(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 959 517**

(51) Int. Cl.:

G01K 1/16 (2006.01)
G01K 1/143 (2011.01)
G01K 7/42 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2018 PCT/EP2018/080791**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2020 WO20094240**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2018 E 18810893 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2023 EP 3850319**

(54) Título: **Disposición para determinar la temperatura de una superficie**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2024

(73) Titular/es:

SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG (100.0%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE

(72) Inventor/es:

ARMSCHAT, CHRISTOPH y
WEIGT, UWE

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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

Disposición para determinar la temperatura de una superficie

La presente invención hace referencia a una disposición para determinar la temperatura de una superficie, así como a un procedimiento para determinar la temperatura de una superficie.

En el ámbito industrial con frecuencia deben determinarse temperaturas de superficies, por ejemplo temperaturas de superficies de componentes comparativamente calientes. Las temperaturas que deben determinarse, por ejemplo, pueden ascender a 80°C, 150°C, 200°C o también pueden ser superiores. En ese caso, existe el riesgo de que una unidad de sensor utilizada resulte afectada o incluso dañada debido a las temperaturas elevadas. Este problema se evidencia particularmente cuando la unidad de sensor, además de un sensor de temperatura, presenta también otras unidades electrotécnicas o electrónicas, como por ejemplo un acumulador de energía eléctrico o una unidad de transmisión de datos inalámbrica. Por ejemplo, esto es posible en las instalaciones de alta tensión, en las que pueden presentarse temperaturas elevadas debido a tensiones, corrientes y/o potencias eléctricas aplicadas elevadas. Puesto que debido a la alta tensión a menudo no se considera deseable una transmisión de datos conectada mediante cables, en el caso de mediciones de temperatura de esa clase es posible utilizar unidades de transmisión de datos inalámbricas, así como acumuladores de energía eléctricos instalados en la unidad de sensor. Los acumuladores de energía eléctricos de esa clase (por ejemplo acumuladores de energía químicos, como baterías o acumuladores), sin embargo, presentan una vida útil muy acortada a temperaturas elevadas. Las unidades de transmisión de datos inalámbricas (debido a los componentes electrónicos contenidos en las mismas), son sensibles a las temperaturas elevadas.

Por la primera publicación de la solicitud GB 2 266 771 A se conoce un termómetro que presenta una barrera térmicamente conductora. Esa barrera térmicamente conductora está provista de un elemento de calentamiento o de refrigeración. En la barrera está dispuesto un sensor de temperatura; en una punta del termómetro está dispuesto un segundo sensor de temperatura.

En el documento EP 2 329 240 A1 se describe un aparato de medición para determinar la temperatura del cuerpo animal o humano. Ese aparato de medición presenta dos sensores de temperatura que presentan una distancia diferente desde la superficie del cuerpo. Si son conocidas las características térmicas del cuerpo, con ello puede determinarse la temperatura central del cuerpo.

En la primera publicación de la solicitud DE 199 17 372 A1 se describe un aparato de medición para registrar la temperatura de una superficie, el cual está provisto de una punta de sonda para la colocación contra la superficie y de un sensor de temperatura para el registro de la temperatura de la punta de sonda. Una unidad de evaluación está diseñada de manera que la misma determina la temperatura de la superficie a partir del curso del tiempo de la temperatura registrada en la punta de sonda, mediante un modelo matemático.

El objeto de la presente invención consiste en proporcionar una disposición y un procedimiento con los que pueda ampliarse el ámbito de aplicación de una unidad de sensor que presenta un sensor de temperatura.

Dicho objeto, según la invención, se soluciona mediante una disposición y mediante un procedimiento según las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se indican configuraciones ventajosas de la disposición y del procedimiento.

Se describe una disposición para determinar la temperatura de una superficie, con

- una primera unidad de sensor que presenta un primer sensor de temperatura,
- un primer elemento conductor de calor que está conformado para conectar la primera

Unidad de sensor (térmicamente) a la superficie,

- un segundo elemento conductor de calor que está diseñado para conectar la primera unidad de sensor (térmicamente) a un punto de referencia distanciado de la superficie (por ejemplo en el entorno de un componente que presenta la superficie), (debido a lo cual en la primera unidad de sensor se presenta una temperatura que se ubica entre la temperatura de la superficie y la temperatura del punto de referencia). Debido a esto, con la primera unidad de sensor (expresado con mayor precisión, con el primer sensor de temperatura de la primera unidad de sensor) es posible medir una temperatura más elevada que aquella para la que está diseñada la primera unidad de sensor, y la cual puede aplicarse a la primera unidad de sensor. Dependiendo de la conformación del primer elemento conductor de calor y del segundo elemento conductor de calor pueden medirse temperaturas considerablemente más elevadas que la temperatura máxima que la

unidad de sensor se encuentra en condiciones de medir. La temperatura del punto de referencia, por ejemplo, puede ser la temperatura de un medio de refrigeración del componente, en particular la temperatura de aire de refrigeración que circula alrededor del componente.

La disposición puede estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor formen un divisor de calor, donde el primer elemento conductor de calor presenta una primera resistencia térmica y el segundo elemento conductor de calor presenta una segunda resistencia térmica.

Debido a esto, la temperatura que se presenta en la primera unidad de sensor es menor que la temperatura de la superficie.

El primer elemento conductor de calor y el segundo elemento conductor de calor están conformados de manera que la temperatura, que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor, en grados Celsius, es de entre 20% y 70% de la temperatura de la superficie, en particular de entre 20% y 40% de la temperatura de la superficie. Debido a esto se amplía considerablemente el rango de determinación de temperatura de la disposición, en comparación con el rango de determinación de temperatura de la primera unidad de sensor.

La disposición también puede estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor esté dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor y el segundo elemento conductor de calor esté dispuesto en el lado opuesto de la primera unidad de sensor. Debido a esto tiene lugar un flujo de calor comparativamente sin obstrucciones, desde la superficie, sobre el primer elemento conductor de calor, la primera unidad de sensor y el segundo elemento conductor de calor, hacia el punto de referencia.

La disposición también estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor esté dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor orientado hacia la superficie, y el segundo elemento conductor de calor esté dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor, apartado de la superficie. Gracias a esto también se posibilita un flujo de calor comparativamente sin obstrucciones.

La disposición también puede estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor respectivamente presenten una superficie de la sección transversal en forma de T. Mediante la barra transversal de la T, el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor puede acoplarse térmicamente a la superficie, a la primera unidad de sensor o al punto de referencia. Expresado de otro modo, la barra transversal de la T posibilita una buena transferencia de calor hacia el primer o el segundo elemento de calor, o desde el mismo.

La disposición también puede estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor respectivamente presenten una superficie de la sección transversal en forma de una doble T. En este caso, las dos barras transversales del primer o del segundo elemento conductor de calor posibilitan una buena transferencia de calor hacia el primer o el segundo elemento conductor de calor, o desde el mismo.

La disposición puede estar conformada de manera que el primer elemento conductor de calor sea un disco y/o el segundo elemento conductor de calor sea un capuchón. Mediante la disposición de la primera unidad de sensor entre el disco y el capuchón resulta una estructura muy compacta de la disposición.

La disposición también puede estar conformada de manera que el segundo elemento conductor de calor presente nervaduras de refrigeración. Esto posibilita una buena disipación de calor desde el segundo elemento conductor de calor hacia el punto de referencia (por tanto, hacia el entorno del componente que presenta la superficie). Gracias a esto se asegura un flujo de calor continuo a través del divisor de calor.

La disposición puede estar conformada de manera que la primera unidad de sensor, el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor estén aislados térmicamente con respecto a un fluido que los rodea, en particular con respecto al aire que los rodea. Debido a esto se reduce una posible alteración de la determinación de la temperatura mediante un fluido que circula con una rapidez diferente por delante de distintos puntos de la disposición (por ejemplo corrientes de aire con una rapidez diferente).

La disposición también puede presentar un elemento de protección para la protección frente a la radiación térmica, que está dispuesto distanciado de la primera unidad de sensor, del primer elemento conductor de calor y/o del segundo elemento conductor de calor. Ese elemento de protección reduce la influencia de alteración de la radiación térmica que puede llegar a la disposición (por ejemplo mediante el fluido circundante, en particular aire).

La disposición puede presentar una segunda unidad de sensor para determinar la temperatura del punto de referencia, donde la segunda unidad de sensor presenta un segundo sensor de temperatura, y la segunda unidad de sensor está dispuesta en un lado del segundo elemento conductor de calor apartado de la primera unidad de sensor.

De este modo puede determinarse la temperatura del punto de referencia y la disposición puede estructurarse de forma especialmente compacta.

La disposición también puede presentar una segunda unidad de sensor para determinar la temperatura del punto de referencia, donde la segunda unidad de sensor puede fijarse en la superficie mediante un espaciador. Mediante el espaciador se asegura una distancia entre la superficie y la segunda unidad de sensor. Gracias a esto puede mantenerse reducida una influencia de alteración de la superficie (caliente) en la determinación de la temperatura del punto de referencia.

La disposición también puede conformarse de manera que el primer elemento conductor de calor presente una primera resistencia térmica, y que la resistencia térmica del espaciador sea más grande, en particular al menos 5 veces más grande, que la primera resistencia térmica. Debido a esto se logra que la influencia de alteración de la superficie en la segunda unidad de sensor sea relativamente reducida.

La disposición también puede estar conformada de manera que la superficie sea la superficie de un componente, en particular la superficie de un componente de una instalación de alta tensión. Con ello, de manera ventajosa, en particular puede determinarse la temperatura de la superficie de un componente de la instalación de alta tensión.

La disposición también puede estar conformada de manera que la primera unidad de sensor (adicionalmente con respecto al primer sensor de temperatura) presente un acumulador de energía eléctrico y/o una unidad de transmisión de datos inalámbrica. Una unidad de sensor de esa clase por ejemplo puede ser una unidad de sensor de radio que presente un acumulador de energía y/o una unidad de transmisión de datos de radio. Mediante la unidad de transmisión de datos inalámbrica, los valores de medición (o valores derivados de los valores de medición) pueden transmitirse de forma sencilla desde la primera unidad de sensor hacia un receptor adecuado. Esto es particularmente ventajoso en una instalación de alta tensión.

Se describe además un procedimiento para determinar la temperatura de una superficie mediante una primera unidad de sensor que presenta un primer sensor de temperatura, un primer elemento conductor de calor que conecta (térmicamente) la primera unidad de sensor a la superficie, y un segundo elemento conductor de calor que conecta la primera unidad de sensor (térmicamente) a un punto de referencia distanciado de la superficie (por ejemplo en el entorno de un componente que presenta la superficie), donde el primer elemento conductor de calor y el segundo elemento conductor de calor están conformados de manera que la temperatura, que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor, en grados Celsius, es de entre 20% y 70% de la temperatura de la superficie, en particular de entre 20% y 40% de la temperatura de la superficie, cuando la temperatura de la superficie es más elevada que la temperatura del punto de referencia, donde en el procedimiento

- mediante el primer sensor de temperatura se mide una primera temperatura que se presenta en el lugar del primer sensor de temperatura, donde la primera temperatura se encuentra entre la temperatura de la superficie y la temperatura del punto de referencia, y

- a partir de la primera temperatura medida y la temperatura del punto de referencia se determina la temperatura de la superficie. Por ejemplo, la temperatura de la superficie puede determinarse mediante cálculos a partir de la primera temperatura medida y de la temperatura del punto de referencia.

El procedimiento puede desarrollarse de manera que a partir de la primera temperatura medida y de la temperatura del punto de referencia se determina la temperatura de la superficie, mediante propiedades térmicas previamente conocidas del primer elemento conductor de calor y del segundo elemento conductor de calor. Las propiedades térmicas previamente conocidas pueden tratarse por ejemplo de la resistencia térmica del primer elemento conductor de calor y de la resistencia térmica del segundo elemento conductor de calor.

El procedimiento puede desarrollarse de manera que a partir de la primera temperatura medida y de la temperatura del punto de referencia se determina la temperatura de la superficie, mediante una dependencia previamente conocida de la temperatura de la superficie de la primera temperatura medida a la respectiva temperatura del punto de referencia. La dependencia previamente conocida puede haber sido determinada previamente, por ejemplo en un ensayo de laboratorio.

El procedimiento también puede desarrollarse de manera que la dependencia previamente conocida se almacene en una tabla o en una memoria electrónica, como valores relacionados. En ese caso es ventajoso que la temperatura de la superficie pueda leerse fácilmente desde la tabla o desde la memoria; para ello no deben realizarse operaciones de cálculo complejas.

El procedimiento también puede desarrollarse de manera que mediante un segundo sensor de temperatura se mida la temperatura del punto de referencia. Gracias a esto siempre puede determinarse realmente la temperatura del punto de referencia.

La disposición descrita y el procedimiento descrito presentan las mismas ventajas o ventajas de la misma clase.

A continuación, la invención se explica en detalle mediante ejemplos de ejecución. Los mismos símbolos de referencia remiten a elementos idénticos o que actúan del mismo modo.

A este respecto, representan

Figura 1 un primer ejemplo de ejecución de una disposición que está dispuesta en la superficie de un componente de alta tensión,

Figura 2 un segundo ejemplo de ejecución de una disposición con un primer elemento conductor de calor y un segundo elemento conductor de calor que respectivamente presentan una superficie de la sección transversal en forma de una doble T,

Figura 3 un ejemplo de ejecución de una segunda unidad de sensor que está montada en una superficie mediante un espaciador, en una vista lateral representada parcialmente en sección,

Figura 4 la segunda unidad de sensor de la figura 3 en una vista desde arriba,

Figura 5 la segunda unidad de sensor de la figura 3 en una vista lateral representada parcialmente seccionada, desde otro lado,

Figura 6 un ejemplo de ejecución de una disposición con un elemento de protección,

Figura 7 un ejemplo de ejecución de un modelo térmico de la disposición, y

Figura 8 un ejemplo de ejecución de una unidad de sensor.

En la figura 1, en una representación parcialmente en sección, está representado un ejemplo de ejecución de una disposición 1 para determinar una temperatura de una superficie 3 de un componente 6. En particular el componente 6 puede tratarse de un componente de una instalación de alta tensión (componente de alta tensión 6). En el ejemplo de ejecución, el componente se trata de una brida 6 (expresado con mayor precisión, de una brida superior 6) de un protector contra sobretensión 9, como se utiliza en particular en la tecnología de alta tensión. No obstante, la brida 6 y el protector contra sobretensión 9 deben entenderse sólo a modo de ejemplo; en otro ejemplo de ejecución, mediante la disposición 1 naturalmente también puede determinarse la temperatura de otra superficie.

La disposición 1 presenta un primer elemento conductor de calor 12, una primera unidad de sensor 15 y un segundo elemento conductor de calor 18. La primera unidad de sensor 15 presenta un primer sensor de temperatura 803 (véase la figura 8), con el que puede medirse la temperatura de la primera unidad de sensor 15. Además, la primera unidad de sensor 15 presenta un acumulador de energía eléctrico 806 para abastecer de energía eléctrica, al menos transitoriamente, a la primera unidad de sensor 15. Además, la primera unidad de sensor 15 presenta una unidad de transmisión de datos inalámbrica 809 (por ejemplo una unidad de transmisión de datos de radio), para transmitir valores de medición del primer sensor de temperatura 803 (o valores derivados de esos valores de medición), de forma inalámbrica, hacia un receptor.

El primer elemento conductor de calor 12 conecta la superficie 3 del componente 6, térmicamente, a la primera unidad de sensor 15. En el ejemplo de ejecución, el primer elemento conductor de calor 12 está conformado como un disco 12 que está dispuesto entre la superficie 3 y la primera unidad de sensor 15. El segundo elemento conductor de calor 18, en el ejemplo de ejecución, está conformado como un capuchón 18. Ese capuchón 18 cubre la primera unidad de sensor 15. De forma contigua al segundo elemento conductor de calor 18 se encuentra un punto de referencia 21, cuya temperatura es conocida. Ese punto de referencia 21 se encuentra sobre el lado de la disposición 1 apartado de la superficie 3. Expresado de otro modo, sobre un lado de la disposición 1 se encuentra la superficie 3 con la temperatura que debe determinarse, y sobre el lado opuesto de la disposición 1 se encuentra el punto de referencia 21 con la temperatura conocida. La temperatura del punto de referencia 21 (temperatura de referencia ϑ_{Ref}) puede determinarse por ejemplo mediante otra unidad de sensor. La temperatura del punto de referencia 21, por ejemplo, puede ser la temperatura del aire en el entorno del componente 6, en particular la temperatura del aire en el entorno del segundo elemento conductor de calor 18.

El segundo elemento conductor de calor 18 conecta la primera unidad de sensor 15, por tanto, al punto de referencia 21. El primer elemento conductor de calor 12 y el segundo elemento conductor de calor 18 forman un divisor de calor. El calor (flujo térmico), desde la superficie 3, circula por el primer elemento conductor de calor 12 y el segundo elemento conductor de calor 18, hacia el punto de referencia 21. El primer elemento conductor de calor 12 presenta una primera resistencia térmica R_{w1}; el segundo elemento conductor de calor 18 presenta una segunda resistencia

térmica R_{w2}. En la primera unidad de sensor 15 (en el estado estacionario) se presenta una temperatura que se encuentra entre la temperatura de la superficie 3 y la temperatura del punto de referencia 21. Esa temperatura puede medirse mediante el primer sensor de temperatura de la primera unidad de sensor 15. A partir de la temperatura medida puede determinarse la temperatura de la superficie 3. De este modo, aplica la siguiente relación:

$$\vartheta_o = k \cdot (\vartheta_{sens} - \vartheta_{Ref}).$$

En este caso ϑ_o es la temperatura de la superficie 3, ϑ_{sens} es la temperatura medida por el primer sensor de temperatura de la primera unidad de sensor, ϑ_{Ref} es la temperatura del punto de referencia y k es un factor de conversión (así como una función de conversión, en caso de que se requiera una mejor precisión sobre un rango de medición mayor).

En el ejemplo de ejecución pueden estar presentes los siguientes valores: Co = 110°C, ϑ_{sens} = 70°C, ϑ_{Ref} = 38°C. En este ejemplo de ejecución, mediante el primer elemento conductor de calor 12 se presenta una diferencia de temperatura de 40K ($\Delta t1$ = 40K); mediante el segundo elemento conductor de calor 18 se presenta una diferencia de temperatura de 32K ($\Delta t2$ = 32K). Por tanto, es evidente que en la disposición 1 está conformado un divisor de calor. En la primera unidad de sensor 15 se presenta una temperatura ϑ_{sens} que se encuentra entre la temperatura de la superficie ϑ_o y la temperatura del punto de referencia ϑ_{Ref}.

Debido a esto, la temperatura de la superficie ϑ_o = 110°C por ejemplo también puede determinarse cuando el rango de medición de la primera unidad de sensor 15 termina en 80°C. Mediante el efecto de división del calor de la disposición 1, ciertamente, en la primera unidad de sensor 15 se presenta sólo la temperatura ϑ_{sens} = 70°C que aún se encuentra dentro del rango de medición admisible de la primera unidad de sensor 15.

En la figura 2, en una representación parcialmente en sección, está representado otro ejemplo de ejecución de una disposición 200 para determinar la temperatura de una superficie 203 de un componente 206. La disposición 200 presenta un primer elemento conductor de calor 212, una primera unidad de sensor 215 y un segundo elemento conductor de calor 218. El primer elemento conductor de calor 212 conecta la superficie 203 del componente 206, térmicamente, a la primera unidad de sensor 215. El segundo elemento conductor de calor 218 conecta la primera unidad de sensor 215, térmicamente, a un punto de referencia 221 distanciado de la superficie 203. El primer elemento conductor de calor 212 presenta una primera resistencia térmica R_{W1}; el segundo elemento conductor de calor 218 presenta una segunda resistencia térmica R_{W2}. En la primera unidad de sensor 215, en el caso estacionario, se presenta una temperatura que se encuentra entre la temperatura de la superficie 203 y la temperatura del punto de referencia 221. Por ejemplo, la temperatura ϑ_o de la superficie puede ser de 180°C (temperatura de la superficie ϑ_o = 180°C). La temperatura del punto de referencia 221, en el ejemplo, puede ser de 49°C (temperatura de referencia ϑ_{Ref} = 49°C). A continuación, en la primera unidad de sensor 215 se presenta una temperatura de 70°C (temperatura de medición ϑ_{sens} = 70°C). Esa temperatura ϑ_{sens} se mide mediante la primera unidad de sensor 215. A partir de esa temperatura ϑ_{sens}, así como de la temperatura conocida ϑ_{Ref} del punto de referencia 221, así como de las propiedades térmicas conocidas (por ejemplo las resistencias térmicas) del primer elemento conductor de calor 212 y del segundo elemento conductor de calor 218, puede determinarse entonces la temperatura ϑ_o de la superficie 203.

En este ejemplo, la temperatura ϑ_{sens} que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor 215, asciende a aproximadamente 39% de la temperatura ϑ_o de la superficie 203. En general, el primer elemento conductor de calor y el segundo elemento conductor de calor pueden estar conformados de manera que la temperatura ϑ_{sens}, que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor, en grados Celsius, sea de entre 20% y 70% de la temperatura de la superficie, en particular de entre 20% y 40% de la temperatura de la superficie.

El primer elemento conductor de calor 212, en el ejemplo de ejecución, presenta una superficie de la sección transversal en forma de una doble T. En este caso, la primera barra transversal del primer elemento conductor de calor 212 se apoya contra la superficie 203 y procura una buena transición térmica entre la superficie 203 y el primer elemento conductor de calor 212. Una segunda barra transversal del primer elemento conductor de calor 212 se apoya contra la primera unidad de sensor 215 y procura una buena transición térmica entre el primer elemento conductor de calor 212 y la primera unidad de sensor 215. El segundo elemento conductor de calor 218 presenta igualmente una superficie de la sección transversal en forma de una doble T. Una primera barra transversal del segundo elemento conductor de calor 218 se apoya contra la primera unidad de sensor 215 y procura una buena transición térmica entre la primera unidad de sensor 215 y el segundo elemento conductor de calor 218. Una segunda barra transversal del segundo elemento conductor de calor 218 está provista de nervaduras de refrigeración 224. Esas nervaduras de refrigeración 224 posibilitan una buena disipación de calor desde el segundo elemento conductor de calor 218 hacia el entorno, por ejemplo hacia el aire que rodea el segundo elemento conductor de calor 218. El primer elemento conductor de calor 212, por tanto, en el ejemplo presenta una

conformación en forma de una pesa. En principio esto también se aplica para el segundo elemento conductor de calor 218, donde aquí los "discos de peso" de la "pesa" presentan distintos tamaños.

El punto de referencia 221 puede situarse sobre el lado del segundo elemento conductor de calor 218 apartado de la primera unidad de sensor, en particular de forma contigua a las nervaduras de refrigeración 224 del segundo elemento conductor de calor 218. El punto de referencia 221 puede apoyarse contra la superficie del segundo elemento conductor de calor 218, de manera que entonces la temperatura del punto de referencia 221 corresponde a la temperatura de la superficie del segundo elemento conductor de calor 218 sobre el lado apartado de la primera unidad de sensor. Este caso está representado en el ejemplo de ejecución. En este caso, sobre la superficie del segundo elemento conductor de calor 218, sobre el lado apartado de la primera unidad de sensor 215, está dispuesta una segunda unidad de sensor 227. La segunda unidad de sensor 227 determina la temperatura del punto de referencia 221, que corresponde aquí a la temperatura de la superficie del segundo elemento conductor de calor 218. En este caso se trata de la temperatura más reducida de la superficie del segundo elemento conductor de calor 218. La segunda unidad de sensor 227 puede estar estructurada del mismo modo que la primera unidad de sensor 215. En particular, la segunda unidad de sensor 227 presenta un segundo sensor de temperatura para medir la temperatura.

La medición de la temperatura de referencia en las nervaduras de refrigeración del segundo elemento conductor de calor (como se representa en la figura 2) en particular puede ser ventajosa cuando el aire que rodea el componente no se mueve y, por tanto, en el aire ambiente pueden presentarse mayores diferencias de temperatura. En ese caso, una medición de la temperatura de referencia distanciada del segundo elemento conductor de calor 218 puede ser demasiado imprecisa.

A diferencia de la representación en la figura 2, la segunda unidad de sensor, sin embargo, también puede estar dispuesta distanciada del segundo elemento conductor de calor 218. Una segunda unidad de sensor dispuesta de ese modo, por ejemplo, puede medir la temperatura del aire en el entorno del segundo elemento conductor de calor 218, así como la temperatura del aire en el entorno de las nervaduras de refrigeración 224. Esa temperatura también puede utilizarse como temperatura de referencia.

El divisor de calor, de manera ventajosa, puede estar diseñado de manera que las rutas de conducción térmica presenten una capacidad térmica comparativamente reducida. De este modo se impide que el divisor térmico reaccione demasiado lento frente a variaciones de temperatura (optimización de la constante de tiempo de retardo de la medición de temperatura). Esto se alcanza por ejemplo mediante el primer elemento conductor de calor 212 y mediante el segundo elemento conductor de calor 218 con la superficie de la sección transversal en forma de T o en forma de doble T.

También para mantener reducida la influencia de distintas velocidades de flujo del medio de refrigeración (por ejemplo del aire ambiente refrigerante), las rutas de conducción térmica de la disposición se realizan de manera que las mismas presentan una capacidad térmica comparativamente reducida. Además, las rutas de conducción térmica pueden estar provistas de un aislamiento de calor 230 (aislamiento térmico), por ejemplo de un recubrimiento de espuma sólida 230. A diferencia de ello, el área de contacto del segundo elemento conductor de calor con respecto al entorno está realizado con una resistencia de paso térmica muy reducida. Por ejemplo, esto se logra mediante las nervaduras de refrigeración 224. La temperatura del segundo elemento conductor de calor en las nervaduras de refrigeración, con ello, es aproximadamente igual a la temperatura del punto de referencia 221 (por ejemplo la temperatura del ambiente).

En otro ejemplo de ejecución, el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor respectivamente también pueden presentar una superficie de la sección transversal en forma de T. Esos elementos, por ejemplo, no presentarían entonces la barra transversal orientada hacia la primera unidad de sensor, sino que esa barra transversal también podría omitirse. Con relación a la representación en sección de la figura 2 anteriormente se mencionaron las barras transversales; esas barras transversales, en la representación tridimensional efectiva, corresponden a los elementos conductores de calor 212 y 218 con superficies que por ejemplo se apoyan contra la primera unidad de sensor 215 o contra la superficie 203.

En los ejemplos de ejecución descritos hasta el momento se determinó la temperatura de una superficie de un componente. Sin embargo, en otros ejemplos de ejecución puede determinarse también la temperatura de otra superficie, por ejemplo la temperatura de una superficie de un fluido, por tanto, en particular la temperatura de una superficie de un líquido o de un gas.

En las figuras 3 - 5 se representa otro ejemplo de ejecución de una segunda unidad de sensor 327 para medir la temperatura de referencia ϑ_{Ref}. De este modo, la figura 3, en una representación parcialmente en sección, muestra una vista desde el costado, la figura 4 una vista desde arriba y la figura 5 una segunda vista lateral, en la cual la dirección visual está rotada en 90° en comparación con la dirección visual de la figura 3.

Sobre la superficie 303 de un componente 306 está dispuesto un espaciador 309 que porta la segunda unidad de sensor 327. Mediante el espaciador 309 se asegura que la segunda unidad de sensor 327 esté dispuesta distanciada de la superficie 303 y que no tenga contacto térmico directo con la superficie 303. El espaciador 309 se compone de un material comparativamente mal conductor térmico (resistencia térmica elevada), de manera que la temperatura de la segunda unidad de sensor 327 sólo se altera de forma insignificante debido a la conducción térmica mediante el espaciador 309. Más bien, la segunda unidad de sensor 327 mide la temperatura de referencia ϑ_{Ref} que, en el ejemplo de ejecución, corresponde a la temperatura próxima a la superficie. Cuando la superficie 303 está dispuesta en el aire, entonces la temperatura de referencia ϑ_{Ref} corresponde a la temperatura del aire próxima a la superficie. En las figuras 3 - 5, el aire 330 que circula a lo largo de la superficie 303 está representado simbólicamente mediante flechas 330. De este modo en particular pueden determinarse las condiciones de refrigeración para el componente.

En el ejemplo de ejecución el espaciador 309 está conformado como un arco que deja libre un paso entre la superficie 303 y una barra del espaciador 309. Entre la superficie 303 y la barra (por tanto, por el paso mencionado) circula el aire 330. El espaciador 309 también puede denominarse como un estribo espaciador 309 que asegura una separación/distancia entre la segunda unidad de sensor 327 y la superficie 303. En el ejemplo de ejecución, el espaciador 309 se compone de un material en forma de tiras. Preferentemente se trata de un material eléctricamente aislante con una permitividad reducida (conductividad dieléctrica reducida). El material en forma de tiras es comparativamente delgado, lo que contribuye a la conductividad térmica relativamente mala (deseada) del espaciador. Entre la superficie 303 y la segunda unidad de sensor 327 se encuentra por tanto una distancia que en particular puede estar realizada como una distancia de aislamiento. Esa distancia/distancia de aislamiento conduce a un desacoplamiento térmico y/o eléctrico de la medición de la temperatura de referencia mediante la segunda unidad de sensor 327, del componente, en cuya superficie está dispuesto el espaciador 309. Gracias a esto se posibilita una medición de la temperatura de referencia (por ejemplo de la temperatura del aire, del aire de refrigeración que rodea la superficie) en una proximidad directa, así como a una distancia definida con respecto a la superficie 303 del componente 306. La medición de la temperatura de referencia ϑ_{Ref} por ejemplo puede tener lugar cerca del segundo elemento conductor de calor 18 en forma de capuchón (véase la figura 1), cerca de platinas con elementos que generan calor, o cerca de una superficie metálica del componente.

Una medición de la temperatura de referencia mediante el espaciador que porta la segunda unidad de sensor en particular ofrece la ventaja de que se presenta una mejor correlación entre mediciones de comparación de la temperatura de referencia en el campo de prueba con una distribución homogénea de la temperatura y mediciones en el campo con una distribución muy poco homogénea de la temperatura del aire de refrigeración (por ejemplo en el caso de estructuras de torre elevadas). Los valores determinados en la medición del campo de prueba corresponden entonces con mayor precisión a los valores que se presentan en el campo real. Debido a esto en particular pueden alcanzarse datos significativos, por ejemplo con respecto a la potencia perdida en el entorno operativo efectivo.

En el ejemplo de ejecución, la resistencia térmica del espaciador 309 es más grande que la primera resistencia térmica del primer elemento conductor de calor. En particular, la resistencia térmica del espaciador 309 puede ser al menos cinco veces más grande que la primera resistencia térmica del primer elemento conductor de calor. Gracias a esto se asegura que la medición de la temperatura de referencia mediante la segunda unidad de sensor 327 sólo se altere mínimamente debido a la temperatura de la superficie 303.

En la figura 6 está representado un ejemplo de ejecución de la disposición 200 para determinar la temperatura de la superficie 203 del componente 206 con un elemento de protección 603. Ese elemento de protección se utiliza para la protección frente a radiación térmica que no proviene del componente 206, sino de otro emisor de calor 606. Los emisores de calor de esa clase se denominan también como emisores de calor externos. El otro emisor de calor 606, en el ejemplo de ejecución de la figura 6, está representado como el sol. Otro emisor de calor 606 de esa clase, sin embargo, también puede estar conformado por superficies calientes de componentes contiguos.

El elemento de protección 603 se utiliza para proteger la primera unidad de sensor, el primer elemento conductor de calor y/o el segundo elemento conductor de calor de la radiación térmica del otro emisor de calor 606. El elemento de protección 603 está dispuesto distanciado de la primera unidad de sensor, del primer elemento conductor de calor y/o del segundo elemento conductor de calor. El elemento de protección 603, por ejemplo, puede estar fijado en la superficie 203 del componente 206 o en otro punto fijo en el entorno del componente. El elemento de protección 603, en el caso más simple, puede tratarse de una placa (placa de protección). El elemento de protección está dispuesto entre el otro emisor de calor 606 y el divisor de calor 610 con la primera unidad de sensor 215. El elemento de protección 603 en particular puede presentar la función de un "toldo"; es decir, que el mismo protege de la radiación térmica que alteraría la determinación de la temperatura de la superficie 203.

El elemento de protección 603, de manera ventajosa, puede estar dispuesto en el lado del divisor de calor, desde el cual actúa la radiación térmica externa perturbadora. Debido a esto resulta un desacoplamiento de la determinación de la temperatura de la superficie 203 de entradas de calor desde el exterior, que provocan una alteración. El elemento de protección 603 (por ejemplo la placa de protección), de manera opcional puede estar realizado de modo

que reflecte la radiación y/o de color blanco. El elemento de protección 603 en particular puede estar fabricado de un material no metálico delgado que presente una permitividad reducida (conductividad dieléctrica reducida). Por ese motivo, la transmisión inalámbrica de datos de la primera unidad de sensor sólo resulta poco afectada por el elemento de protección 603.

Mediante el primer sensor de temperatura, por tanto, se mide una primera temperatura ϑ_{sens} que se presenta en el lugar de la primera unidad de sensor. La primera temperatura ϑ_{sens}, en el estado estacionario, se ubica entre la temperatura de la superficie ϑ_o y la temperatura del punto de referencia ϑ_{Ref}. La temperatura del punto de referencia ϑ_{Ref} es conocida o se mide mediante el segundo sensor de temperatura de la segunda unidad de sensor. A partir de la primera temperatura ϑ_{sens} medida y de la temperatura medida del punto de referencia ϑ_{Ref} puede determinarse entonces la temperatura de la superficie ϑ_o. Esa determinación de la temperatura ϑ_o de la superficie puede tener lugar mediante propiedades térmicas previamente conocidas del primer elemento conductor de calor y del segundo elemento conductor de calor. Esas propiedades térmicas previamente conocidas pueden tratarse por ejemplo respectivamente de la resistencia térmica previamente conocida del primer elemento conductor de calor y del segundo elemento conductor de calor. Mediante esas resistencias térmicas puede calcularse la temperatura de la superficie, como se describe a continuación.

En la figura 7 está representado un esquema de circuito equivalente térmico a modo de ejemplo para el divisor térmico. En este caso, R_{W1} es la capacidad térmica del primer elemento conductor de calor, R_{W2} la resistencia térmica del segundo elemento conductor de calor, C_{W1} la capacidad térmica del primer elemento conductor de calor y C_{W2} la capacidad térmica del segundo elemento conductor de calor. En el estado estacionario pueden no considerarse las capacidades térmicas C_{W1} y C_{W2}. Para este modelo, en el estado estacionario, se aplica aproximadamente la siguiente relación:

$$(\vartheta_o - \vartheta_{Ref}) \approx (\vartheta_{sens} - \vartheta_{Ref}) \frac{R_{W1} + R_{W2}}{R_{W2}}$$

En base a ello puede determinarse la temperatura ϑ_o de la superficie.

Sin embargo, para la determinación de la temperatura de la superficie no necesita ser conocida de forma explícita la resistencia térmica R_{w1} del primer elemento conductor de calor y la resistencia térmica R_{w2} del segundo elemento conductor de calor. Más bien, también es posible que para una disposición de la misma clase, en el laboratorio, mediante técnicas de medición, haya sido determinada la dependencia de la temperatura ϑ_o de la superficie de la primera temperatura ϑ_{sens} medida a distintas temperaturas ϑ_{Ref} del punto de referencia. Esa dependencia previamente conocida por ejemplo puede estar almacenada en una tabla (tabla de consulta) en forma de valores relacionados. A partir de esa tabla (sin la necesidad de cálculos aritméticos) puede determinarse entonces el respectivo valor de la temperatura de la superficie, que pertenece a la primera temperatura medida.

En la figura 8 se representa esquemáticamente un ejemplo de ejecución de la primera unidad de sensor 15, así como 215. La segunda unidad de sensor 227, 327 puede estar estructurada del mismo modo. La primera unidad de sensor 15 presenta el primer sensor de temperatura 803, el acumulador de energía eléctrico 806 y la unidad de transmisión de datos inalámbrica 809.

Se describen una disposición y un procedimiento para determinar la temperatura de una superficie. En este caso, el divisor de calor presenta el primer elemento conductor de calor y el segundo elemento conductor de calor. Mediante el divisor de calor puede determinarse también una temperatura elevada de esa clase de una superficie, que dañaría la primera unidad de sensor si actuara directamente sobre la primera unidad de sensor. Mediante el divisor térmico, por tanto, se amplía marcadamente el rango de medición de la disposición en comparación con el rango de medición de la primera unidad de sensor.

Se describió la utilización de un divisor de calor para limitar la temperatura de la primera unidad de sensor. El divisor de calor posibilita la medición de temperaturas elevadas de la superficie que se encuentran por fuera del rango de medición admisible de la primera unidad de sensor. Para ello, la primera unidad de sensor se instala dentro del divisor de calor. La temperatura de la primera unidad de sensor es limitada por el divisor de calor. En particular, esto tiene lugar mediante una limitación del flujo de calor: de un lado de la primera unidad de sensor tiene lugar una vinculación de la unidad de sensor a la superficie, que limita el calor, y del otro lado de la unidad de sensor tiene lugar una vinculación de la unidad de sensor a la temperatura del punto de referencia (por ejemplo al aire ambiente frío). La temperatura real del aire ambiente (por tanto, la temperatura del punto de referencia) puede medirse con un sensor separado/una unidad de sensor.

El segundo elemento conductor de calor del divisor de calor puede ser un elemento de protección frente a la temperatura (por ejemplo un capuchón o una tapa superior). El capuchón determina una transferencia de calor reducida hacia el punto de referencia (por tanto, por ejemplo, hacia el aire ambiente). El primer elemento conductor

de calor, por ejemplo, puede estar diseñado como un disco que limita el flujo de calor (que también puede denominarse como disco inferior). Mediante ese disco, no todo el calor de la superficie que debe medirse se transfiere a la primera unidad de sensor. Más bien, a través del disco, a través de la primera unidad de sensor y a través del capuchón tiene lugar un flujo de calor equilibrado. Mediante una función de conversión, a partir de la primera temperatura medida por la primera unidad de sensor y de la temperatura conocida del punto de referencia, puede determinarse la temperatura de la superficie.

En particular, el divisor de calor puede calibrarse antes de ser utilizado. Para ello, por ejemplo, en condiciones de laboratorio, puede calentarse el componente con la superficie con la temperatura que debe medirse y con el divisor de calor dispuesto en la superficie. De este modo, la temperatura de la superficie se determina mediante una medición directa y, junto con la temperatura medida por la primera unidad de sensor 215 y la temperatura de referencia del punto de referencia, se guarda y almacena en una serie de medición. Como temperatura de referencia en particular puede utilizarse la temperatura de las nervaduras de refrigeración del segundo elemento conductor de calor 218. Esas series de medición pueden determinarse y almacenarse para distintas temperaturas de referencia (temperaturas del entorno). A partir de esas series de medición puede determinarse una función de transmisión (función de conversión) para el divisor de calor. Esas series de medición forman una tabla en la que están almacenados valores relacionados que describen la dependencia previamente conocida de las temperaturas individuales del divisor de calor. De forma alternativa, sin embargo, la temperatura de la superficie también puede determinarse mediante cálculos, como se describe con relación a la figura 7. En particular, para alcanzar una precisión elevada, la representación de la temperatura puede almacenarse como un grupo de valores para la respectiva temperatura de referencia y después puede considerarse/referenciarse en la medición concreta.

Se describieron una disposición y un procedimiento para determinar la temperatura de una superficie, en los que una primera unidad de sensor con un primer sensor de temperatura están integrados en un divisor de calor. Gracias a esto, la medición de temperaturas de superficie, mediante el primer sensor de temperatura de la primera unidad de sensor, se posibilita también cuando la temperatura de la superficie se encuentra por fuera del rango de medición de la primera unidad de sensor. De este modo pueden utilizarse unidades de sensor económicas que presentan sólo un rango de temperatura limitado. De manera ventajosa, no se necesitan una técnica especial para temperaturas más elevadas y/o materiales costosos.

REIVINDICACIONES

1. Disposición (1) para determinar la temperatura (ϑ_o) de una superficie (3), con

- una primera unidad de sensor (15) que presenta un primer sensor de temperatura (803),

- un primer elemento conductor de calor (12) que está conformado para conectar la primera unidad de sensor (15) a la superficie (3), y

- un segundo elemento conductor de calor (18) que está conformado para conectar la primera unidad de sensor (15) a un punto de referencia (21) distanciado de la superficie (3), caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (12) y el segundo elemento conductor de calor (18) están conformados de manera que la temperatura, que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor (15), en grados Celsius, es de entre 20% y 70% de la temperatura de la superficie (3), en particular de entre 20% y 40% de la temperatura de la superficie (3), cuando la temperatura de la superficie es más elevada que la temperatura del punto de referencia.

2. Disposición según la reivindicación 1,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (12) y el segundo elemento conductor de calor (18) forman un divisor de calor, donde el primer elemento conductor de calor (12) presenta una primera resistencia térmica y el segundo elemento conductor de calor (18) presenta una segunda resistencia térmica.

3. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (12) está dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor (15) y el segundo elemento conductor de calor (18) está dispuesto en el lado opuesto de la primera unidad de sensor (15).

4. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (12) está dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor (15) orientado hacia la superficie (3) y el segundo elemento conductor de calor (18) está dispuesto en un lado de la primera unidad de sensor (15) apartado de la superficie (3).

5. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (212) y/o el segundo elemento conductor de calor (218) respectivamente presentan una superficie de la sección transversal en forma de T.

6. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor (212) y/o el segundo elemento conductor de calor (218) respectivamente presentan una superficie de la sección transversal en forma de una doble T.

7. Disposición según una de las reivindicaciones 1 a 4,

caracterizada porque

- el primer elemento conductor de calor es un disco (12) y/o el segundo elemento conductor de calor es un capuchón (18).

8. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- el segundo elemento conductor de calor (218) presenta nervaduras de refrigeración (224).

9. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- la primera unidad de sensor (215), el primer elemento conductor de calor (212) y/o el segundo elemento conductor de calor (218) están aislados térmicamente (230) con respecto a un fluido que los rodea, en particular con respecto al aire que los rodea.

10. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada por

- un elemento de protección (603) para la protección frente a la radiación térmica, que está dispuesto distanciado de la primera unidad de sensor (215), del primer elemento conductor de calor (212) y/o del segundo elemento conductor de calor (218).

11. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada por

- una segunda unidad de sensor (227) para determinar la temperatura del punto de referencia (221), donde la segunda unidad de sensor (227) presenta un segundo sensor de temperatura, y la segunda unidad de sensor (227) está dispuesta en un lado del segundo elemento conductor de calor (218) apartado de la primera unidad de sensor (215).

12. Disposición según una de las reivindicaciones 1 a 10,

caracterizada por

- una segunda unidad de sensor (327) para determinar la temperatura del punto de referencia, donde la segunda unidad de sensor (327) puede fijarse en la superficie (303) mediante un espaciador (309).

13. Disposición según una de las reivindicaciones 2 a 10,

caracterizada porque

- la disposición presenta una segunda unidad de sensor (327) para determinar la temperatura del punto de referencia, donde la segunda unidad de sensor (327) puede fijarse en la superficie (303) mediante un espaciador (309), y

- la resistencia térmica del espaciador (309) es más grande, en particular es al menos 5 veces más grande que la primera resistencia térmica.

14. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- la superficie es la superficie de un componente (6, 206), en particular la superficie de un componente de una instalación de alta tensión.

15. Disposición según una de las reivindicaciones precedentes,

caracterizada porque

- la primera unidad de sensor (15, 215) presenta un acumulador de energía eléctrico (806) y/o una unidad de transmisión de datos inalámbrica (809).

16. Procedimiento para determinar la temperatura de una superficie (3) mediante una primera unidad de sensor (15) que presenta un primer sensor de temperatura (803), un primer elemento conductor de calor (12) que conecta la primera unidad de sensor (15) a la superficie (3), y un segundo elemento conductor de calor (18) que conecta la primera unidad de sensor (15) a un punto de referencia (21) distanciado de la superficie (3), donde el primer elemento conductor de calor (12) y el segundo elemento conductor de calor (18) están conformados de manera que la temperatura, que se presenta de forma estacionaria, de la primera unidad de sensor (15), en grados Celsius, es de entre 20% y 70% de la temperatura de la superficie (3), en particular de entre 20% y 40% de la temperatura de la superficie (3), cuando la temperatura de la superficie es más elevada que la temperatura del punto de referencia, donde en el procedimiento

- mediante el primer sensor de temperatura (803) se mide una primera temperatura (ϑ_{sens}) que se presenta en el lugar del primer sensor de temperatura, donde la primera temperatura (ϑ_{sens}) se encuentra entre la temperatura (ϑ_o) de la superficie (3) y la temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia (21), y

- a partir de la primera temperatura (ϑ_{sens}) medida y de la temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia (21) se determina la temperatura (ϑ_o) de la superficie.

17. Procedimiento según la reivindicación 16,

caracterizado porque

- a partir de la primera temperatura (ϑ_{sens}) medida y de la temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia (21), la temperatura (ϑ_o) de la superficie se determina mediante propiedades térmicas previamente conocidas del primer elemento conductor de calor (12) y del segundo elemento conductor de calor (18).

18. Procedimiento según la reivindicación 16 ó 17,

caracterizado porque

- a partir de la primera temperatura (ϑ_{sens}) medida y de la temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia (21), la temperatura (ϑ_o) de la superficie (3) se determina mediante una dependencia previamente conocida de la temperatura (ϑ_o) de la superficie (3) de la primera temperatura (ϑ_{sens}) medida a la respectiva temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia (21).

19. Procedimiento según la reivindicación 18,

caracterizado porque

- la dependencia previamente conocida es almacenada en una tabla, como valores relacionados.

20. Procedimiento según una de las reivindicaciones 16 a 19,

caracterizado porque

- mediante un segundo sensor de temperatura se mide la temperatura (ϑ_{Ref}) del punto de referencia.

FIG 1

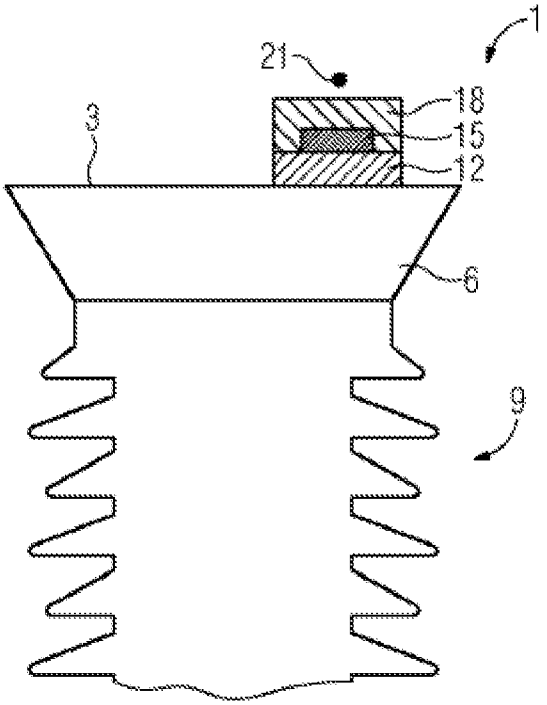


FIG 2

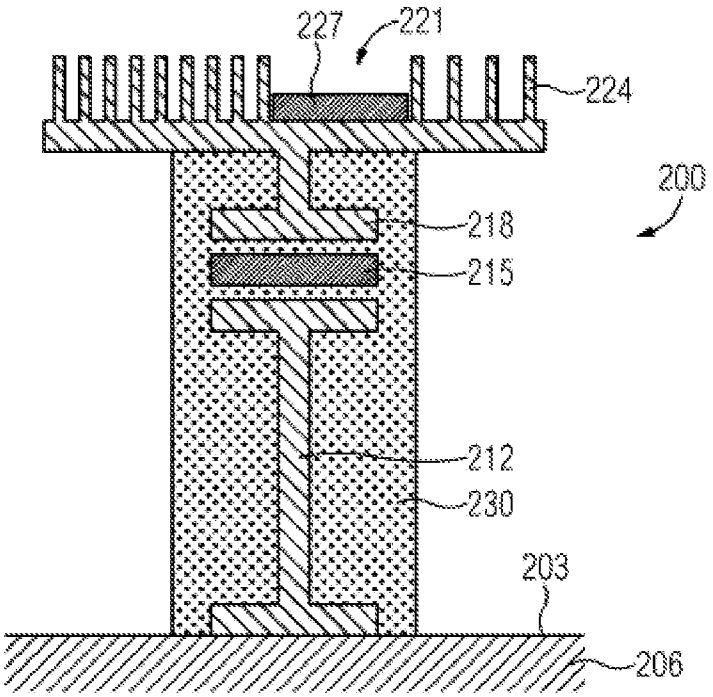


FIG 3

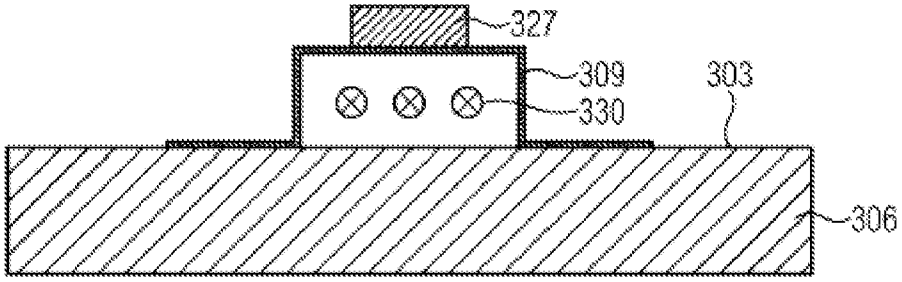


FIG 4

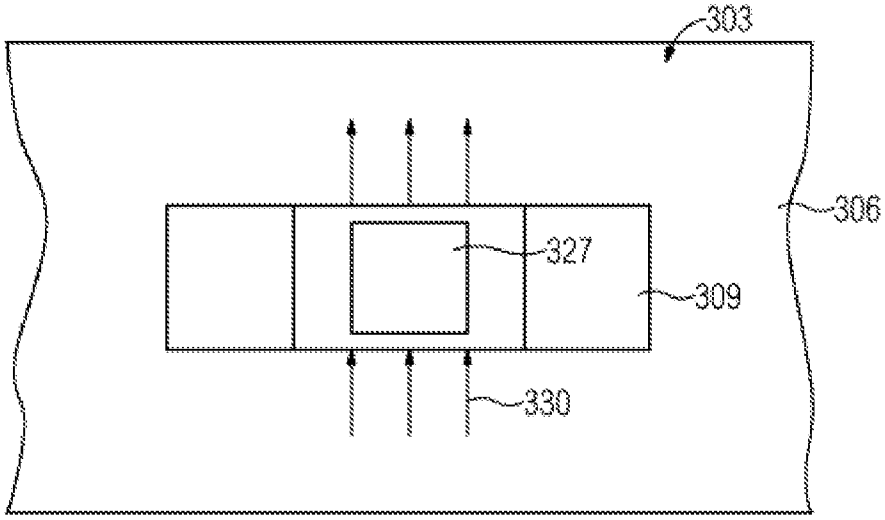


FIG 5

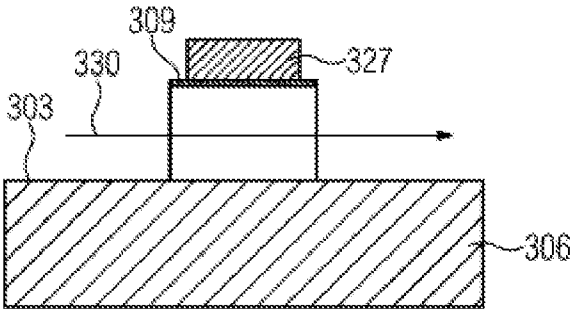


FIG 6

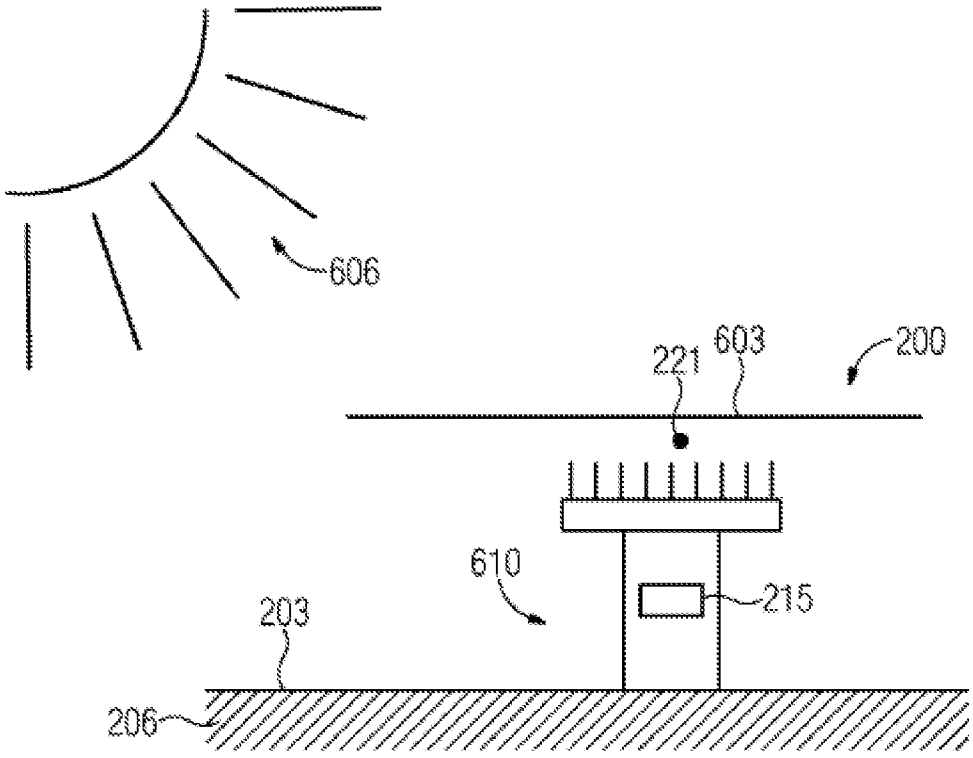


FIG 7

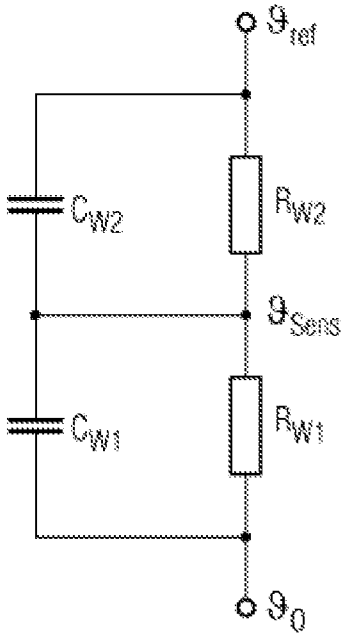
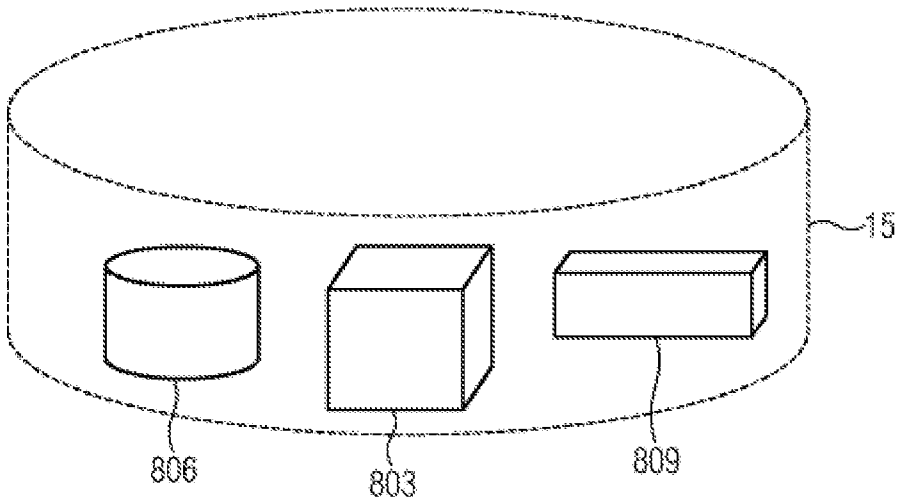

ϑ_{ref}
C_{W2}
R_{W2}
ϑ_{Sens}
C_{W1}
R_{W1}
ϑ_0

FIG 8


15
806
803
809