervalo de tiempo, durante el que se determina la corriente y también en algunos casos una tensión, se obtiene la cantidad esperada de calor generado  $Q_{calor}^{esperado}$  durante este intervalo de tiempo. Pueden usarse otros modelos de cálculo más sofisticados que, por ejemplo, integran la corriente del arrollamiento con respecto al tiempo, que se describirán con más detalle más adelante.

45

El flujo de salida de calor esperado del fluido se representa preferiblemente como una capacidad de enfriamiento esperada  $Q_{enfriamiento}^{esperado}$  de los dispositivos de enfriamiento y otras partes del transformador que contribuyen al enfriamiento. La capacidad de enfriamiento esperada  $Q_{enfriamiento}^{esperado}$  es un modelo de cálculo preferido calculado a partir de mediciones de temperatura. En la mayoría de los casos, se necesita una temperatura ambiente  $T_{amb}$  del aire circundante en los cálculos. La capacidad de enfriamiento

50

esperada  $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$  puede calcularse de manera simplificada de la siguiente manera:

$$Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}} = K_1 \left( \hat{T} - T_{\text{amb}} \right)^\beta \Delta t ,$$

5 en la que  $\beta$  es una constante asociada con los dispositivos de enfriamiento particulares usados,  $K_1$  depende entre otros factores del número de dispositivos de enfriamiento que operan y de la viscosidad del fluido, y normalmente se proporcionan por el fabricante o pueden determinarse empíricamente. En cuanto al contenido de calor real del fluido, se calcula una temperatura media  $\hat{T}$  del fluido. Esta temperatura  $\hat{T}$  es la temperatura media del fluido que pasa por delante de los dispositivos de enfriamiento. La temperatura  $\hat{T}$  puede, en un modelo preferido, expresarse de manera simplificada como:

$$\hat{T} = \frac{T_T + T_C}{2} ,$$

10 en la que  $T_T$  es una temperatura superior del fluido en el tanque del transformador y  $T_C$  es una temperatura del fluido en los alrededores o en la salida de los dispositivos de enfriamiento. La temperatura  $T_C$  se calcula normalmente a partir de otras temperaturas medidas del fluido y de la corriente a través de los arrollamientos. Sin embargo, puede ser posible disponer un termómetro en los alrededores o en la salida de los dispositivos de enfriamiento. Después, la temperatura  $T_C$  no se calcula sino que se mide. De forma similar, en lugar de usar la temperatura de fluido superior, puede disponerse un termómetro en los alrededores o en la salida de los dispositivos de enfriamiento. En dicho caso, se obtienen temperaturas más precisas del fluido que entra y que sale de los dispositivos de enfriamiento. Pero, usar termómetros para obtener  $T_C$  y/o medir la temperatura del fluido que entra en los dispositivos de enfriamiento, requiere que se dispongan uno o dos termómetros en la entrada y/o salida de cada dispositivo de enfriamiento. Esto conllevará a un incremento de los costes de equipamiento. Por lo tanto, pueden preferirse los cálculos en lugar de mediciones reales. Después, la temperatura ambiente  $T_{\text{amb}}$  se resta de esta temperatura media  $\hat{T}$  para obtener una diferencia de temperatura entre el fluido y el aire que rodea los dispositivos de enfriamiento. Multiplicando además la diferencia calculada por una duración del intervalo de tiempo  $\Delta t$  durante el que se determinan las temperaturas  $\hat{T}$  y  $T_{\text{amb}}$ , se obtiene el flujo de salida de calor esperado del fluido  $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$  durante el intervalo de tiempo. En cuanto al flujo de entrada de calor esperado  $Q_{\text{calor}}^{\text{esperado}}$ , pueden usarse otros modelos de cálculos más sofisticados que, por ejemplo, integran las temperaturas  $\hat{T}(t)$  y  $T_{\text{amb}}(t)$  a lo largo del tiempo.

30 Se realiza una comparación entre el flujo de entrada y de salida de calor esperado representado como la cantidad esperada de calor generado y la capacidad de enfriamiento esperado, respectivamente, y el contenido de calor real y previo para obtener indicaciones de los equilibrios de calor del sistema transformador. Puesto que las cantidades implicadas se basan en modelos de dispositivos que funcionan correctamente, esta comparación proporciona información de las condiciones de funcionamiento del transformador. Por lo tanto, si el equilibrio de calor en base al modelo no está equilibrado, es decir, el flujo de entrada de calor esperado más el contenido de calor previo restado por el flujo de salida de calor esperado difiere del contenido de calor real, el modelo de cálculo para el calor generado esperado y/o la capacidad de enfriamiento esperada son probablemente incorrectos. Las correcciones son un indicio de que las condiciones de funcionamiento de transformador no son las esperadas. Las causas posibles de la diferencia en los cálculos no esperada incluyen una capacidad de enfriamiento reducida de los dispositivos de enfriamiento, factores externos que afectan a la temperatura del fluido y fallos del propio transformador. En base a esto pueden realizarse acciones de diagnóstico comparativas que incluyen la indicación del error de funcionamiento. Esta indicación puede estar en forma de indicadores visuales/acústicos, que alertan a un operador del funcionamiento no esperado mediante, por ejemplo, la iluminación de una lámpara de alarma. La información de esta indicación puede transmitirse también a medios de visualización remotos y/o medios de visualización portátiles transportados por un operario. El operario puede por tanto corregir los fallos de funcionamiento o pueden compensar los factores externos

durante funcionamiento de transformador.

5 La comparación entre las cantidades calculadas, el contenido de calor real y previo, el calor generado esperado y la capacidad de enfriamiento esperada, pueden realizarse en una primera realización mediante un primer cálculo de una diferencia entre el calor generado esperado y el contenido de calor real. A esta diferencia se le suma el contenido de calor previo para, en teoría, obtener la cantidad real de calor que se está retirando del sistema de una u otra forma. La cantidad real calculada del calor retirado se compara después con la capacidad de enfriamiento esperada, que corresponde a la cantidad esperada del calor retirado principalmente mediante los dispositivos de enfriamiento del transformador. 10 Los dispositivos de enfriamiento son, en un caso típico, responsables de la mayor parte del enfriamiento. Si el transformador está funcionando como se espera, la cantidad real de calor retirado es por lo tanto, al menos próximamente, igual a la capacidad de enfriamiento esperada. Una diferencia de igualdad indica que el calor retirado esperado, retirado por los dispositivos de enfriamiento, es diferente del calor retirado real. Si se presenta una diferencia, la capacidad de enfriamiento esperada es a menudo mayor que la cantidad real de calor retirado o expresado diferentemente el calor retirado esperado es mayor que el calor retirado real. La causa de esta diferencia de igualdad puede ser el funcionamiento defectuoso o los dispositivos de enfriamiento obstruidos, que proporcionan así menos efecto de enfriamiento esperado. El diagnóstico de condiciones puede por tanto indicar esta condición de funcionamiento incorrecta no esperada proporcionando indicadores al operario de la presencia de posibles funcionamientos defectuosos de los dispositivos de enfriamiento.

20 Si se concluye que una condición de funcionamiento esperada está presente, podría ser posible decidir si la condición no esperada se debe a los dispositivos de enfriamiento que funcionan incorrectamente o bombas que funcionan incorrectamente. A partir del flujo de entrada y el flujo de salida de calor esperada y de contenido de calor previo, puede calcularse una temperatura de fluido superior e inferior esperado, respectivamente. Después, la diferencia entre estas temperaturas de fluido se compara con una diferencia de temperatura real correspondiente, entre la temperatura de fluido superior e inferior medidas. Si la diferencia de temperatura esperada es mayor que la diferencia de temperatura real, se presenta un enfriamiento demasiado bajo del fluido. Como consecuencia, puede presentarse un funcionamiento defectuoso en una o en varias posiciones de enfriamiento. El dispositivo o dispositivos de enfriamiento pueden obstruirse con polvo, hojas u otros materiales que pueden estar presentes en el daño de un equipo en los dispositivos de enfriamiento. Por otro lado, si la diferencia de temperatura esperada es menor que la diferencia de temperatura real, el bombeo de fluido de alarma de la parte superior del tanque de transformador más allá de los dispositivos de enfriamiento y hasta la parte inferior del tanque es demasiado bajo. Una situación de este tipo puede surgir cuando una bomba que bombea fluido del tanque de transformador a los dispositivos de enfriamiento está fuera de servicio. Por tanto, el método de diagnóstico de condiciones de la presente invención puede no sólo detectar fallos de funcionamiento en el transformador sino que también puede identificar realmente la causa exacta y la ubicación de los fallos de funcionamiento que causan las condiciones de funcionamiento no esperadas.

40 Dividiendo la cantidad real calculada del calor retirado entre la capacidad de enfriamiento esperada, se obtiene una proporción que es representativa de la capacidad de enfriamiento del dispositivo de enfriamiento. En una situación esperada ideal esta proporción estaría cercana a uno, pero si se presenta algún fallo de funcionamiento en el dispositivo de enfriamiento, la proporción pasará a estar significativamente por debajo de uno. El valor real de esta proporción puede representarse mediante indicadores indicadores, que le dan al operario una indicación del funcionamiento de los dispositivos de enfriamiento.

45 También podrían ser posibles proporciones mayores que uno. Tales situaciones pueden, por ejemplo, ocurrir si el tanque del transformador está expuesto a aire frío, en particular, corrientes de aire frío u otras acciones de enfriamiento tales como lluvia. Sin embargo, las proporciones mayores que la unidad pueden depender también en que los modelos de las cantidades usados para obtener el denominador no coincidan con la realidad.

50 Puesto que los cálculos y determinaciones se basan en una mezcla de medidas y modelos, la incertidumbre de una sola medición puede no ser suficiente en algunas situaciones para obtener una buena imagen de las condiciones de funcionamiento del transformador. Este podría ser el caso, particularmente cuando cambian las condiciones de funcionamiento, tales como justo después de que se haya desconectado un dispositivo de enfriamiento o se haya desconectado un dispositivo de enfriamiento adicional. Sin embargo, el comportamiento general a lo largo del tiempo es mucho más preciso. Para obtener una indicación de la capacidad de enfriamiento que se basa en mediciones dependientes del tiempo en lugar de basarse sólo en cálculo en una sola ocasión de medición, pueden realizarse diversos cálculos a lo largo del tiempo del calor generado mediante los arrollamientos y del núcleo de transformador y del efecto de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento. A cada instante de tiempo, 55

o muestra, la temperatura superior del fluido se determina a partir del calor generado calculado y del efecto de enfriamiento. La temperatura de fluido superior se calcula también para diferentes capacidades de enfriamiento. Esto se realiza simplemente multiplicando el efecto de enfriamiento calculado con diferentes capacidades de enfriamiento, es decir, la multiplicación con diferentes constantes que típicamente varían, por ejemplo, de 0,5 a 1,1. Además de las temperaturas superiores calculadas diferentes del fluido esta temperatura superior también se mide en realidad mediante termómetros en instantes de tiempo diferentes (muestra). Después, mediante la representación gráfica de la temperatura de fluido superior calculada frente al tiempo (muestra) para cada capacidad de enfriamiento, puede obtenerse una familia de curvas como las de la Fig. 3. En el diagrama, el eje x representa el tiempo, o más precisamente, las muestras de mediciones diferentes a lo largo tiempo, mientras que el eje y representa la temperatura de fluido superior. En el diagrama, la curva calculada 220 representa una capacidad de enfriamiento de 1, mientras que las curvas 222 y 224 representan una capacidad de enfriamiento de 0,9 y de 0,8, respectivamente. La temperatura superior medida real se representa mediante la curva 210. La línea discontinua 200 en la parte inferior del diagrama representa la carga del transformador a lo largo tiempo. A partir de dicho gráfico, puede ajustarse a la curva la temperatura de fluido superior medida, usando cualquier algoritmo de ajuste de curva, para cada miembro de la familia de temperaturas calculadas. El resultado de dicho ajuste de curva es la curva calculada que mejor se ajusta a la curva medida real. La capacidad de enfriamiento, es decir, la constante con la que se multiplicó el efecto de enfriamiento, asociada con la curva calculada mejor ajustada es por lo tanto una buena representación de la capacidad de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento.

Si el transformador se enfría mediante más de un dispositivo de enfriamiento y/o si el dispositivo de enfriamiento puede hacerse funcionar a diferentes fracciones de su capacidad máxima nominal, el método de diagnóstico de condiciones puede repetirse varias veces, pero con diferentes dispositivos de enfriamiento en funcionamiento y/o funcionando a diferentes fracciones de la capacidad máxima. Un reinicio de los cálculos en el método de diagnóstico de condiciones se realiza preferiblemente cuando arranca un dispositivo de enfriamiento o en algún momento determinado. Esto hace posible distinguir fallos en dispositivos de enfriamiento diferentes. Realizando además el método varias veces en diferentes configuraciones, es posible obtener la capacidad de enfriamiento para cada dispositivo de enfriamiento y/o para cada fracción de la que se efectúa el funcionamiento. De esa forma es posible determinar en que dispositivos de enfriamiento se presenta cualquier fallo o si los fallos se presentan en cualquier otra parte del sistema.

En otra realización de la comparación entre el contenido de calor real y previo, el calor generado esperado y la capacidad de enfriamiento, el contenido de calor real sustraído del contenido de calor previo se añade a la capacidad de enfriamiento esperada. La suma resultante será en principio una representación de la cantidad real de calor que se introduce dentro del sistema transformador. Esta cantidad real de calor introducido determinada se compara por lo tanto con el calor generado esperado, que corresponde a la cantidad esperada de calor generado por los arrollamientos de potencia, el núcleo y otras partes del transformador. Idealmente, la cantidad real de calor introducido es, por supuesto, igual al calor generado esperado. Pero factores externos, por ejemplo, el sol, que afecta a la temperatura del fluido de enfriamiento pueden causar una discordancia de equidad, es decir, que el flujo de entrada de calor real sea mayor que el flujo de entrada de calor esperado. El diagnóstico de condiciones puede por tanto indicar esta condición de funcionamiento incorrecto no esperado proporcionando indicadores al operario de la presencia de posibles factores externos que afectan a la temperatura y por lo tanto a las condiciones de funcionamiento del transformador. Si aparece una discordancia rápida, sin ninguna causa plausible de factores externos, pueden ser posibles errores graves del transformador. En dichos casos, pueden aplicarse métodos de localización de fallos mucho más elaborados para localizar el fallo.

En cuanto a la primera realización anterior, puede determinarse una proporción, pero ahora entre el calor generado esperado y la cantidad real del calor introducido. Idealmente, esta proporción puede ser cercana a uno pero si están presentes factores externos la proporción es más a menudo menor a uno. En algunas situaciones inusuales la proporción puede ser en realidad mayor a uno, indicando un efecto de enfriamiento que no se origina a partir de los dispositivos de enfriamiento, sino a partir de factores externos. Esto puede ser el caso cuando llueve, que conlleva a una transferencia de calor eficiente desde el fluido y del transformador a las gotas de lluvia y el aire circundante.

En cuanto a la capacidad de enfriamiento, pueden realizarse varias mediciones a lo largo del tiempo y puede representarse una familia de curvas frente al tiempo. A partir del ajuste de curva de estas curvas, puede por tanto obtenerse la proporción que es representativa del calor generado esperado, de forma similar a la capacidad de enfriamiento anterior.

Esta realización de la presente invención puede realizarse varias veces pero durante condiciones ambiente diferentes, por ejemplo, durante un día soleado, un día nublado y/o durante la noche, cuando se

5 espera que el efecto de los factores externos sea diferente. La realización puede realizarse ventajosamente durante la noche cuando el sol, que puede afectar el funcionamiento del transformador, está ausente. Si se detecta, durante tales condiciones ambientales, una condición de funcionamiento incorrecto inesperada, esto puede ser una indicación de fallos de funcionamiento en el equipo del transformador, tal como, fallos de funcionamiento de la bomba o del dispositivo de enfriamiento.

10 En otra realización más de la comparación del método de diagnóstico de condiciones, se determina una diferencia entre el calor generado esperado y la capacidad de enfriamiento esperada. Para esta diferencia determinada se añade el contenido de calor previo. El resultado corresponde típicamente al contenido de calor esperado del fluido y se compara con el contenido de calor real del fluido calculado a partir de las mediciones. En las condiciones esperadas ideales el contenido de calor esperado es igual a, o al menos está próximo a, el contenido de calor real. Una discordancia del mismo es un indicio de condiciones indeseables, incluyendo los fallos de funcionamiento de los equipos y factores externos, y deberían realizarse acciones de diagnóstico.

15 Puesto que es posible no sólo calcular los flujos de calor y los contenidos de temperaturas, sino también lo opuesto, es decir, calcular temperaturas a partir de flujos y contenidos de calor, puede realizarse una comparación entre las temperaturas medidas reales y temperaturas calculadas esperadas. Como se ha mencionado anteriormente, los contenidos actuales y previos pueden expresarse como contenidos de calor actuales y esperados superiores e inferiores. Dicho enfoque también es posible para el flujo de entrada y salida de calor esperado. Un contenido de calor superior esperado puede por tanto obtenerse sumando el contenido de calor superior previo y el flujo de entrada de calor superior esperado, seguido por la sustracción del flujo de salida de calor superior esperado. Un contenido de calor inferior esperado puede obtenerse de la misma forma usando los contenidos de calor inferior y los flujos en lugar de los contenidos y flujos de calor superiores. A partir de los contenidos de calor superior e inferior esperados puede calcularse una temperatura superior e inferior esperada, respectivamente. Estas temperaturas esperadas pueden por tanto compararse con la temperatura superior e inferior medida real, preferiblemente la temperatura superior e inferior media. A partir de una comparación de este tipo puede ser posible detectar condiciones de funcionamiento inesperadas, en forma de un flujo de fluido inesperado a través de los dispositivos de enfriamiento. Si el flujo de fluido es inferior al esperado, la diferencia de temperatura real entre el fluido superior e inferior en el tanque de transformador es mayor que la diferencia calculada esperada. Puede surgir una situación de este tipo cuando una bomba, que bombea un fluido del tanque a los dispositivos de enfriamiento, está fuera de servicio. Por otro lado, si la diferencia de temperatura real es menor que la diferencia calculada esperada, está presente un enfriamiento muy bajo del fluido. Este puede ser el caso cuando uno o varios dispositivos de enfriamiento están funcionando de forma defectuosa. El diagnóstico de condiciones de la presente invención puede por lo tanto usarse para detectar funcionamientos defectuosos en los equipos de transformador, por ejemplo, las bombas. La supervisión de las temperaturas es por lo tanto básicamente equivalente a la supervisión de los contenidos de calor.

40 Es evidente para el experto en la materia que pueden realizarse diferentes realizaciones de la invención mencionada anteriormente bien sea individualmente o en combinación. Combinando las diferentes realizaciones del diagnóstico de condiciones se obtiene una imagen más correcta y completa de las condiciones de funcionamiento de transformador, proporcionando información tanto de factores externos (ambiente) como internos (equipo defectuoso).

45 Los modelos de cálculos anteriores para calcular el contenido de calor real y previo, el flujo de entrada de calor esperado y el flujo de salida de calor esperado, son meramente ejemplos ilustrativos de posibles modelos termodinámicos. Existen varios de dichos modelos que toman más o menos factores en consideración en los cálculos y proporcionan cálculos más o menos precisos.

50 En el modelo para el contenido de calor real anterior, las temperaturas superior e inferior medias se calculan a partir de las mediciones de temperatura en la parte superior e inferior del tanque de transformador, respectivamente. Como entenderá un experto en la materia, más termómetros en diferentes posiciones superiores e inferiores proporcionan mejores datos básicos para el promedio de temperatura. Particularmente en operaciones bajo estados no estables, la temperatura de fluido superior y/o inferior puede variar de manera no lineal en una trayectoria longitudinal de una pared del tanque de transformador hasta una pared del tanque opuesta. Las mediciones a partir de varios termómetros pueden por tanto usarse preferentemente para realizar el promedio, mientras que durante o cerca del estado estable pueden ser suficientes sólo uno o unos pocos termómetros posicionados en la parte superior o inferior.

55 En el modelo de cálculo para el flujo de entrada de calor esperado presentado anteriormente, se determinan las pérdidas resistivas, parásitas y del núcleo generadas por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del transformador a lo largo de un intervalo de tiempo. Para obtener el flujo de entrada de

5 calor, se multiplican las pérdidas por el intervalo de tiempo. Puesto que las pérdidas dependen de la corriente del arrollamiento, puede usarse la corriente del arrollamiento media durante dicho intervalo de tiempo. Un modelo mejor sería calcular las pérdidas en un instante, usando la corriente del arrollamiento en aquel instante en particular y después, una vez más, calcular las pérdidas en otro instante, separado por un intervalo de tiempo del primer instante. Para obtener el calor generado las pérdidas calculadas en tiempos separados se promedian y se multiplican por el intervalo del tiempo que las separa. Otro modelo podía estar basado en varias mediciones de la corriente del arrollamiento a lo largo del tiempo y calcular las pérdidas generadas en cada tiempo de medición. El calor generado se obtiene por tanto haciendo un promedio de todas las pérdidas calculadas y multiplicándolas por la duración del intervalo de tiempo. Si la corriente del arrollamiento puede expresarse como una función del tiempo, el flujo de entrada de calor puede obtenerse a partir de la integración en el tiempo.

10 Justo como para el contenido de calor real y el flujo de entrada de calor esperado, existen modelos de cálculos diferentes para el flujo de salida del calor esperado y pueden usarse por la presente invención. En realidad, el diagnóstico de condiciones puede usar cualquier modelo de cálculo adecuado y por lo tanto están incluidos dentro del alcance de la presente invención.

15 El método de diagnóstico de condiciones de la presente invención se resume en las Figuras. 4 y 5a-5c. El diagnóstico comienza en la etapa 100. En la etapa 102, se determina el contenido de calor real del fluido de enfriamiento, preferiblemente a partir de las mediciones de temperatura del fluido. El contenido de calor previo se obtiene en una etapa 104, a partir de un cálculo o de una memoria. La cantidad esperada de calor que fluye dentro del fluido se calcula en la etapa 106. Típicamente, los cálculos del flujo de entrada de calor esperados son aproximados mediante el calor generado por los arrollamientos, el núcleo del transformador y otras partes del transformador y por lo tanto están basados en la corriente a través de los arrollamientos y en algunos modelos también en la tensión. En la etapa 20 108, se calcula la cantidad esperada del calor que fluye fuera del fluido. Preferiblemente, esto se aproxima mediante la capacidad de enfriamiento esperada de los dispositivos de enfriamiento y los cálculos están preferiblemente basados en mediciones de temperaturas asociadas con los dispositivos de enfriamiento. Se realiza una comparación entre el contenido de calor real y previo determinado, y el calor esperado que fluye dentro y fuera del fluido en la etapa 110. En base a esta comparación, se realizan acciones de diagnóstico en la etapa 118, incluyendo la identificación de un error, que funcionan y que envían información del mismo a medios de visualización. Esta indicación puede estar en forma de indicadores visuales/acústicos, tales como lámparas de alarma, que alertan al operario de un posible funcionamiento inesperado. El método de diagnóstico se completa en la etapa 120.

Las Figuras. 5a a 5c describen formas preferidas para conseguir la etapa de comparación 110 en la Fig. 4 con más detalle.

35 En la realización de la Fig. 5a, se calcula una diferencia entre el flujo de entrada de calor esperado y el contenido de calor real en la etapa 112. A esta diferencia se le añade el contenido de calor previo en la etapa 114 para obtener un flujo de salida de calor real. Este flujo de salida de calor real obtenido se compara después, en la etapa 116, con el flujo de salida de calor esperado para obtener indicativos de las condiciones de funcionamiento del transformador. Las acciones de diagnóstico realizadas de la etapa 118 en la Figura 4 se basan por tanto en esta comparación.

40 En la Fig. 5b se ilustra otra realización de la etapa de comparación 110 en la Figura 4. Se determina una suma del contenido de calor real y de flujo de salida de calor esperado en la etapa 112. En la etapa 114 a la suma resultante se le resta el contenido de calor previo para obtener un flujo de entrada de calor real. El flujo de entrada de calor real se compara, en la etapa 116, con el flujo de entrada de calor esperado. La información de esta comparación se usa después para realizar las acciones de diagnóstico, tal como encender una alarma si, a partir de la comparación, se calcula que las condiciones de funcionamiento son inesperadas e incorrectas.

45 Otra realización adicional de la etapa de comparación 110 de la Fig. 4 se ilustra en la Fig. 5c. En la Fig. 5c se determina una diferencia entre el flujo de entrada de calor esperado y el flujo de salida de calor esperado en la etapa 112. A esta diferencia se le añade el contenido de calor previo en la etapa 114 para obtener un contenido de calor esperado. En la etapa 116 el contenido de calor esperado se compara con el contenido de calor real. En base a esta comparación se realizan acciones de diagnóstico de la etapa 118 en la Fig. 4, incluyendo alertar al operador si las condiciones del funcionamiento no son las esperadas.

55 El método de diagnóstico de condiciones puede realizarse con ventaja varias veces, lo que se ilustra con la línea discontinua 130 en la Fig. 4. El diagnóstico puede realizarse también en diferentes condiciones de funcionamiento. Tales condiciones diferentes pueden, por ejemplo, incluir diferentes condiciones ambientales y/o diferentes efectos de enfriamiento. Si el transformador tiene varios dispositivos

de enfriamiento, el método puede realizarse con diferentes combinaciones de dispositivos de enfriamiento en funcionamiento. También, si los dispositivos de enfriamiento hacerse funcionar en diferentes fracciones de su capacidad nominal, el método puede realizarse en dichas fracciones diferentes de efecto de enfriamiento máximo. Esto hará posible no sólo determinar qué o cuales dispositivos de enfriamiento  
5 están funcionando de forma defectuosa o bloqueados en realidad, sino también obtener información de la dependencia del enfriamiento real sobre la fracción del efecto de enfriamiento máximo.

El método de acuerdo con la presente invención puede aplicarse como un software, hardware o una combinación de los mismos. Un producto de programa informático que aplica el método o una parte del mismo comprende un software o un programa informático que se ejecuta en un ordenador, procesador  
10 o microprocesador con un propósito general o especialmente adaptado. El software incluye elementos de código del programa informático o porciones de código software que hacen que el ordenador realice el método usando al menos una de las etapas descritas anteriormente en la Fig. 4 y preferentemente también en las Fig. 5a-c. El programa puede almacenarse completamente o parcialmente, en uno o más  
15 medios legibles adecuados para el ordenador o medios de almacenamiento de datos tales como, un disco magnético, un disco CD-ROM o DVD, disco duro, medios de almacenamiento de memoria magneto-ópticos, en memorias RAM o volátiles, en memorias ROM o flash, tal como firmware, o en un servidor de datos.

Los elementos básicos de una realización del aparato de diagnóstico de condiciones 5 se describirán a continuación con referencia a la Fig. 6. El flujo de entrada de calor esperado representado por el calor generado por los arrollamientos, el núcleo del transformador y otras partes del transformador se calcula mediante 32. El medio 32 de la presente realización utiliza la corriente que se mide mediante el  
20 amperímetro 12, ilustrado en la Figura 1, que es proporcional a la corriente de los arrollamientos. Se transmite una representación de la corriente de los arrollamientos de esta manera desde el amperímetro al medio 32 a través de la conexión de corriente 22. Después, el medio 32 utiliza este valor de la corriente del arrollamiento para calcular el calor esperado o generado por los arrollamientos y el núcleo de potencia.

El flujo de salida de calor esperado, representado por la capacidad de enfriamiento del medio de enfriamiento se calcula en el medio 34. En esta realización, los datos de entrada de los termómetros en la Fig. 1 se transmiten mediante las conexiones de temperatura 24, 26A al medio 34. Después, el medio 34  
30 utiliza estos datos de temperatura para calcular la capacidad de enfriamiento esperada de los dispositivos de enfriamiento en la condición de funcionamiento actual.

El medio 36 se dispone en el aparato de diagnóstico 5 de la presente realización para determinar, o al menos estimar, el contenido de calor real. En cuanto al medio 34, el medio 36 utiliza los datos de entrada de los termómetros que miden la temperatura del fluido. Estas temperaturas medidas de  
35 temperaturas se obtienen por el medio 36 mediante las conexiones de temperatura 26A, 26B.

En la realización de la presente invención ilustrada en la Fig. 6 se determina mediante el medio 56 del medio de rendimiento 50 una diferencia entre el calor generado esperado, calculado a partir del medio 32, y el contenido de calor real, determinado por el medio 36.

Un medio de memoria 60, que es ventajosamente es no volátil se conecta al medio 52. Este medio de memoria 60 almacena información del contenido de calor previo del fluido. La información de la diferencia entre el flujo de entrada y el flujo de salida de calor esperado, es decir, el cambio esperado en el contenido del calor del fluido, calculado por el medio 52 se envía al medio de memoria 60 y se  
40 almacena. El contenido de calor previo se actualiza después sumando la diferencia de calor calculado del medio 52 al valor almacenado del contenido de calor previo. El resultado se convierte en el contenido de calor previo para un procedimiento de determinación posterior.

El medio 56 del aparato de diagnóstico de condiciones 5 calcula una diferencia entre el calor generado esperado del medio 52 y el contenido de calor real del medio 36. A esta diferencia del medio 56 se le añade el contenido de calor previo del medio de memoria 60 mediante el medio 57 para, en principio, responder a la cantidad real de calor que se retira del sistema de una u otra forma. Una  
50 representación de esta cantidad retirada real de calor se introduce en el medio de comparación 58. El medio de comparación 58 recibe también una representación de la capacidad de enfriamiento esperado, del medio 34. El medio de comparación 58 compara por tanto la cantidad retirada real de calor, con la capacidad de enfriamiento esperada. Si la cantidad retirada real de calor difiere de la capacidad de enfriamiento esperada por más de un cierto porcentaje, las condiciones de funcionamiento del transformador se consideran en esta realización como indeseables y el medio de rendimiento 50 envía información a los indicadores 70 y/o señales 80 a medios de visualización remotos o portátiles 85 (que se describirán con más detalle a continuación). Los indicadores 70 y el medio de visualización 85 indican  
55 posteriormente la condición indeseable como un error de funcionamiento, proporcionándole al operador

una señal de alarma mediante, por ejemplo, iluminando un indicador de alarma 72.

Además, la presente realización, el medio de comparación 58 obtiene una proporción entre la cantidad retirada real de calor y la capacidad de enfriamiento esperada. Esta proporción se transmite a los indicadores 70 y/o medios de visualización 85 que tienen que representarse como un número sobre una pantalla 71. Si la proporción difiere demasiado de la unidad, se enciende además un indicador de alarma 72. Una proporción baja puede indicar un fallo en un dispositivo de enfriamiento aunque una proporción alta puede indicar qué factores externos no considerados tienen importancia. Un operario puede por tanto realizar las acciones requeridas, por ejemplo, hacerse cargo de fallos de mantenimiento antes de que ocurran daños críticos en el transformador.

La Fig. 7 ilustra esquemáticamente otra realización del aparato de diagnóstico 5 con un medio de rendimiento ligeramente diferente a 50. El medio 54 del medio de rendimiento 50 añade la capacidad de enfriamiento esperada del medio 34 al contenido de calor real, determinado por el medio 36.

Un medio de memoria 60, que ventajosamente es no volátil se conecta al medio 36. Este medio de memoria 60 almacena información del contenido de calor previo del fluido. La información del contenido de calor real, calculado por el medio 36 se reenvía al medio de memoria 60 y se almacena. Estos datos almacenados se convierten en el contenido de calor previo para un procedimiento de resolución posterior.

A partir de la suma calculada por el medio 54, el contenido de calor previo del medio de memoria 60 se resta por el medio 55 para obtener una representación de la cantidad real de calor que se introduce dentro del sistema de transformador de una u otra forma. El medio de comparación 58 recibe representaciones del calor real introducido, calculado del medio 55 y del calor generado esperado que se obtiene por el medio 32. En cuanto a la realización descrita anteriormente, el medio 58 envía una señal al medio de rendimiento 50 si el calor real introducido difiere en más de un porcentaje del calor generado esperado. Después, el medio de rendimiento 50 realiza las acciones adecuadas, tales como enviar información a los indicadores 70 y/o transmitir una señal 80 al medio de visualización 85 que a su vez puede alertar a un operador de la presencia de una condición de funcionamiento indeseable.

Además, el medio de comparación 58 de la presente realización puede obtener proporción entre el medio generado esperado y la cantidad real introducida de calor. Esta proporción se transmite a los indicadores y/o medios de visualización 70 para que se muestren como un número en una pantalla 71. Si la proporción difiere demasiado de la unidad, además se enciende un indicador de alarma 72. Una proporción baja puede indicar factores externos, tal como el sol, que aumentan la temperatura del fluido de enfriamiento. Después, un operario puede realizar las acciones requeridas, por ejemplo, compensar el efecto externo aumentando el esfuerzo de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento.

En otra realización más del aparato de diagnóstico 5 en la Fig. 8 se determina por el medio 52 una diferencia entre el calor generado esperado y la capacidad de enfriamiento esperada del medio de funcionamiento 50. A esta diferencia se añade el contenido de calor previo del medio de memoria 60 por el medio 53. El resultado representa el contenido de calor esperado del fluido según se calculó a partir de modelos de fuentes de calor y disipadores de calor en el sistema de enfriamiento. Se introduce una representación de este contenido de calor esperado en el medio de comparación 58. El medio de comparación 58 también recibe una representación del contenido de calor real, del medio 36. Después, el medio de comparación 58 compara el contenido de calor esperado recibido con el contenido de calor real medido. En una situación esperada de estado constante sin fallos de funcionamiento del equipo y factores externos no cubiertos por los modelos termodinámicos, el contenido de calor esperado es igual al contenido de calor real del fluido. Sin embargo, si se presentan fallos en los dispositivos de enfriamiento y/o si factores externos no considerados afectan a la temperatura del fluido, el contenido de calor esperado difiere del contenido de calor real.

Si el medio de comparación 58 encuentra que el contenido de calor esperado difiere significativamente del contenido de calor real, se transmite una noción de condición de funcionamiento no esperada a los indicadores 70 y/o una señal 80 se envía al medio de visualización 85. Los indicadores 70 y el medio de visualización 85 indican posteriormente la condición no deseable como error de funcionamiento, proporcionando a un operario una señal de alarma - fallo leve o fallo grave - dependiendo de la magnitud de la discrepancia. Los indicadores 70 y el medio de visualización 85 pueden incluir, en esta realización, diversas bombillas indicadoras 73, 74, 75 que pueden iluminarse dependiendo de si las condiciones de funcionamiento son correctas, indicador 73, o si algún fallo está presente, indicado con el indicador de fallo leve 74 y el indicador de fallo grave 75, respectivamente.

Con referencia a las Figuras. 6 a 8, los indicadores 70 del aparato de diagnóstico 5 pueden estar en forma de indicadores visuales y/o acústicos que pueden alertar a un operario de que las condiciones de funcionamiento del transformador son inesperadas. En una primera realización los indicadores 70

5 pueden estar en forma de indicar únicamente si el funcionamiento del transformador es correcto o inesperado. Esto puede indicarse mediante una lámpara indicadora que, por ejemplo, puede estar iluminada durante un funcionamiento inesperado o se ilumina con diferentes colores dependiendo de las condiciones de funcionamiento. También puede ser posible, como en la Fig. 8, tener una lámpara  
 10 indicadora para cada condición de funcionamiento, por ejemplo, OK 73, fallo leve 74 y fallo grave 75. Además, puede proporcionarse una pantalla de visualización, como la pantalla 71 en la Fig. 6 y 7, para representar números exactos que representan, por ejemplo, la capacidad de enfriamiento del medio de enfriamiento o el calor generado por los arrollamientos de potencia y el núcleo. Esto da a un operario información más detallada sobre las condiciones de funcionamiento del transformador que si se usan únicamente indicadores de lámpara. Los indicadores visuales pueden complementarse con indicadores acústicos, que pueden dar una señal auditiva de alarma si las condiciones de funcionamiento son particularmente malas, es decir, que corresponden al indicador de fallo grave 75 de la Fig. 8. En realidad, como entenderá un experto en la materia, puede usarse cualquier forma de indicador visual, acústico o de algún otro tipo, para el actual diagnóstico de condiciones.

15 Puede usarse un medio de visualización 85 en lugar o como complemento de los indicadores 70. Después, se transmite la señal 80 de una condición de funcionamiento inesperada como una señal de datos desde el medio de funcionamiento 50 al medio de visualización 85, que puede constituir, por ejemplo, un medio de visualización remoto, tal como un ordenador con medio de recepción y/o un medio de visualización portátil. La señal 80 puede transmitirse como una señal de radio, una señal infrarroja o cualquier otra forma de señal electromagnética. El medio de visualización 85 puede a su vez comprender los indicadores 72, 73, 74, 75 que proporcionan una alarma visual y/o acústica si las condiciones de funcionamiento del transformador son inesperadas. También puede disponerse una pantalla de visualización 71 en el medio de visualización 85. En la pantalla 71 pueden presentarse números exactos, que representan por ejemplo la capacidad de enfriamiento del medio de enfriamiento o el calor generado por los arrollamientos de potencia y el núcleo.  
 20  
 25

A la información transportada por la señal 80, es decir, las condiciones de funcionamiento del transformador, se le da preferiblemente un formato al menos parcialmente de acuerdo con un patrón que es adecuado para un medio de tecnología Web para comunicación y/o ejecución remota. Dicho patrón, hace posible presentar la información transportada por la señal 80 mediante un programa informático basado en Web, tal como un navegador Web. Los patrones pueden incluir, sin limitación, Lenguaje de Marcado de Hipertexto (HTML), HTML Extensible (XHTML), Lenguaje de Marcado Extensible (XML), Protocolo de Acceso a Objeto Simple (SOAP) y Lenguaje de Marcado de Dispositivo Inalámbrico (WDMML).  
 30

El medio de funcionamiento 50 incluye preferiblemente un medio de formateado y un transmisor para dar formato a la información de la señal 80 de acuerdo con el patrón preferido y transmitir la señal 80 al medio de visualización 85. En una realización preferida, el medio de funcionamiento 50 es compatible con los patrones inalámbricos que especifican una interfaz "por el aire" entre el medio de funcionamiento 50 y el medio de visualización remoto y/o portátil 85. Dichos patrones pueden incluir IEEE 802.11, HomeRF, un patrón del Grupo de Interés Especial de Bluetooth (SIG), o si la señal se transmite como ondas infrarrojas, patrones IrDA e IrCOMM.  
 35

40 La señal de salida del medio de funcionamiento del aparato de diagnóstico de condiciones puede usarse no solo para indicar las posiciones de funcionamiento del transformador y cualquier fallo del mismo. La señal de salida también puede introducirse en diferentes sistemas que controlan y/o simulan el funcionamiento del transformador. Introduciendo en dichos sistemas, por ejemplo, los valores reales obtenidos de la capacidad de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento y la cantidad de calor generado por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del transformador, se obtiene un control/simulación más preciso comparado con si sólo se usaran valores esperados. Por ejemplo, si un sistema solamente usa el calor calculado generado por los arrollamientos, el núcleo y otras partes del transformador como una posible fuente de calor, es decir, omite factores externos, puede producirse un control/simulación defectuoso del funcionamiento del transformador. En ciertas condiciones extremas dicho control/simulación defectuoso puede conducir a sobrepasar los umbrales de temperatura de seguridad, puesto que se omite la contribución de calor de, por ejemplo, el sol en el control/simulación. De forma similar se aplica al flujo de salida de calor del sistema de transformador. La mayoría de los sistemas de control/simulación usan el valor máximo (esperado) de la capacidad de enfriamiento en el control/simulación. Sin embargo, si cualquiera de los dispositivos de enfriamiento se dañan u obstruyen la capacidad real de enfriamiento es menor que este valor máximo (esperado) y por lo tanto el control/simulación será incorrecto. Por lo tanto, combinando el diagnóstico de condiciones de la presente invención con diferentes sistemas de control y/o simulación del transformador se obtiene un control y simulación más precisa y fiable, respectivamente, del funcionamiento del transformador. Por consiguiente, la presente invención es un buen complemento de los diferentes sistemas de control y simulación que controlan/simulan transformadores de energía. Los datos del medio de realización de la presente  
 45  
 50  
 55  
 60

5 invención también pueden usarse para calcular una predicción de temperaturas de puntos calientes de los arrollamientos y capacidad de carga del transformador. En cuanto a los sistemas de simulación anteriores, se obtiene una predicción más precisa si se usa, por ejemplo, la capacidad real de enfriamiento de los dispositivos de enfriamiento, determinada por el medio de realización, en lugar de una capacidad de enfriamiento esperada.

Los expertos en la materia entenderán que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios a la presente invención sin desviarse del alcance de la misma, que se define por las reivindicaciones adjuntas.



(60).

9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por la etapa adicional de:
- 5 calcular dicho contenido de calor previo ( $Q^{previo}$ ) intermitentemente de dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{calor}^{esperado}$ ) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ ).
10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que dicha etapa de calcular dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{calor}^{esperado}$ ) a su vez comprende la etapa de:
- 10 obtener valores de las corrientes de arrollamiento.
11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{calor}^{esperado}$ ) se calcula a partir de pérdidas resistivas, pérdidas de inducción y pérdidas de núcleo, que pueden obtenerse de dicho valor de corriente de devanado.
12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que dicha etapa de calcular dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ ) comprende a su vez
- 15 la etapa de:
- medir una temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ).
13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ ) se determina de:
- $$Q_{enfriamiento}^{esperado} \propto K_1 \left( \hat{T} - T_{amb} \right)^\beta,$$
- 20 en la que  $\beta$  es una constante asociada con dicho medio de enfriamiento (4),  $K_1$  depende de la viscosidad de dicho fluido (3) y el número de medios de enfriamiento (4) funcionando y  $\hat{T}$  es una temperatura media de dicho fluido (3).
14. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por las etapas adicionales de:
- 25 determinar una diferencia entre dicho flujo de calor esperado entre dicho fluido ( $Q_{calor}^{esperado}$ ) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ ); y
- añadir dicho contenido de calor previo ( $Q^{previo}$ ) a dicha diferencia para obtener un contenido de calor esperado de dicho fluido (3);
- 30 por lo que dichas acciones de diagnóstico se basan en una comparación entre contenido de calor esperado y dicho contenido de calor real ( $Q^{real}$ ).
15. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por las etapas adicionales de:
- determinar una diferencia entre dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{calor}^{esperado}$ ) y dicho contenido de calor real ( $Q^{real}$ ); y
- 35 añadir dicho contenido de calor previo ( $Q^{previo}$ ) a dicha diferencia para obtener un flujo de salida de calor real de dicho fluido (3);
- por lo que dichas acciones de diagnóstico se basan en una comparación entre dicho flujo de salida de calor real dicho fluido (3) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{enfriamiento}^{esperado}$ ).
- 40 16. El método de acuerdo con la reivindicación 15, caracterizado por que dicha etapa de realizar

dichos diagnósticos a su vez comprende la etapa de:

obtener una relación entre dicho flujo de salida de calor real de dicho fluido (3) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$ ).

- 5 17. El método de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por que dicha proporción se obtiene mediante ajuste de curva de mediciones dependientes de tiempo de dicho flujo de salida de calor real de dicho fluido (3) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$ ).
18. El método de acuerdo con las reivindicaciones 16 ó 17, caracterizado por repetir de dicho método para diferentes condiciones de enfriamiento, obteniendo de este modo una proporción para cada condición de enfriamiento, basándose dichas acciones de diagnóstico en dichas proporciones.
- 10 19. El método de acuerdo con la reivindicación 18, caracterizado por que se define una condición de enfriamiento por el número de medios de enfriamiento (4) en funcionamiento y/o el efecto de funcionamiento de dichos medios de enfriamiento (4).
20. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por las etapas adicionales de:
- 15 determinar una suma de dicho contenido de calor real ( $Q^{\text{real}}$ ) y dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$ );
- restar dicha suma de dicho contenido de calor previo ( $Q^{\text{previo}}$ ) para obtener un flujo de calor real en dicho fluido (3);
- por lo que dichas acciones de diagnóstico se basan en una comparación entre dicho flujo de calor real en dicho fluido (3) y dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{\text{calor}}^{\text{esperado}}$ ).
- 20 21. El método de acuerdo con la reivindicación 20, caracterizado por que dicha etapa de realizar dicho diagnóstico comprende a su vez la etapa de:
- obtener una proporción entre dicho flujo de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{\text{calor}}^{\text{esperado}}$ ) y dicho flujo de calor real en dicho fluido (3).
- 25 22. El método de acuerdo con la reivindicación 21, caracterizado por que dicha proporción se obtiene mediante ajuste de curva de mediciones dependientes de tiempo de dicho flujo de calor real en dicho fluido (3) y dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{\text{calor}}^{\text{esperado}}$ ).
23. El método de acuerdo con las reivindicaciones 21 ó 22, caracterizado por repetir dicho método para diferentes condiciones ambientales, obteniendo de este modo un cociente para cada condición ambiental, basándose dichas medidas de diagnóstico en dichos cocientes.
- 30 24. El método de acuerdo con las reivindicación 5 ó 6, caracterizado por las etapas adicionales de:
- calcular una temperatura superior e inferior esperada de dicho fluido (3) de dicho flujo de calor esperado en dicho fluido ( $Q_{\text{calor}}^{\text{esperado}}$ ), dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido ( $Q_{\text{enfriamiento}}^{\text{esperado}}$ ) y dicho contenido de calor previo ( $Q^{\text{previo}}$ );
- 35 determinar una diferencia de temperatura esperada entre dichas temperaturas de fluido superior e inferior esperadas;
- determinar una diferencia de temperatura real entre dicha temperatura superior ( $T_T$ ) e inferior ( $T_B$ ) de dicho fluido (3); y
- comparar dicha diferencia de temperatura esperada y dicha diferencia de temperatura real.
- 40 25. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6 ó 24, caracterizado por que dichas mediciones de temperatura directas se realizan para temperaturas por debajo de un umbral de temperatura de alarma de dicho dispositivo inductivo de energía (1).
26. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 25, caracterizado por que dichas acciones de diagnóstico comprenden la indicación de error de funcionamiento.
- 45 27. Un aparato (5) para diagnóstico de condiciones de un dispositivo inductivo de energía (1) que

tiene arrollamientos de potencia (2) inmersos en un fluido (3) que se enfría mediante un medios de enfriamiento (4), que comprende:

- un medio (36) para determinar un contenido de calor real de dicho fluido (3);
- un medio (60) para obtener un contenido de calor previo de dicho fluido (3); y
- 5 un medio (32) para calcular un flujo de calor esperado en dicho fluido (3);

caracterizado por:

- un medio (34) para calcular un flujo de salida de calor esperado de dicho fluido (3); y
- 10 un medio de funcionamiento (50) con relación a dicho medios de cálculo (32, 34), determinación (36) y obtención (60), que se disponen para realizar acciones de diagnóstico basadas en dicho contenido de calor real, dicho contenido de calor previo, dicho flujo de calor esperado de entrada y de salida de dicho fluido (3), respectivamente.

28. El aparato de acuerdo con la reivindicación 27, caracterizado por que dicho medio de determinación (36) está conectado a los termómetros (16A, 16B) puestos en contacto con dicho fluido (3) para mediciones de una temperatura superior e inferior del mismo.

15 29. El aparato de acuerdo con la reivindicación 27 ó 28, caracterizado por que dicho medio (32) para calcular dicho flujo de calor esperado en dicho fluido (3) está conectado a medios (12) para obtener valores de corrientes de arrollamiento.

30. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 29, caracterizado por que dicho medio (34) para calcular dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido (3) está conectado a 20 termómetros (14, 16A) para medir las temperaturas ambiente y del fluido.

31. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 30, caracterizado por los indicadores (70) conectados a dicho medio de funcionamiento (50) que se disponen para indicar error de funcionamiento.

25 32. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 31, caracterizado por que dicho dispositivo inductivo de energía (1) es un transformador de potencia.

33. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 27 a 31, caracterizado por que dicho dispositivo inductivo de energía (1) es un reactor.

30 34. Un dispositivo inductivo de energía (1) que comprende arrollamientos de potencia (2) inmersos en un fluido (3) que se enfría mediante los medios de enfriamiento (4) y un medio de diagnóstico de condiciones (5), que a su vez comprende:

- un medio (36) para determinar un contenido de calor real de dicho fluido (3);
- un medio (60) para obtener un contenido de calor previo de dicho fluido (3); y
- un medio (32) para calcular un flujo de calor esperado en dicho fluido (3);

caracterizado por:

- 35 un medio (34) para calcular un flujo de salida de calor esperado de dicho fluido (3); y
- un medio de funcionamiento (50) con relación a dicho medio de cálculo (32, 34), medios de determinación (36) y obtención (60), que se disponen para acciones de diagnóstico de funcionamiento basándose en dicho contenido de calor real, dicho contenido de calor previo, dicho flujo de calor esperado de entrada y salida de dicho fluido (3), respectivamente.

40 35. El dispositivo de energía de acuerdo con la reivindicación 34, caracterizado por que dicho medio de terminación (36) está conectado a termómetros (16A, 16B) puestos en contacto con dicho fluido (3) para mediciones de una temperatura superior e inferior del mismo.

45 36. El dispositivo de energía de acuerdo con la reivindicación 34 ó 35, caracterizado por que dicho medio (32) para calcular dicho flujo de calor esperado en dicho fluido (3) está conectado a medios (12) para obtener valores de corrientes de arrollamiento.

37. El dispositivo de energía de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 36, caracterizado por que dicho medio (34) para calcular dicho flujo de salida de calor esperado de dicho fluido (3) está conectado a termómetros (14, 16A) para medir las temperaturas ambiente y de un fluido.

50 38. El dispositivo de energía de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 37, caracterizado por indicadores (70) conectados a dicho medio de funcionamiento (50) que se disponen para indicar error de funcionamiento.

39. El dispositivo de energía de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 38, caracterizado por que dicho dispositivo inductivo de energía (1) es un transformador de potencia.
40. El dispositivo de energía de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 34 a 38, caracterizado por que dicho dispositivo inductivo de energía (1) es un reactor.
- 5 41. Un producto de programa informático que comprende un medio de código informático y/o porciones de código de software para hacer que un procesador realice las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 26.
42. El producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 41, caracterizado por suministrarse a través de una red, tal como Internet.
- 10 43. Un medio que puede leerse en un ordenador que contiene un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 41 ó 42.
44. Una señal de datos (80) que comprende información referente a las condiciones de funcionamiento de un dispositivo inductivo de energía (1) inmerso en un fluido (3), caracterizado por que dicha información está basada en una comparación entre un contenido de calor real de dicho fluido (3), un contenido de calor previo de dicho fluido (3), un flujo de calor esperado en dicho fluido (3) y un flujo de salida de calor esperado de dicho fluido (3).
- 15 45. La señal de datos de acuerdo con la reivindicación 44, caracterizada por que dicha información tiene un formato al menos parcialmente de acuerdo con un patrón adecuado para un medio de tecnología Web para comunicación y/o ejecución remota.
- 20 46. La señal de datos de acuerdo con la reivindicación 45, caracterizada por que dicho patrón se selecciona de la lista:
- Lenguaje Marcado de Hipertexto (HTML);  
HTML Extensible (XHTML),  
Lenguaje de Marcado Extensible (XML),  
25 Protocolo de Acceso de Objeto Simple (SOAP); y  
Lenguaje de Marcado de Dispositivo Inalámbrico (WDML).
47. La señal de datos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 44 a 46, caracterizada por que dicha señal de datos (80) se transmite mediante un medio de transmisión inalámbrico (50).
- 30 48. La señal de datos de acuerdo con la reivindicación 47, caracterizada por que dicho medio de transmisión inalámbrico (50) es compatible con al menos uno los patrones de la lista de:
- IEEE 802.11;  
HomeRF; y  
un patrón del Grupo de Internet Especial de Bluetooth (SIG).
- 35 49. La señal de datos de acuerdo con la reivindicación 47, caracterizada por que dicho medio de transmisión inalámbrico (50) transmite dicha información en forma de ondas infrarrojas.
50. La señal de datos de acuerdo con la reivindicación 49, caracterizada por que dicho medio de transmisión inalámbrico (50) es compatible con un patrón de infrarrojos, tal como protocolos IrDA y/o IrCOMM.
- 40 51. La señal de datos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 47 a 50, caracterizada por que dicha señal de datos (80) se recibe mediante un medio de visualización remota (85).
52. La señal de datos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 47 a 50, caracterizada por que dicha señal de datos (80) se recibe mediante un medio de visualización portátil (85).

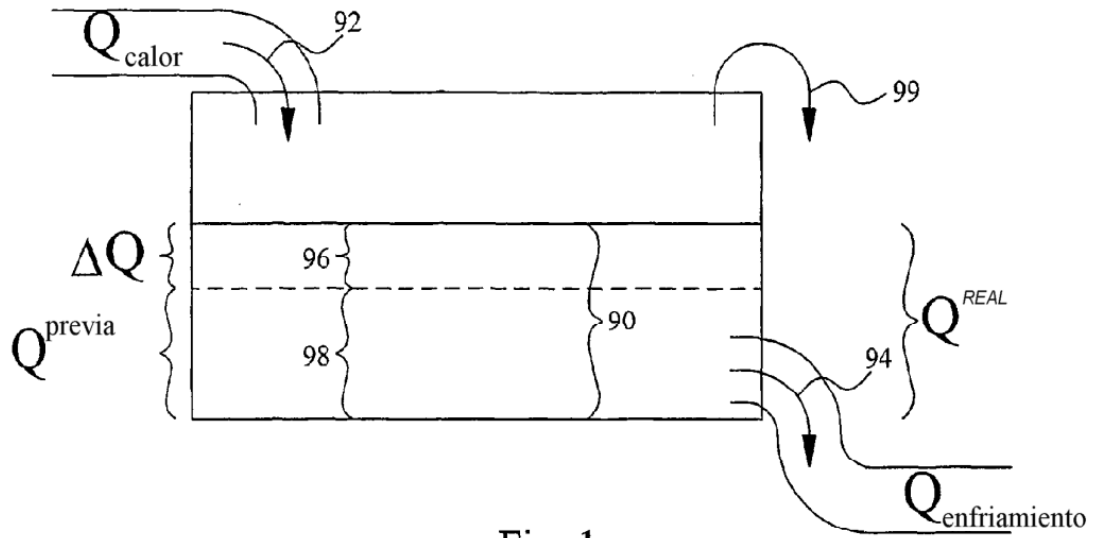


Fig. 1

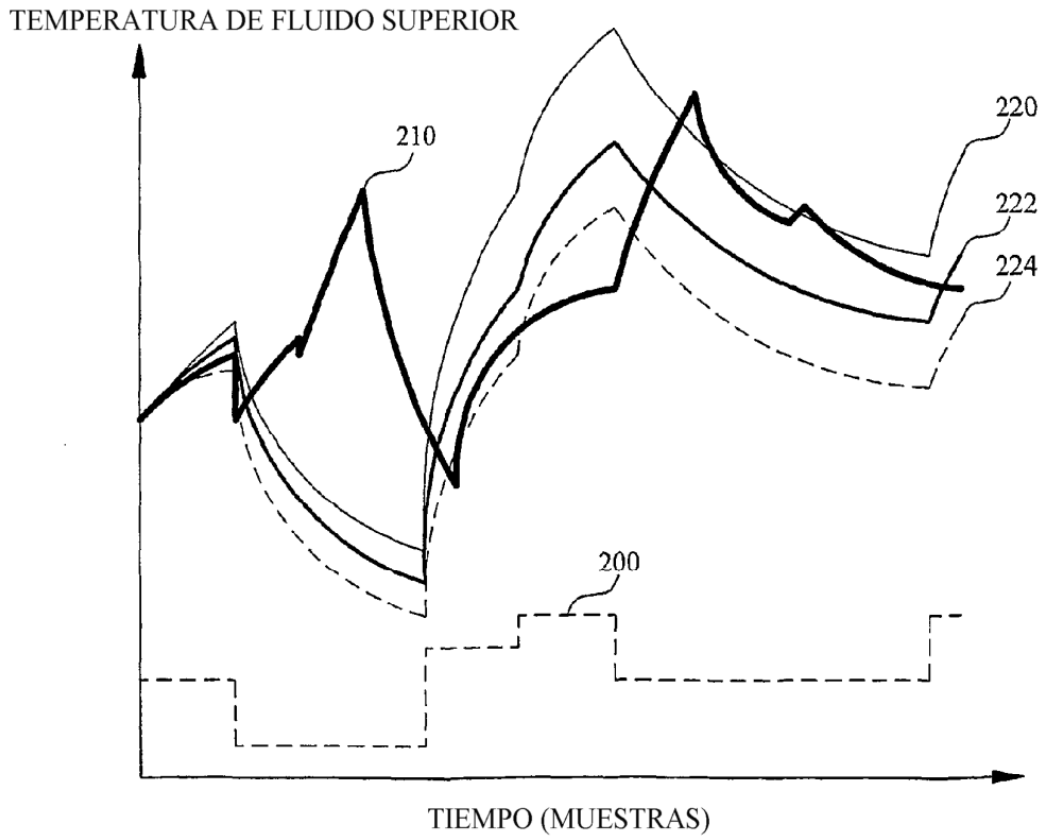


Fig. 3

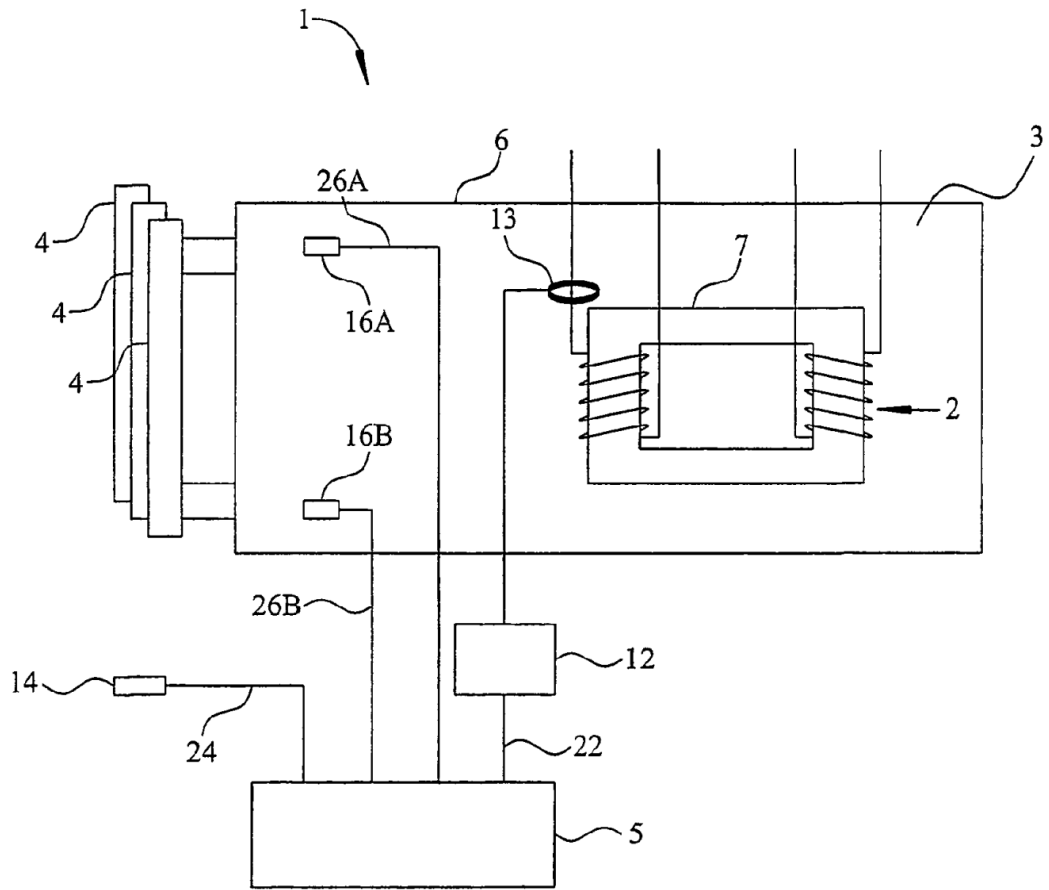


Fig. 2

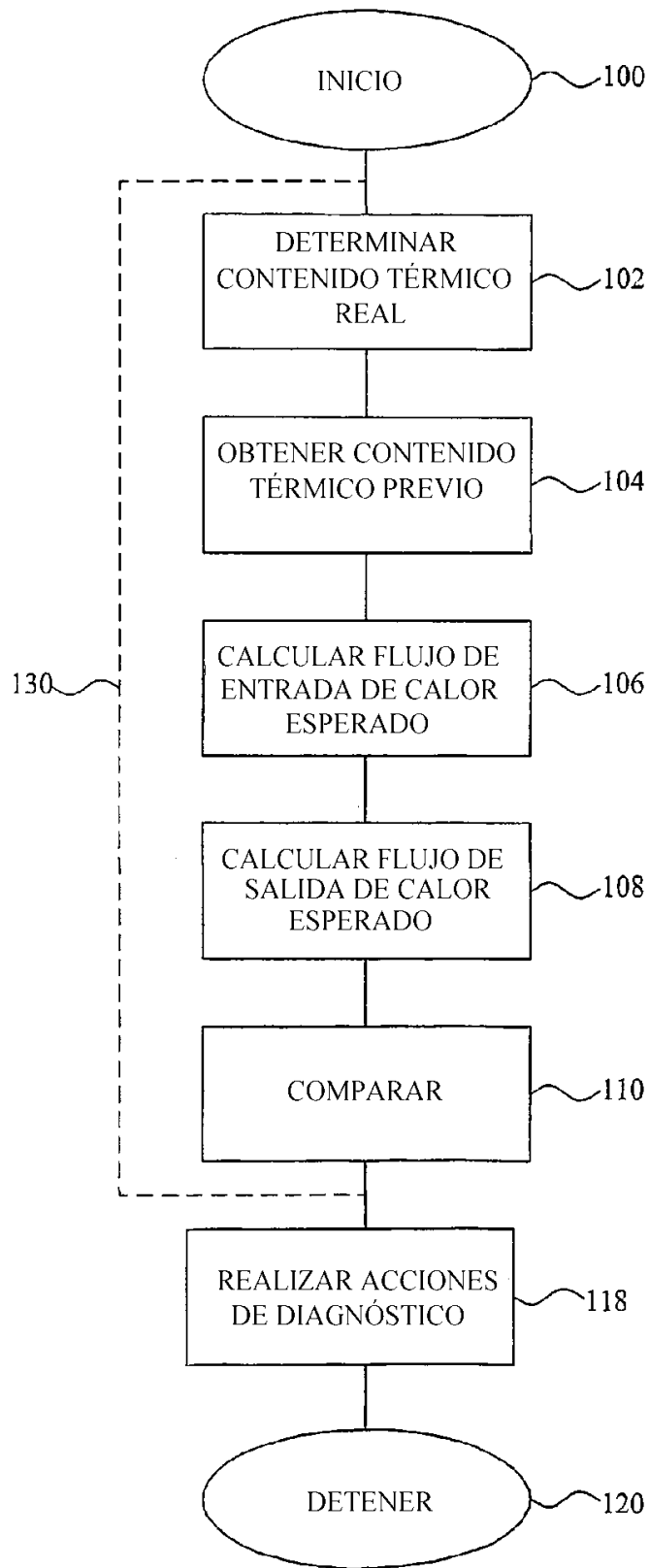


Fig. 4

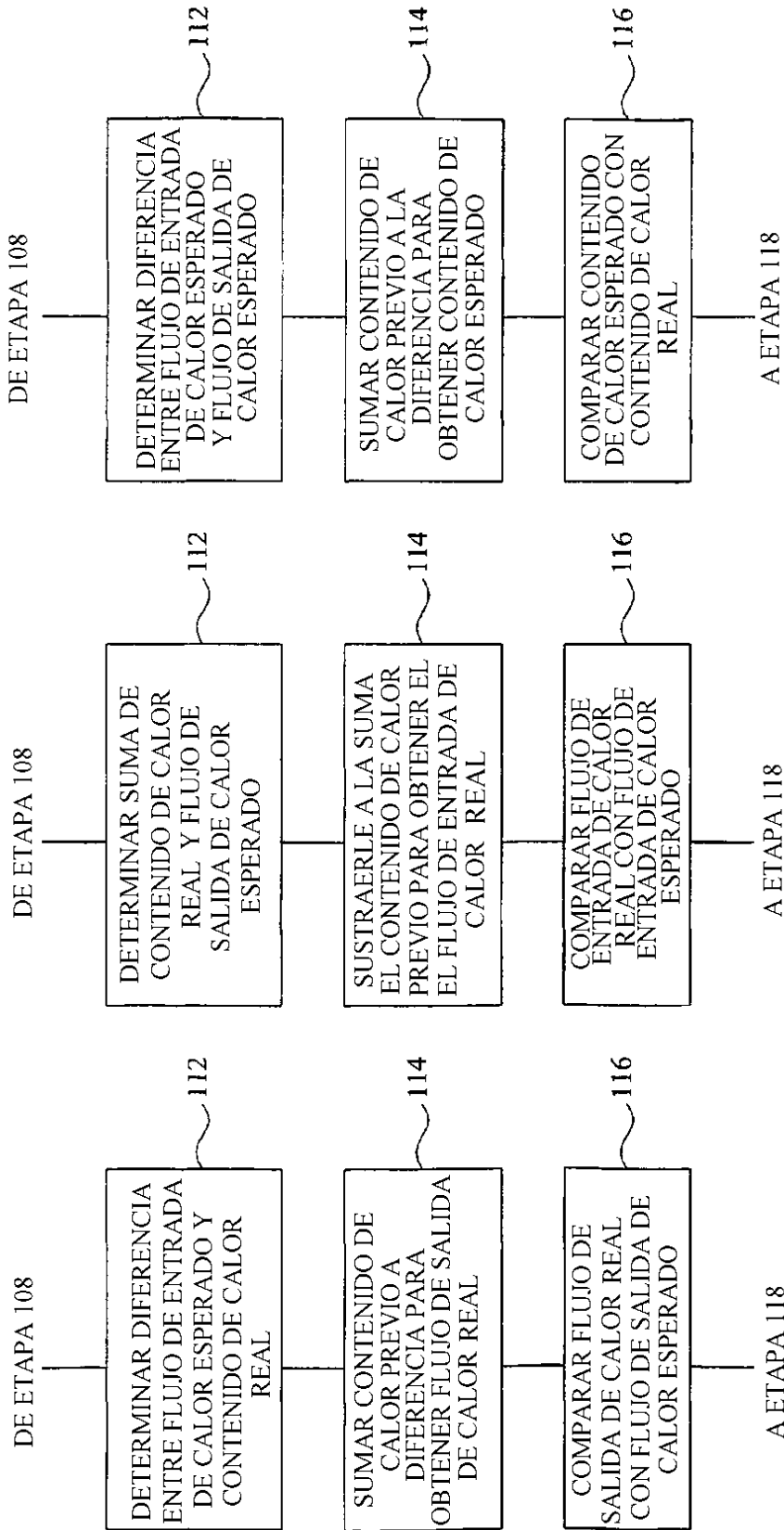


Fig. 5a

Fig. 5b

Fig. 5c

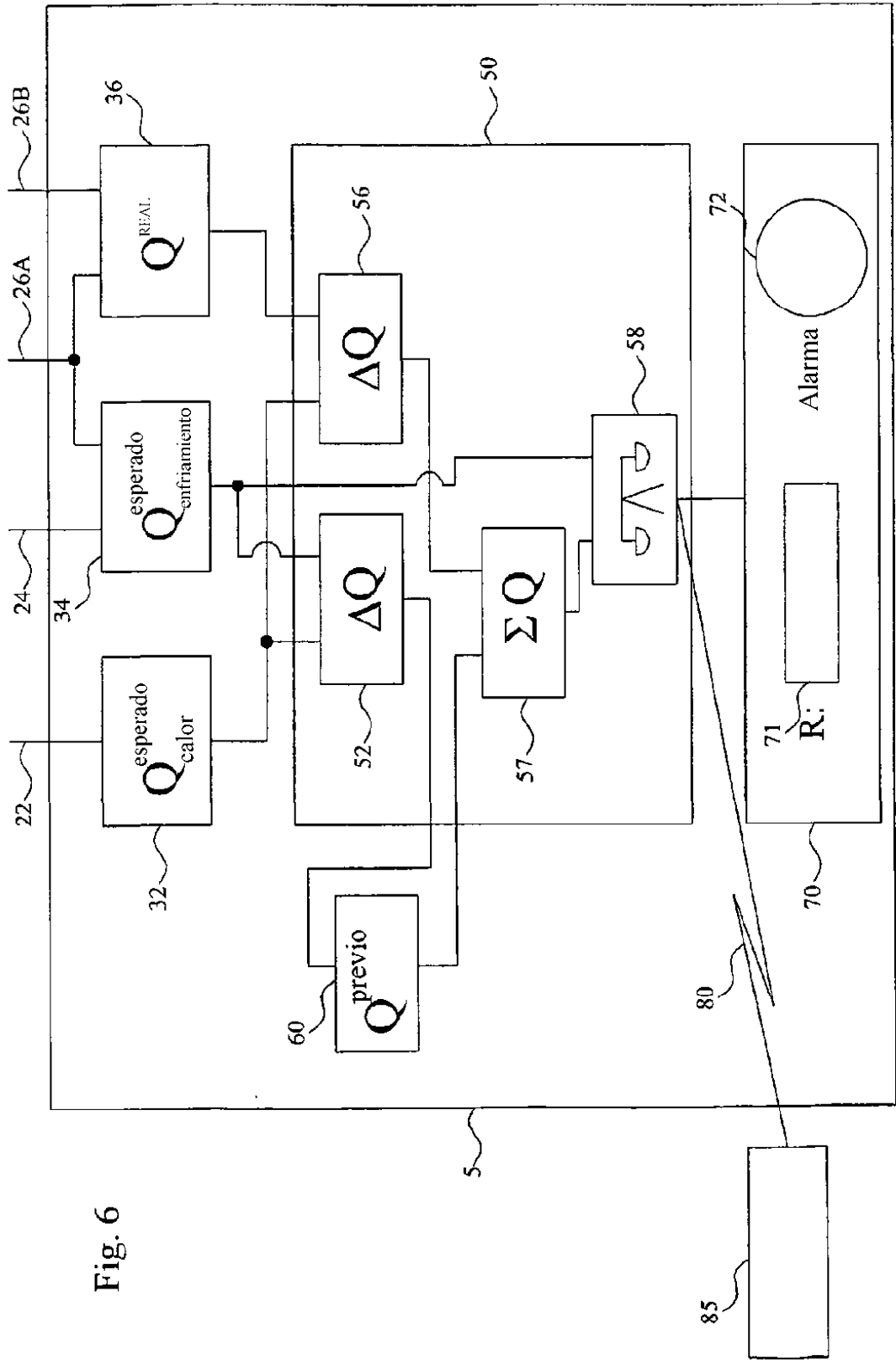
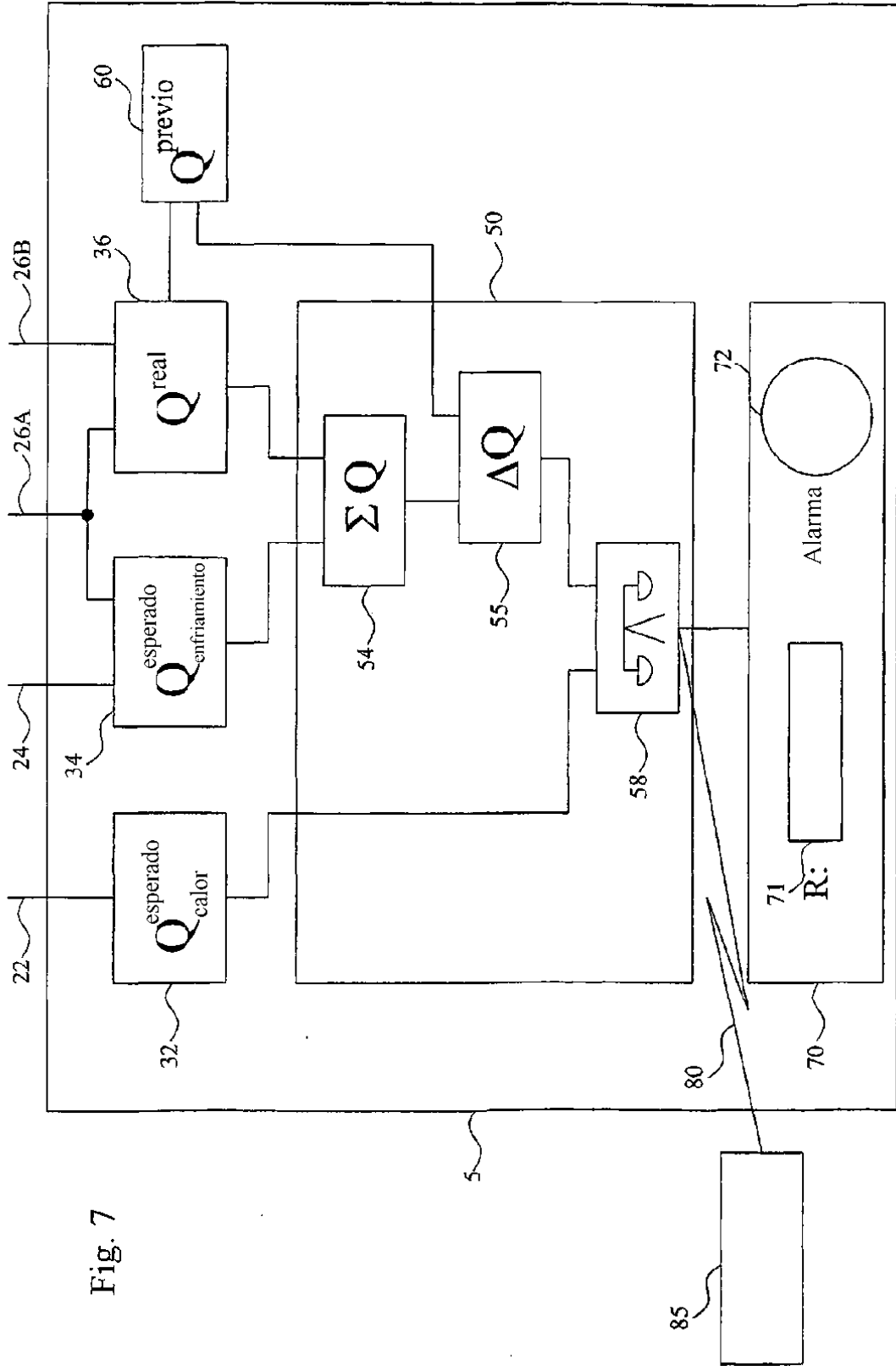


Fig. 6



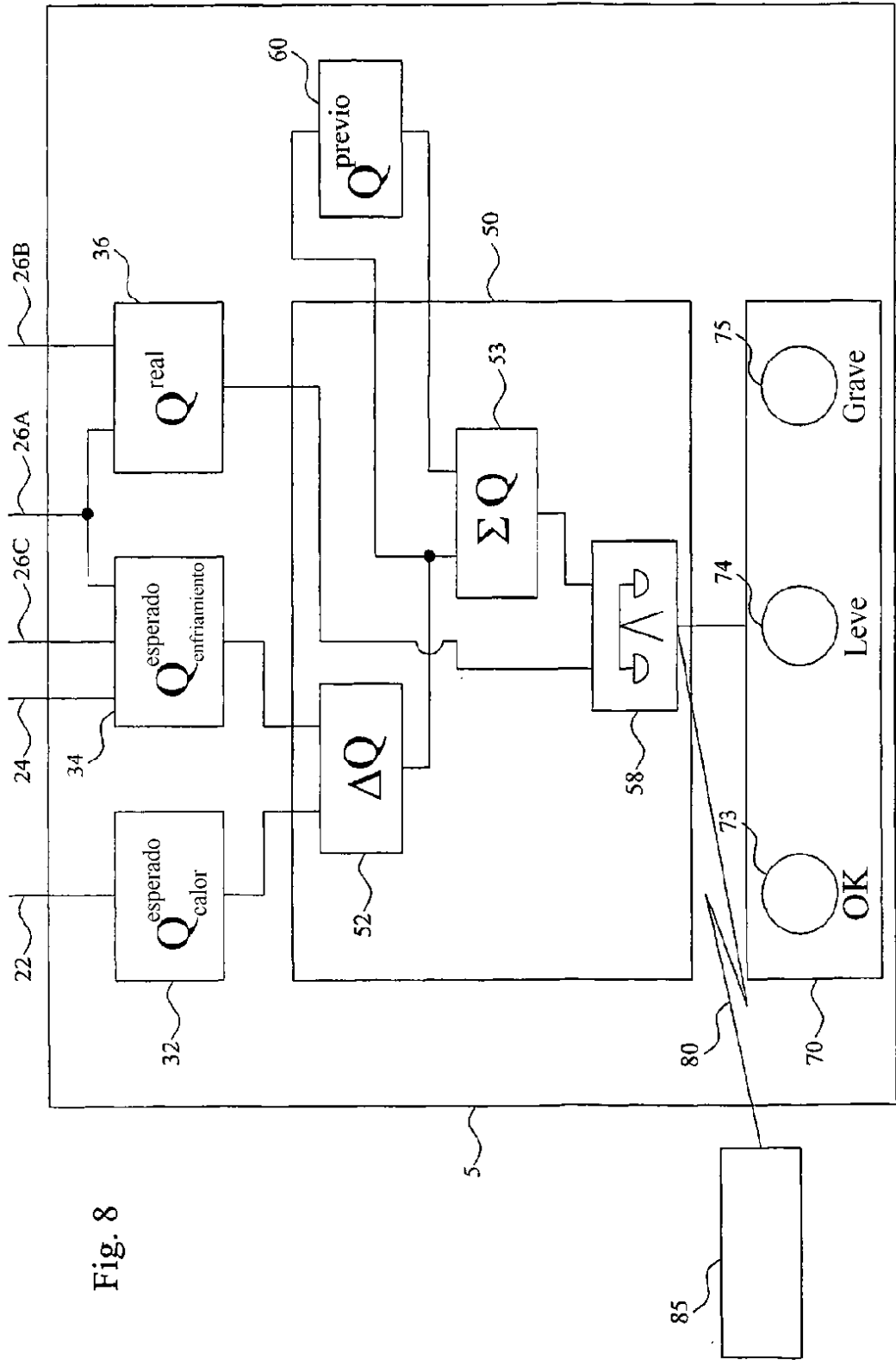


Fig. 8