



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

51) Int. Cl.³: G 01 K 13/04
G 01 K 7/36



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12) **PATENTSCHRIFT** A5

11)

625 619

21) Gesuchsnummer: 14952/77

73) Inhaber:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie,
Baden

22) Anmeldungsdatum: 07.12.1977

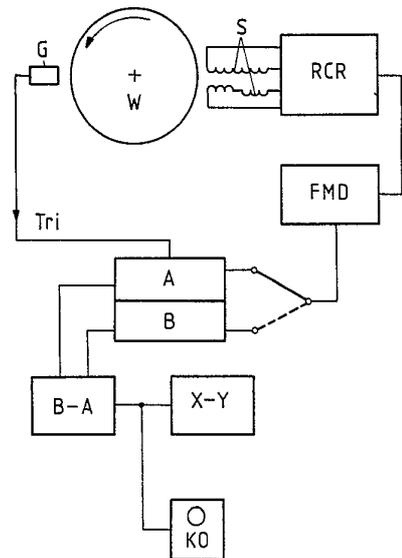
24) Patent erteilt: 30.09.1981

72) Erfinder:
Werner Buser, Basel
Pierre Keller, Baden
Dr. Walter Münch, Zürich

45) Patentschrift
veröffentlicht: 30.09.1981

54) **Verfahren zur Bestimmung des Temperaturprofils der Oberfläche eines bewegten Körpers mittels Wirbelströmen.**

57) Bei diesem Verfahren zur Temperaturprofilbestimmung der Oberfläche des bewegten Körpers (W) mit einer Wirbelstrommethode wird eine Spulenordnung (S) verwendet, an der die Oberfläche des Körpers (W) vorbeibewegt wird. Für einen bekannten isothermen Ausgangszustand des Körpers wird das «Störhintergrundprofil» gemessen und in einem ersten Speicher (A) abgespeichert; im Betrieb wird dann das Temperaturprofil des unbekanntenen neuen Zustandes gemessen und in einem zweiten Speicher (B) abgespeichert, dann wird der Inhalt des ersten Speichers vom Inhalt des zweiten Speichers subtrahiert, wobei die Differenz (B - A) das effektive Temperaturprofil ohne störende Inhomogenitäten ergibt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung des Temperaturprofils der Oberfläche eines bewegten Körpers, wobei die Temperatur auf dem Umweg über die Leitfähigkeit mit einem Wirbelstromverfahren gemessen wird und eine Spulenanordnung verwendet wird, an der die Oberfläche des Körpers in konstantem Abstand vorbeibewegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass für einen bekannten isothermen Ausgangszustand des Körpers das Störhintergrundprofil gemessen und in einem ersten Speicher (A) abgespeichert wird, dass im Betrieb nun das Profil des unbekannt neuen Zustandes gemessen und in einem zweiten Speicher (B) abgespeichert wird und dass der Inhalt des ersten Speichers (A) vom Inhalt des zweiten Speichers (B) subtrahiert wird, wobei die Differenz das effektive Temperaturprofil ohne störende Inhomogenitäten ergibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Temperaturprofil über den Umfang eines sich drehenden, rotationssymmetrischen Körpers bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Temperaturprofil längs der ebenen Oberfläche eines linear bewegten Körpers bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit Verwendung einer Messeinrichtung zur Messung von Phasenverschiebungen an elektrischen Vierpolen, dadurch gekennzeichnet, dass der Vierpol die zur Temperaturmessung dienende Spulenanordnung ist und die im Phasenmeter erzeugte Frequenz von der Phase und somit von der Temperatur abhängt, so dass die Demodulation des frequenzmodulierten Phasenmeter-Ausgangssignals ein direkt temperaturabhängiges Signal liefert.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der zu messende Vierpol in die Rückkopplungsschleife eines RC-Resonators geschaltet ist und die erzeugte Frequenz von der Phasenverschiebung des Vierpols und des RC-Phasenschiebers abhängt und wobei die Schaltung so bemessen ist, dass folgende Schwingbedingungen erfüllt sind:

$$\varphi(\omega) + \Phi = 0 \text{ (oder ganzzahlige Vielfache von } 2\pi) \quad (1)$$

$$|F(\omega)| \cdot |H A| = 1 \quad (2)$$

wobei Φ = Phasenverschiebung des zu messenden Vierpols,

$\varphi(\omega)$ = Phasenverschiebung des RC-Phasenschiebers,

H = Dämpfung des zu messenden Vierpols

A = reeller Verstärkungsfaktor,

wobei ferner H(p) bzw. F(p) die Übertragungsfunktionen des unbekannt Vierpols bzw. des RC-Phasenschiebers darstellen und A durch eine Regelung so eingestellt wird, dass Gleichung (2) erfüllt ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragungsfunktion F(p) durch ein Netzwerk in Gestalt eines n-gliedrigen, entkoppelten RC-Tiefpasses gemäss dem Ausdruck

$$F(p) = \frac{1}{(1+pT)^n}$$

verkörpert wird, welcher Tiefpass die bei den Resonanzfrequenzen der Spulenanordnung entstehenden Spannungsüberhöhungen so stark dämpft, dass bei diesen Frequenzen die obigen Schwingbedingungen (1) und (2) nicht erfüllt werden können.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass als erster und zweiter Speicher Digitalispeicher verwendet werden und die temperaturabhängigen Signale vor der Einspeicherung in digitale Form gebracht werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Subtraktion in den Digitalispeichern durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass nach den Speichern Digital/Analog-Umsetzer vorgesehen sind und die Subtraktion mittels der gewonnenen Analogwerte vorgenommen wird.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Temperaturprofils der Oberfläche eines bewegten Körpers, wobei die Temperatur auf dem Umweg über die Leitfähigkeit mit einem Wirbelstromverfahren gemessen wird und eine Spulenanordnung verwendet wird, an der die Oberfläche des Körpers in konstantem Abstand vorbeigeführt wird.

Zur Lösung des Problems einer Bestimmung des Temperaturprofils an bewegten, speziell sich drehenden rotationssymmetrischen oder linear bewegten Körpern mit ebener Oberfläche, werden heute folgende Methoden benutzt:

a) Strahlungs-pyrometrie. Als Nachteil wurde dabei festgestellt, dass der Emissionsfaktor des zu messenden Objekts meist unbekannt ist, sich im Laufe der Zeit ändern kann und eventuell nicht über den Umfang homogen ist; bei polierten Metallen ist er überdies sehr klein. Für eine genaue Temperaturmessung muss dieser Faktor aber bekannt sein. Um bei schnellen Umfangsgeschwindigkeiten bzw. Translationsgeschwindigkeiten eine gute Auflösung zu erzielen, müssen schnell ansprechende Detektoren verwendet werden, die z.T. meistens mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden müssen. Eine sich ändernde Verschmutzung des Körpers mit Öl, Kühlmittel usw. ändert dessen optische Eigenschaften so stark, dass eine Messung illusorisch wird.

b) Einbau von Temperaturfühlern (wie Thermolemente, Widerstandselemente usw.) deren Messwerte entweder über Schleifringe, mittels Sender oder induktiv vom drehenden Objekt übertragen werden. Jedoch bietet eine Übertragung der Messwerte von einem bewegten Teil immer Schwierigkeiten. Da nur eine beschränkte Anzahl Fühler eingebaut werden kann, ist die Ortsauflösung klein. Der Einbau solcher Fühler ist recht kostspielig.

c) Anbringen von Thermofarben und Thermostreifen, welche bei einer bestimmten Temperatur die Farbe wechseln. Falls dies möglich ist, stellt die Herstellung eines einwandfreien dauerhaften thermischen Kontakts mitunter Probleme. Weiterhin ist die Methode von begrenzter Genauigkeit und der Farbumschlag bei der Ansprechtemperatur meist irreversibel. Die Oberflächengeschwindigkeiten dürfen nicht zu hoch sein, da sonst die Farben oder Streifen weggeschleudert werden.

d) Induktive Temperaturmessungen (s. CH-Patentschrift 568 569), falls die Drehfrequenz des zu messenden Körpers viel kleiner ist als die Frequenz des Wechselfeldes der Erregerspule, was meist der Fall ist. Als Nachteil muss hier der grosse Einfluss des Stör-Hintergrundes («runout») bei magnetischen Materialien in Kauf genommen werden (s. z.B. «Reduction of Electrical Runout to Improve the Accuracy of Eddy Current Probe Sensing of Turbomachinery Vibration», Journal of Lubrication Technology, October 1972, S. 297–301). Dieser Effekt ist äusserst schwierig zu eliminieren und ist vermutlich auf Inhomogenitäten der elektrischen Leitfähigkeit und der Permeabilität zurückzuführen. Sein Einfluss ist so gross, dass bisher jede Temperaturprofilmessung unmöglich war, welche auf dem Wirbelstromverfahren beruhte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile bestehender Verfahren zu vermeiden. Dies wird dadurch erreicht, dass bei dem eingangs erwähnten Verfahren zur Bestimmung des Temperaturprofils für einen bekannten isothermen Ausgangszustand des Körpers das Störhintergrundprofil des Körpers gemessen und in einem ersten Speicher abgespeichert wird, dass im Betrieb nun das Profil des unbekannt neuen Zustandes gemessen und in einem zweiten Speicher abgespeichert wird und dass der Inhalt des ersten Speichers subtrahiert wird, wobei die Differenz das effektive Temperaturprofil ohne störende Inhomogenitäten ergibt.

Nachfolgend sei eine Ausführungsart der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Unter Benutzung von digitalen Speichern (A, B in Fig. 1), die z.B. als Transientenschreiber, Signal-Mittelwertbildner usw. ausgeführt sein können, kann die

Abspeicherung einfach vorgenommen werden. Im Sinne des in der CH-PS 568 569 beschriebenen Verfahrens wird eine Messeinrichtung zur Messung von Phasenverschiebungen an elektrischen Vierpolen verwendet werden, bei welcher der Vierpol die zur Temperaturmessung dienende Spulenordnung ist und die im Phasenmeter erzeugte Frequenz von der Phase und somit auch von der Temperatur abhängt, so dass die Demodulation des frequenzmodulierten Phasenmeter-Ausgangssignals ein direkt temperaturabhängiges Signal liefert. Handelsübliche Phasenmeter haben jedoch vielfach lange Messzeiten, was die Auflösung über den Umfang stark beeinträchtigt, zudem ist ihre Genauigkeit für eine Temperaturbestimmung ungenügend. Daher eignet sich für den Zweck der Temperaturprofilbestimmung als Phasenmeter vornehmlich ein RC-Resonator gemäss der CH-Patentschrift Nr. 586 397 «Messeinrichtung zur Messung der Phasenverschiebung an einem elektrischen Vierpol». Folgende Vorteile werden damit erreicht:

- sehr genaue Phasenmessung, daher auch eine genaue Temperaturmessung möglich,
 - sehr schnelle Messung möglich, da die Zeitkonstante des Systems sehr klein ist, was eine hohe Ortsauflösung ergibt,
 - die Frequenz des Resonators dient als Mass für die Phase.
- Bei einer Profilmessung wird also ein frequenzmoduliertes Signal erhalten, das weniger stör anfällig ist als ein amplitudenmoduliertes Signal.

Fig. 1 zeigt ein Blockschema der Messeinrichtung. W ist eine Welle, deren Oberflächen-Temperaturprofil bestimmt werden soll. RCR ist ein RC-Resonator mit der Spulenordnung S, die in einem bestimmten Abstand von der Oberfläche der Welle W angebracht ist. Nach dem FM-Demodulator FMD des Phasenmeters kann als Digitalspeicher z.B. ein Signal-Mittelwertbildner oder ein Transientenschreiber mit zwei umschaltbaren Kanälen A und B verwendet werden. Kanal A hält den isothermen Grundzustand fest, während in B der momentane Betriebszustand gespeichert wird. In diesen Speichereinheiten kann zu-
meist auch die Subtraktion B–A ausgeführt und das Resultat auf einem Kathodenstrahl-Oszillographen KO oder auf einem Schreiber X–Y dargestellt werden. Die digitalen Werte in A und

B können auch mittels Digital/Analog-Wandler in analoge Werte umgesetzt werden, mit denen dann die Subtraktion vorgenommen wird. Für die phasenrichtige Subtraktion muss von der rotierenden Welle W ein Triggersignal Tri abgenommen werden; dieses wird von einem Geber G erzeugt, der von einer auf der Wellenoberfläche angebrachten Marke (magnetisch, lichtelektrisch) gesteuert wird.

Fig. 2 zeigt einige experimentell gemessene Temperaturprofilkurven, aufgenommen mit einer Stahlwelle mit einem Durchmesser von 220 mm. Die Welle rotierte mit 1000 U/min. Zu den Kurven a, b und c ist auf der Abszisse der Drehwinkel DW der Welle von einem bestimmten Bezugspunkt aus aufgetragen, auf der Ordinate von a und b die Ausgangsspannung V_D des Frequenzmodulators in willkürlichen Einheiten (wE). Die mit «1 U» in a bezeichnete Länge entspricht einer Umdrehung der Welle. Zuerst wurde eine Kurve (a) des isothermen Zustandes aufgenommen und in dem Speicher A abgespeichert. Danach wurde die Welle im Stillstand örtlich um ca. 12 °C erwärmt und dadurch eine inhomogene Temperaturverteilung erzeugt. 60 Sekunden nach dem Wiederanlaufen wurde ein zweites Profil aufgenommen und in B abgespeichert (Kurve b). Die Differenz B–A ergibt das wahre Temperaturprofil (Kurve c). Das Maximum der örtlichen Erwärmung ist deutlich zu sehen.

Mit dem neuen Verfahren ist es erstmals möglich, berührungslos Temperaturprofile an stark verschmutzten Wellen aufzunehmen, z.B. in Segmentlagern. Auch können Walzen, die ganz in Kühlmittel eingetaucht sind, gemessen werden (z.B. Walzen in Walzwerksgerüsten).

Es könnte natürlich auch ein anderes Wirbelstromverfahren eingesetzt werden, sofern dessen Zeitkonstante gegenüber der Zeit für eine Umdrehung klein ist.

Mit diesem Verfahren können auch auf beliebigem Messweg Werkstücke abgetastet werden, die gemessen an den Messkopfdimensionen eine hinreichend glatte und wenig gekrümmte Oberfläche besitzen, falls die Abtastung mit konstantem Objekt-Sensorabstand erfolgt und falls auf demselben Messweg im isothermen Zustand des Objektes eine Referenzmessung in der oben angeführten Art durchgeführt werden kann.

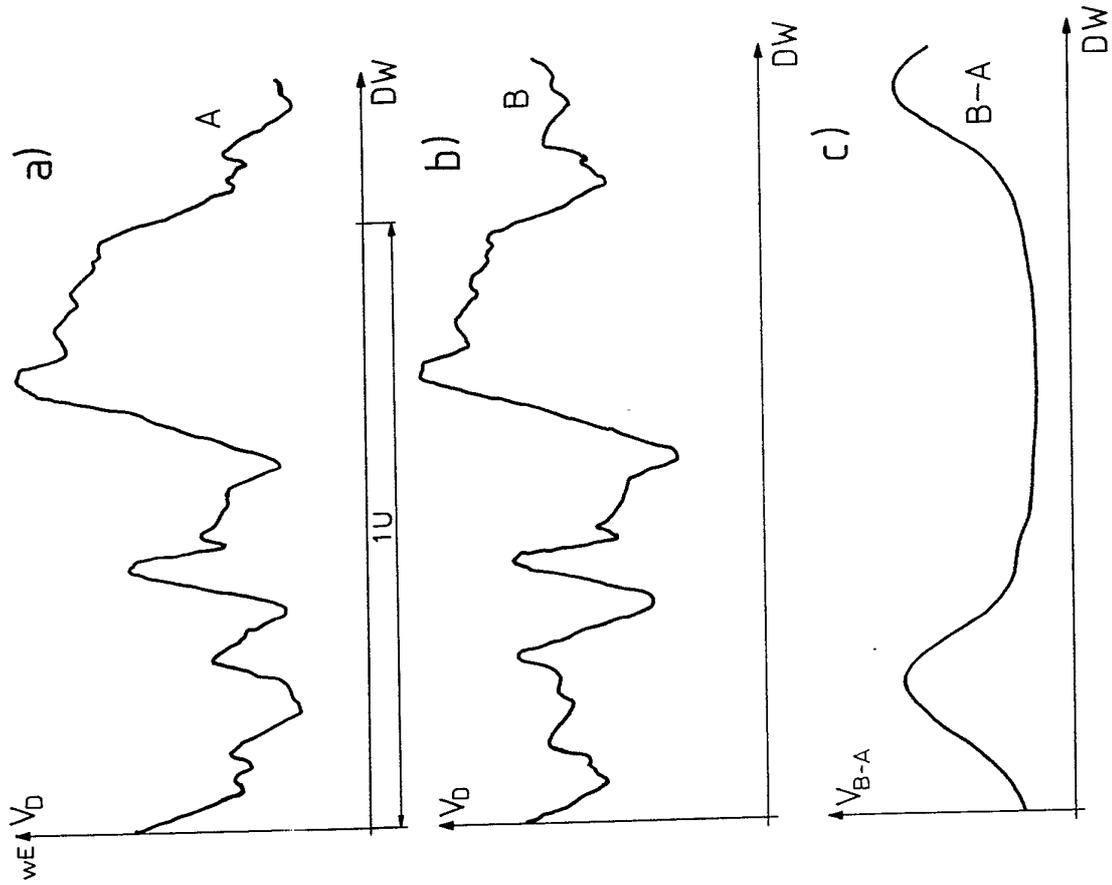


FIG.2

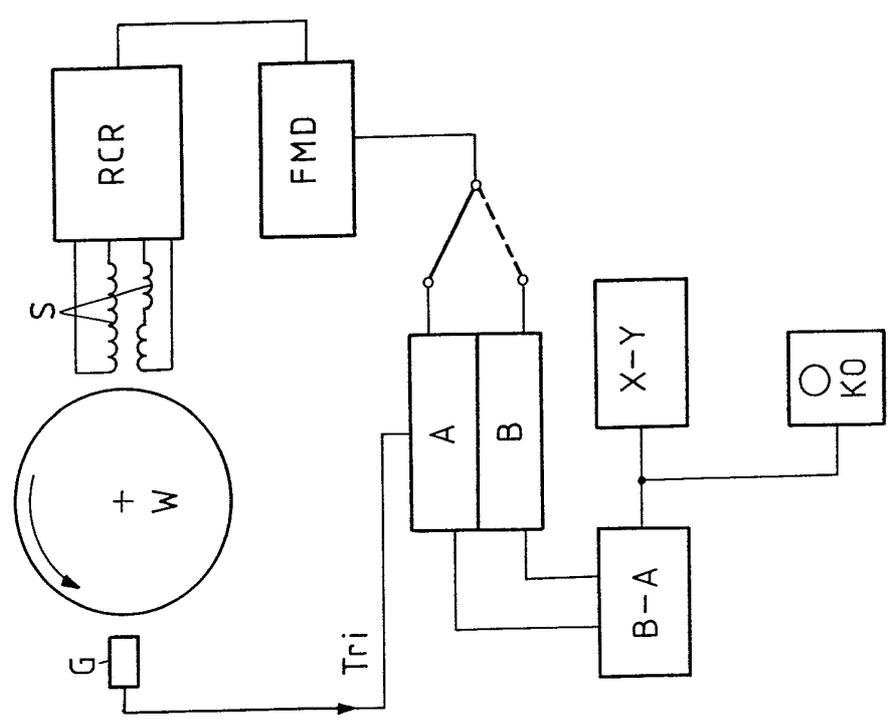


FIG.1