



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 040 407 A1 2006.03.09

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 040 407.0

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01M 13/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: 19.08.2004

**G01M 5/00 (2006.01)**

(43) Offenlegungstag: 09.03.2006

**G01D 21/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Thiele GmbH & Co. KG, 58640 Iserlohn, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 102 57 793 A1**

**GB 23 87 912 A**

**US 55 07 188**

**US 44 80 480**

(74) Vertreter:

**Bockermann, Ksoll, Griepenstroh, 44791 Bochum**

(72) Erfinder:

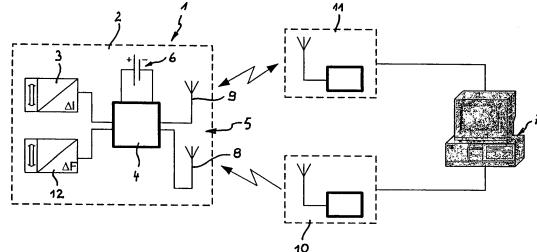
**Erfinder wird später genannt werden**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen vorgeschlagen, welche ein an einer Einrichtung applizierbares Sensormodul (1) umfasst. Das Sensormodul (1) weist einen Tragkörper (2) mit zumindest einem Messfühler (3) zur Erfassung von Bauteilespannungen und -dehnungen, einen Mikrocontroller (4), eine Antennenanordnung (5) sowie eine Spannungsquelle (6) auf und steht mit einer Datenverarbeitungsanlage (7) bidirektional in Verbindung. Die Antennenanordnung (5) umfasst eine in das Sensormodul (1) integrierte Niederfrequenz-Antenne (8). Über diese ist das Sensormodul (1) an- und ausschaltbar. Ferner ist eine in das Sensormodul (1) integrierte Hochfrequenz-Antenne (9) vorgesehen, so dass das Sensormodul (1) Hochfrequenzsignale empfangen und auch senden kann. Zur effizienten Energieausnutzung ist das Sensormodul (1) von einem Betriebsmodus in einen Stand-by-Modus überführbar, wobei ein Detektorelement (12) zur Aktivierung des im Stand-by-Modus befindlichen Sensormoduls (1) vorgesehen ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen gemäß den Merkmalen im Oberbegriff von Patentanspruch 1.

**[0002]** Die Lebensdauervorhersage von ermüdungsbeanspruchten maschinentechnischen Einrichtungen, insbesondere von schwingungsfreudigen Einrichtungen mit hohen Betriebsdauern, ist eine wichtige Aufgabe zur Sicherstellung eines einwandfreien Betriebs und zur Schadensvermeidung bzw. -vorbeugung.

**[0003]** In diesem Zusammenhang ist es bekannt, Sensoren an maschinentechnische Bauteile anzubringen, um deren Schädigung und das Lastkollektiv zu bestimmen. Diese Sensoren, in der Regel bestehend aus Dehnungsmessstreifen, müssen am Bauteil befestigt mit einer Auslese-/Auswerteeinheit und Stromversorgung gekoppelt werden. Die Verkabelung der zu überwachenden Bauteile ist nur bei den wenigsten Anwendungen durchführbar. Ein hoher personeller Aufwand ist für das Durchführen solcher Messungen erforderlich. Zusätzlich nehmen Messeinrichtungen aufgrund ihrer Komplexität mit Stromversorgung, Auswerteeinheit und Messfühler viel Platz in Anspruch. Dauermessungen sind nur sehr eingeschränkt möglich. Solche Vorgehensweisen sind daher in der Regel sehr kostenaufwändig in der Installation und unkomfortabel in der Handhabung.

**[0004]** Durch die US-A-5 421 204 zählt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von ermüdungsbeanspruchten technischen Strukturen bzw. Bauwerken, wie Brücken und ähnliches, zum Stand der Technik. Die Vorrichtung umfasst einen Sensor mit Dehnungsmessstreifen zur Erfassung von Bauteilspannungen und Bauteildehnungen sowie einen Datenspeicher, ein Steuer- und Auswertegerät, einen Sender, einen Empfänger, eine Antennenanordnung und eine Batterie als Spannungsquelle. Die Komponenten sind als Einheit an dem zu überwachenden Objekt lagefixiert. Mit den gemessenen Beanspruchungen und den daraus mit Hilfe von Zählverfahren ermittelten Beanspruchungskollektiven kann eine Schädigungsberechnung durchgeführt werden.

**[0005]** Da die Vorrichtung batterieabhängig betrieben wird, ist deren Einsatzbereitschaft von der Kapazität der Batterie abhängig.

**[0006]** Der Erfindung liegt ausgehend vom Stand der Technik die Aufgabe zugrunde, eine anwendungstechnisch verbesserte Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen zu schaffen.

**[0007]** Die Lösung dieser Aufgabe besteht nach der Erfindung in einer Vorrichtung gemäß den Merkmalen von Patentanspruch 1.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht Onlinemessungen. Sie arbeitet energieautark und benötigt keinen festen Kabelanschluss. Die Vorrichtung kann zur Bestimmung der Lebensdauer bei unterschiedlichsten maschinentechnischen Einrichtungen zum Einsatz gelangen, beispielsweise an Förderketten und anderen statisch und dynamisch belasteten Einrichtungen. Die Messwerte werden Online direkt an der Einrichtung bzw. an Komponenten und Bauteilen der Einrichtung aufgenommen. Eine aufwendige nachgeschaltete Messtechnik entfällt. Die erfassten Werte der Bauteilbeanspruchung werden bereits im integrierten Mikrocontroller des Sensormoduls verarbeitet. Durch die kleine und kompakte Bauweise kann das Sensormodul einfach und nahezu an beliebigen Orten der maschinentechnischen Einrichtung angebracht werden. Die aufgenommenen Beanspruchungen werden bereits im Sensormodul verarbeitet. Alle notwendigen Kommunikationen erfolgen entweder über eine im Sensormodul integrierte Niederfrequenz-Antenne (Low Frequency, 125 kHz) oder eine integrierte Hochfrequenzantenne (High Frequency 2,45 Gigahertz).

**[0009]** Über einen Niederfrequenz-Sender sowie einen Hochfrequenz-Sender/Empfänger steht das Sensormodul mit einer Datenverarbeitungsanlage bidirektional in Verbindung.

**[0010]** Zudem ist das Sensormodul der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer effizienten Energieverwaltung versehen, so dass die über die integrierte Dauerspannungsquelle zur Verfügung gestellte Energie optimal genutzt werden kann. Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Sensormodul in einen Stand-by-Modus überführbar ist.

**[0011]** Das Sensormodul kann fremdgesteuert von außen an- und ausgeschaltet werden, beispielsweise im Falle einer längeren Betriebsunterbrechung der zu überwachenden Einrichtung. Dies erfolgt über den Niederfrequenz-Sender und die Niederfrequenz-Antenne.

**[0012]** Die Versorgungsspannung erhält der Niederfrequenz-Kommunikationskanal aus dem Niederfrequenz-Signal von 125 kHz. Das heißt, das Sensormodul kann an- und ausgeschaltet werden, ohne auf die eigene Spannungsversorgung des Sensormoduls angewiesen zu sein.

**[0013]** Zudem geht das Sensormodul selbsttätig in einen Stand-by-Modus über, wenn es feststellt, dass über einen bestimmten Zeitraum keine messtechnisch relevanten Änderungen an der zu überwachenden Einrichtung stattgefunden haben. Im

Stand-by-Modus verhält sich das Sensormodul praktisch wie ausgeschaltet und nimmt deutlich weniger Leistung auf als im Normalbetrieb. Zur Aktivierung des Sensormoduls aus dem Stand-By-Betrieb ist ein Detektorelement vorgesehen, so dass das Sensormodul **1** schnell wieder in den Betriebsmodus versetzt werden kann. Als Detektorelement kommt bevorzugt ein Piezosensor zum Einsatz.

**[0014]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des grundsätzlichen Erfindungsgedankens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 7.

**[0015]** Die Erfindung ist nachfolgend unter Bezugnahme auf als [Fig. 1](#) beigefügte Prinzipdarstellung erläutert, die technisch schematisiert eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen zeigt.

**[0016]** Die Vorrichtung umfasst ein an einer maschinentechnischen Einrichtung applizierbares Sensormodul **1**. Das Sensormodul **1** weist einen Tragkörper **2** mit zumindest einem Messfühler **3** in Form eines Dehnungsmessstreifens zur Erfassung von Bauteilspannungen und -dehnungen, einen Mikrocontroller **4**, eine Antennenanordnung **5** sowie eine Batterie als Spannungsquelle **6** auf. Das Sensormodul **1** steht mit einer Datenverarbeitungsanlage **7** bidirektional in Verbindung. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Antennenanordnung **5** der Vorrichtung eine in das Sensormodul **1** integrierte Niederfrequenz-Antenne **8** sowie eine in das Sensormodul **1** integrierte Hochfrequenz-Antenne **9** umfasst und das Sensormodul **1** von einem Betriebsmodus in einen Stand-by-Modus überführbar ist.

**[0017]** Das Sensormodul **1** arbeitet durch die interne Spannungsquelle **6** energieautark und benötigt keinen festen Kabelanschluss. Alle notwendigen Kommunikationen erfolgen entweder über die integrierte Niederfrequenz-Antenne **8** oder über die integrierte Hochfrequenz-Antenne **9**. Die Übertragungsrichtung bei der Niederfrequenz-Kommunikation erfolgt unidirektional, das heißt, das Sensormodul **1** kann nur Niederfrequenz-Signale empfangen, aber nicht senden. Die Übertragungsrichtung bei der Hochfrequenz-Antenne **9** ist bidirektional. Das Sensormodul **1** kann Hochfrequenzsignale empfangen und auch senden.

**[0018]** Über einen Niederfrequenz-Sender **10** sowie einen Hochfrequenz-Sender/Empfänger **11** steht das Sensormodul **1** mit der Datenverarbeitungsanlage **7** bidirektional in Verbindung.

**[0019]** Die Komponenten des Sensormoduls **1** sind auf den Tragkörper **2** appliziert. Als Messfühler **3** zur Erfassung von Bauteilspannungen und Dehnungen kommt vorzugsweise ein Dehnungsmessstreifen zur

Anwendung. Der Tragkörper **2** besteht aus einem Bauteilspannungen übertragenden Material, beispielsweise aus einer Metallhülse, in welcher die Komponenten angeordnet und durch eine Vergussmasse lagefixiert sind.

**[0020]** Auf dem Tragkörper **2** ist der Dehnungsmessstreifen **3** angebracht. Der Tragkörper **2** nimmt die Spannungen der Einrichtung in Form von Dehnungen auf. Durch einen Messimpuls vom Mikrocontroller **4**, der auf einem Mehrlagen-Keramik-Modul aufgebaut ist, werden die Dehnungen des Tragkörpers **2** mit dem Dehnungsmessstreifen **3** registriert. Die aufgenommenen Messwerte werden nicht einzeln als Absolutwerte abgespeichert, sondern anhand einer Einteilung des Nennbelastungsbereichs in Klassen diesen zugeordnet. Diese Einteilung des Nennbelastungsbereichs ist auf das mit dem Tragkörper **2** verbundene Bauteil abgestimmt. Hierzu wird das Sensormodul **1** nach dem Einbau in die maschinentechnische Einrichtung justiert, das heißt, das Sensormodul **1** wird auf den Nennspannungsbereich der Einrichtung bzw. des Bauteils abgestimmt, damit aus den mittels Dehnungsmessstreifen **3** aufgenommenen Nennspannungen die von außen einwirkenden Kräfte exakt bestimmt werden können. Hierzu wird die Einrichtung mit einer definierten Kraft belastet. Dieser Betrag der Kraft wird dann über den Hochfrequenz-Sender/Empfänger **11** an das Sensormodul **1** übermittelt.

**[0021]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht die Aufnahme der aktuellen Bauteilbelastungen von maschinentechnischen Einrichtungen. Die gewonnenen und im Mikrocontroller **4** gespeicherten Messwerte werden über die im Sensormodul **1** integrierte Hochfrequenz-Antenne **9** übertragen. Für die Praxis ist daran gedacht, die Hochfrequenz-Antenne **9** in einen Frequenzbereich von 2,45 GHz zu betreiben. So sind deutlich höhere Übertragungsraten als bei Niederfrequenz möglich. Die Übertragung erfolgt nach einer Aufforderung über ein Hochfrequenzsignal, das von der Datenverarbeitungsanlage **7** über den Hochfrequenz-Sensor/Empfänger **11** zum Sensormodul **1** übertragen wird.

**[0022]** Die Aufnahme von Belastungen einer maschinentechnischen Einrichtung als Beanspruchungs-Zeit-Funktion über einen längeren Zeitraum erfordert einen hohen Speicherbedarf von mehreren Gigabytes. Damit die ermittelten Werte der Bauteilbelastungen im begrenzten Speichervolumen des Sensormoduls **1** bzw. des Mikrocontrollers **4** gespeichert werden können, ist erfindungsgemäß eine Datenreduktion bzw. eine Klassierung der Messdaten vorgesehen. Hierzu gibt es grundsätzlich verschiedene Klassierungsverfahren, die bei Betriebsfestigkeitsberechnungen angewendet werden.

**[0023]** Jedes Klassierungsverfahren erfordert die

Einteilung des Nennspannungsbereiches in einzelne Klassen, so dass einzelne Belastungsereignisse einer Klasse zugeordnet werden können. Im Rahmen der Erfindung ist vorgesehen, dass das Sensormodul **1** nach dem Matrix-Zählverfahren arbeitet mit einer Klasseneinteilung von 16 Klassen. Bei dem Matrix-Verfahren wird eine zweidimensionale Matrix, bei der die Zeilen für die Startlasten einer Belastung stehen und die Spalten für die Zielklasse, in der eine Belastung endet, mit den gemessenen Bauteilbelastungen gefüllt (siehe hierzu auch [Fig. 2](#)).

**[0024]** Um eine weitere Datenreduktion durchzuführen, werden nur positive Belastungen, das heißt Belastungen von einer Klasse in eine um mindestens eine Stufe höhere Klasse wie in [Fig. 2](#) dargestellt im Speicher des Sensormoduls **1** abgelegt.

**[0025]** Wie bereits erwähnt, ist das Sensormodul **1** zur effizienten Ausnutzung der von der Batterie **6** zur Verfügung gestellten Energie in einen Stand-by-Modus überführbar.

**[0026]** Hierzu kann das Sensormodul **1** über die Niederfrequenz-Antenne **8** und ein entsprechendes Signal fremdgesteuert ein- und wieder angeschaltet werden. In diesem definierten Stand-by-Modus bezieht kein Verbraucher Energie aus der Batterie **6**.

**[0027]** Zudem ist ein selbsttätiger Abschaltzyklus vorgesehen. Wenn das Sensormodul **1** aktiviert ist, misst es Bauteildehnungen mit einer bestimmten Taktfrequenz, beispielsweise von 3 Hz. Ändert sich über einen bestimmten Zeitraum die gemessene Bauteildehnung mit einer vorgegebenen Toleranz nicht, wird das Taktsignal sukzessive herabgesetzt, bis sich das Sensormodul **1** selbst in den Stand-by-Modus versetzt. Dies erfolgt beispielsweise, wenn die zu überwachende Einrichtung längere Zeit stillsteht, so dass keine Bauteildehnungen und -spannungen aufgenommen werden.

**[0028]** Für das Erwachen aus dem Stand-by-Modus ist erfindungsgemäß das Detektorelement **12** vorgesehen. Als Detektorelement **12** kommt ein Piezosensor zur Anwendung, der im Sensormodul **1** integriert ist. Der Piezosensor **12** detektiert im Stand-by-Modus eine Änderung der Krafteinleitung an der Einrichtung und signalisiert dies durch einen Stromimpuls an den Mikrocontroller **4** des Sensormoduls **1**. Hierdurch wird sofort eine Messung ausgeführt und das Sensormodul **1** geht in den normalen Betriebsmodus über. Im Stand-by-Modus verbraucht der Piezosensor **12** nur geringfügig Energie aus der Batterie **6**.

**[0029]** Insgesamt kann der Energieverbrauch des Sensormoduls **1** deutlich reduziert werden, so dass die planmäßige Einsatzdauer des Sensormoduls **1** gesteigert wird. Wenn überhaupt ein Austausch des Sensormoduls **1** wegen der Erschöpfung der Batterie

**6** während der Einsatzzeit erforderlich wird, werden die Intervalle hierfür wesentlich erhöht, was zu einer Kosteneinsparung führt.

**[0030]** Die Ausführungsform der [Fig. 3](#) unterscheidet sich von derjenigen der [Fig. 1](#) lediglich dadurch, dass das Sensormodul ohne Zwischenschaltung eines Tragkörpers an einer maschinentechnischen Einrichtung appliziert ist. Es ist zumindest mit einem Messfühler **3** zur Erfassung der Bauteilspannungen und Dehnungen mit der maschinentechnischen Einrichtung direkt verbunden, insbesondere aufgeklebt.

#### Bezugszeichenliste

- |           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| <b>1</b>  | Sensormodul                   |
| <b>2</b>  | Tragkörper                    |
| <b>3</b>  | Messfühler                    |
| <b>4</b>  | Mikrocontroller               |
| <b>5</b>  | Antennenanordnung             |
| <b>6</b>  | Spannungsquelle               |
| <b>7</b>  | Datenverarbeitungsanlage      |
| <b>8</b>  | Niederfrequenz-Antenne        |
| <b>9</b>  | Hochfrequenz-Antenne          |
| <b>10</b> | Niederfrequenz-Sender         |
| <b>11</b> | Hochfrequenz-Sender/Empfänger |
| <b>12</b> | Detektorelement               |

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung der Lebensdauer von maschinentechnischen Einrichtungen, welche ein an einer Einrichtung applizierbares Sensormodul (**1**) umfasst, wobei das Sensormodul (**1**) zumindest einen Messfühler (**3**) zur Erfassung von Bauteilspannungen und -dehnungen, einen Mikrocontroller (**4**), eine Antennenanordnung (**5**) sowie eine Spannungsquelle (**6**) aufweist und das Sensormodul (**1**) mit einer Datenverarbeitungsanlage (**7**) bidirektional in Verbindung steht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antennenanordnung (**5**) eine in das Sensormodul (**1**) integrierte Niederfrequenz-Antenne (**8**) sowie eine in das Sensormodul (**1**) integrierte Hochfrequenz-Antenne (**9**) umfasst und das Sensormodul (**1**) von einem Betriebsmodus in einen Stand-by-Modus überführbar ist, wobei ein Detektorelement (**12**) zur Aktivierung des im Stand-by-Modus befindlichen Sensormoduls (**1**) vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensormodul (**1**) mit der Datenverarbeitungsanlage (**7**) über einen Niederfrequenz-Sender (**10**) sowie einen Hochfrequenz-Sender/Empfänger (**11**) in Verbindung steht.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Detektorelement (**12**) ein Piezosensor ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3

dadurch gekennzeichnet, dass der Messfühler (3) ein Dehnungsmessstreifen ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensormodul (1) einen Tragkörper (2) aufweist, der aus einem Bauteilspannungen übertragenden Material besteht.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, dass die ermittelten Bauteilspannungen durch ein Matrix-Zählverfahren auswertbar sind.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsquelle (6) eine Batterie ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

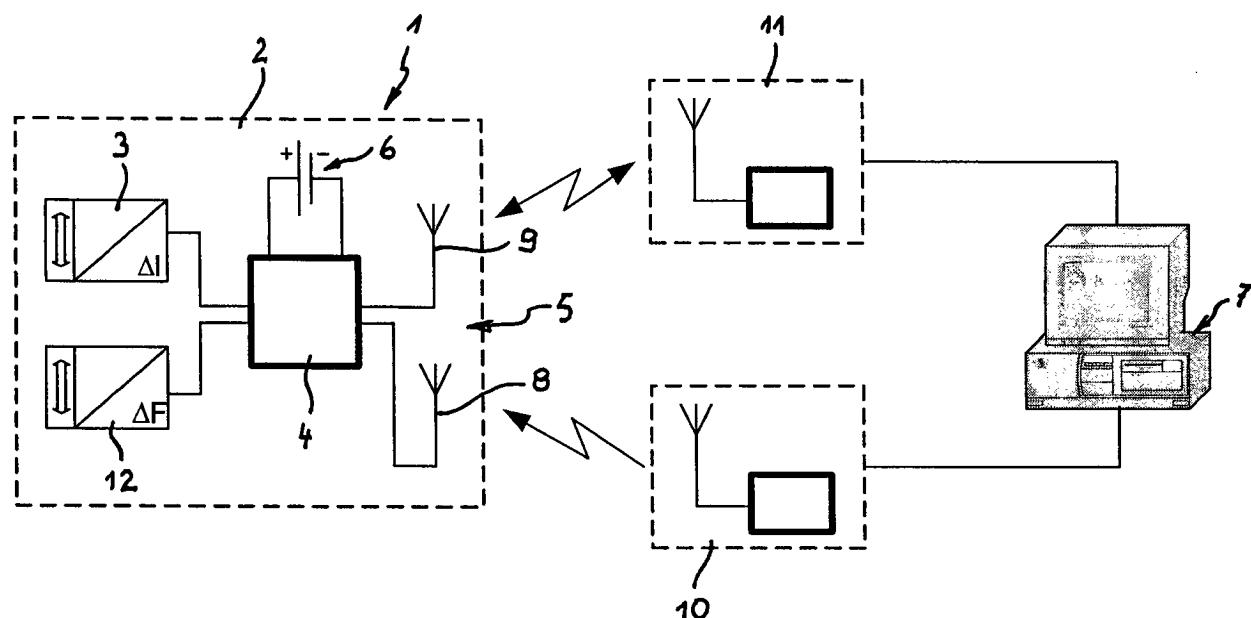


Fig. 1

Zählen der Übergänge "nach oben"

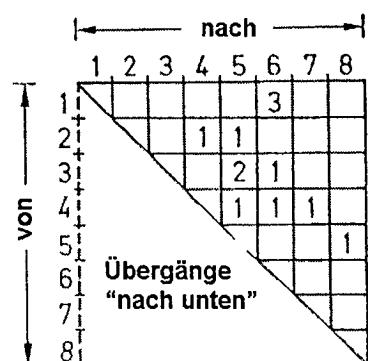
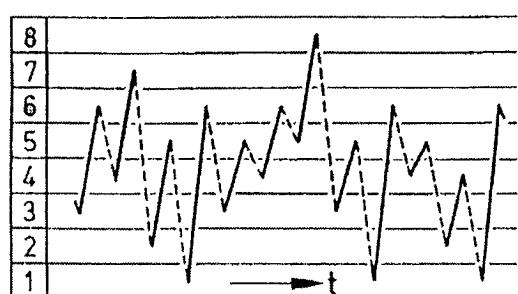


Fig. 2

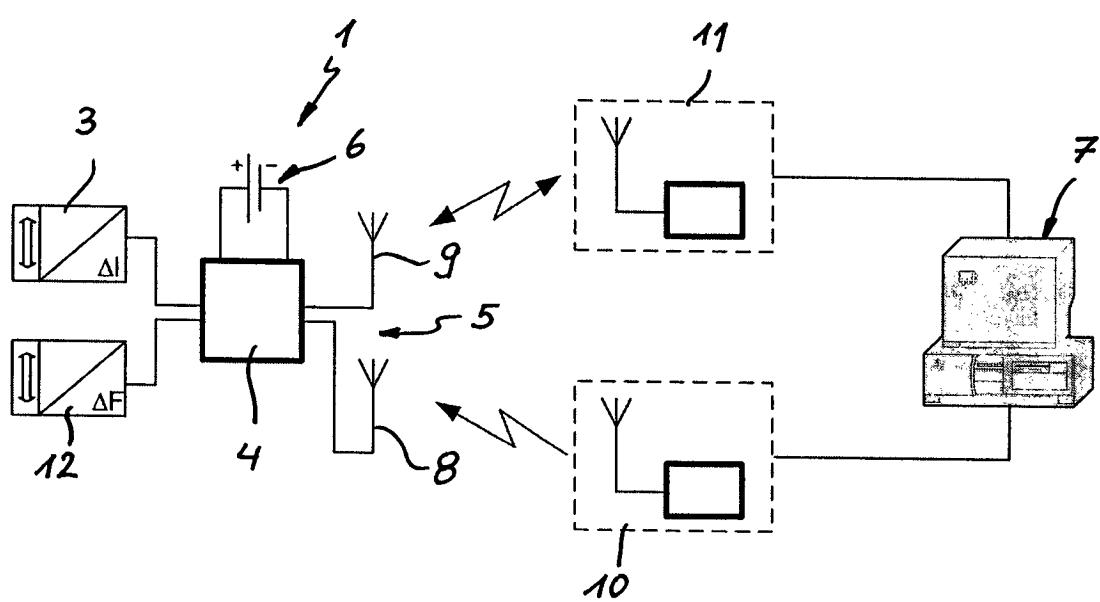


Fig. 3