



(10) **DE 10 2011 114 058 A1** 2013.03.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 114 058.5**  
(22) Anmeldetag: **22.09.2011**  
(43) Offenlegungstag: **28.03.2013**

(51) Int Cl.: **G01M 7/02 (2011.01)**  
**G01M 17/00 (2011.01)**  
**G01N 29/14 (2011.01)**

(71) Anmelder:  
**Volkswagen Aktiengesellschaft, 38440,  
Wolfsburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Janczewski, Lukasz, Bielsko Biala, PL; Meschke,  
Jens, Dr.-Ing., 38533, Vordorf, DE; Twieg, Stefan,  
Dr.-Ing., 06780, Zörbig, DE; Swoboda, Stefan,  
38272, Burgdorf, DE; Mueller, Andreas, 38542,  
Leiferde, DE**

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

**DE 42 07 728 A1**  
**DE 197 54 918 A1**  
**WO 99/ 54 703 A2**

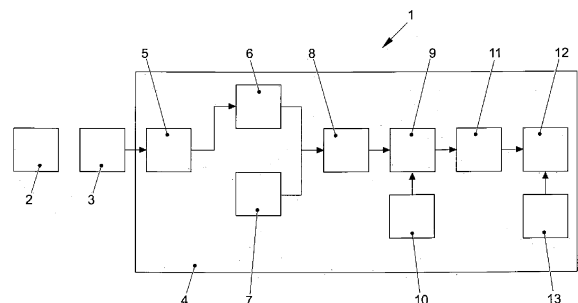
**Klein U.: Schwingungsdiagnostische  
Beurteilung von Maschinen und Anlagen. 2.  
Auflage. Düsseldorf : Stahl Eisen, 22. 08.2000.  
Seite 55 - 58. - ISBN 3-514-00663-6**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zu akustischen Beurteilung eines Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (1) zur akustischen Beurteilung eines Bauteils (2), umfassend mindestens einen Sensor (3) zur Erfassung von Schall und mindestens eine Auswerteeinheit (4), der die Signale des Sensors (3) zugeführt werden, wobei mittels der Auswerteeinheit (4) Analysemethoden auf das aufgenommene Zeitsignal des Schalls zur Ermittlung von Merkmalen durchgeführt werden und die Merkmale in Klassen klassifiziert werden, wobei in der Auswerteeinheit (4) mehrere verschiedene Analysemethoden auf das Zeitsignal angewendet werden, wobei eine Selektion von den besten Analysemethoden für unterschiedliche Fehlerfälle der Bauteile (2) durchgeführt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur akustischen Beurteilung eines Bauteils.

**[0002]** Aufgrund der akustischen Beurteilung eines Bauteils kann auf dessen Zustand zurückgeschlossen werden, da sich viele Fehler in einem veränderten Klangbild bemerkbar machen. Die akustische Beurteilung kann dabei während oder am Ende der Produktion erfolgen. Ebenso ist es möglich, während des Betriebes aufgrund einer Veränderung des Klangbildes auf eine Veränderung des Bauteils zu schließen. Dabei umfasst der vorliegend gewählte Begriff Bauteil auch komplexe Komponenten und Aggregate wie beispielsweise Motoren, Turbinen etc.

**[0003]** Aus der DE 10 2007 051 261 A1 ist ein Verfahren zur akustischen Beurteilung eines Kraftfahrzeugs bekannt, mittels mindestens eines Mikrofons, mittels dessen akustische Signale des Kraftfahrzeugs aufgenommen werden. Dabei werden zunächst die akustischen Signale des Kraftfahrzeugs mittels des mindestens einen Mikrofons erfasst. Anschließend erfolgt eine Vorverarbeitung der erfassten akustischen Signale und eine Durchführung von Analyseverfahren auf die vorverarbeiteten Signale zur Ermittlung von Merkmalen. Schließlich werden die Merkmale in Klassen klassifiziert und die Klassifizierungsergebnisse mit einer Referenz-Klassifizierung verglichen.

**[0004]** Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur akustischen Beurteilung eines Bauteils zu verbessern.

**[0005]** Die Lösung des technischen Problems ergibt sich durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 9. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0006]** Hierzu umfasst das Verfahren zur akustischen Beurteilung eines Bauteils die folgenden Verfahrensschritte:

- Anregung des Bauteils, so dass dieses Schall erzeugt,
- Aufnehmen des Schalls des Bauteils durch mindestens einen Sensor zur Erfassung von Schall,
- Durchführen mindestens einer Analysemethode auf das aufgenommene Zeitsignal des Schalls zur Ermittlung von Merkmalen,
- Klassifizieren der Merkmale in Klassen, wobei
- mehrere verschiedene Analysemethoden auf das Zeitsignal angewendet werden, wobei eine Selektion von den besten Analysemethoden für unterschiedliche Fehlerfälle der Bauteile durch Mustervergleich (Control chart) durchgeführt wird.

**[0007]** Dies ermöglicht eine schnelle und zuverlässige Erkennung verschiedenster Fehler. Merkmale aus unterschiedlichen Signalanalysen werden für bestimmte Fehlerfälle unterschieden und verglichen, um die maximale Erkennbarkeit eines Fehlers zu bekommen. So kann ein Methoden-Ranking für unterschiedliche Fälle gemacht werden. Beispielsweise kann das Verfahren dazu benutzt werden, um die besten Einstellungen von Wavelet Transformationen (Mother Wavelet Funktion) für bekannte Fehler auszuwählen.

**[0008]** Die Anregung des Bauteils kann beispielsweise darin bestehen, das Bauteil in Betrieb zu nehmen. Dabei ist es jedoch auch möglich, dieses anders anzuregen. So kann beispielsweise die Pleuellwelle eines Verbrennungsmotors mechanisch angetrieben werden, damit der Verbrennungsmotor Schall erzeugt. Der Schall kann dabei sowohl Körper- und/oder Luftschall sein.

**[0009]** Die Analysemethoden können dabei insbesondere eine Winkel Repräsentation, Fast Fourier Transformation FTT, Cepstrum, Ordnungsanalyse, Zeit Frequenz Analyse Methoden (wie beispielsweise Short time Fourier Transformation, Wavelet Packet Transformation, Kontinuierliche Wavelet Transformation, Wigner Wille Transformation, Cohen Klasse Zeit Frequenz Verteilung) und statistische Verfahren wie Mittelwert, RMS Wert, Standard Abweichung, Kurtosis, Verteilungsschiefte, Momenten Höheren Ordnung sein. Alternativ oder kumulativ können auch psychoakustische Verfahren (Lautheit, Rauigkeit, Schwankungsstärke, Schärfe, etc.) zur Anwendung kommen.

**[0010]** In einer Ausführungsform werden vor einer Ermittlung von Merkmalen in den Signalanalyse-Ergebnissen diese mit mindestens einem Grenzwert verglichen, wobei eine Selektion von Merkmalen nur erfolgt, wenn der mindestens eine Grenzwert über- oder unterschritten wird (abhängig von der jeweiligen Art des Grenzwertes). Dadurch werden nur Signalanalyse-Ergebnisse untersucht, die eine signifikante Abweichung aufweisen, die auf einen Fehler schließen lassen. Dies spart insbesondere Rechenzeit. Die Erstellung der Grenzwerte erfolgt dabei vorzugsweise mittels einer bestimmten Anzahl von i.O-Bauteilen.

**[0011]** In einer weiteren Ausführungsform wird der Schritt der besten Analyse-Methoden für unterschiedliche Anregungen der Bauteile wiederholt. Beispielsweise besteht eine Anregung darin, einen Motor mit konstanter Drehzahl anzutreiben, worin bei einer anderen Anregung die Motordrehzahl hochgefahren und anschließend abgebremst wird. Dabei kann die erste Anregung auch als statische und die zweite Anregung als dynamische Anregung angesehen werden. Dabei kann je nach Art der Anregung das Ergebnis der besten Analyse-Methode verschieden sein.

**[0012]** In einer weiteren Ausführungsform wird auf die Signalanalyse-Ergebnisse vor der Selektion der besten Analyse-Methoden mindestens ein Merkmal Selektions-/Extraktionsverfahren angewendet, insbesondere ein Wavelet-Feature-Extractor. Diese Technik erweitert das Eingabesignal zu einem großen "Zeit-Frequenz-Wörterbuch", das z. B. aus Wavelet-Paketen-Basen besteht. Danach ermittelt diese Technik mit Hilfe des Best-Basis-Algorithmus diejenige Basis, welche die verschiedenen Klassen von Eingabesignalen am besten unterscheidet.

**[0013]** In einer weiteren Ausführungsform erfolgt unmittelbar vor der Klassifizierung eine Auswahl der besten Merkmale mittels eines Merkmalsextrahierungsverfahrens.

**[0014]** In einer weiteren Ausführungsform werden für die Unterscheidung von Fehlerzuständen unterschiedliche Klassifizierungsalgorithmen verwendet. Beispielsweise kann dabei ein Bayesian neuronales Netzwerk mit Markow Chain Monte Carlo und/oder ein Wavelet neuronales Netzwerk und/oder ein selbstlernendes adaptives Verfahren zur Anwendung kommen.

**[0015]** In einer weiteren Ausführungsform erfolgt die Klassifikation mit trainierten Klassifikatoren (ein allgemeiner Klassifikator oder eine Gruppe von Klassifikatoren). Dabei wird in der Diagnose ein Muster für ein korrektes Bauteil (I.O.-Bauteil) mit dem Prüfling verglichen. Für ein neues unbekanntes Muster findet eine Musterextraktion statt und eine neue Klassifikation wird erlernt.

**[0016]** Die Vorrichtung zur akustischen Beurteilung eines Bauteils umfasst mindestens einen Sensor zur Erfassung von Schall und mindestens eine Auswerteeinheit, der die Signale des Sensors zugeführt werden, wobei mittels der Auswerteeinheit Analysemethoden auf das aufgenommene Zeitsignal des Schalls zur Ermittlung von Merkmalen durchgeführt werden und die Merkmale in Klassen klassifiziert werden, wobei in der Recheneinheit mehrere verschiedene Analysemethoden auf das Zeitsignal des Schalls angewendet werden, wobei eine Selektion von den besten Analysemethoden für unterschiedliche Fehlerfälle der Bauteile durchgeführt wird.

**[0017]** In einer Ausführungsform ist der mindestens eine Sensor als Mikrofon und/oder Beschleunigungssensor ausgebildet, wobei mittels des Mikrofons Luftschall und mittels des Beschleunigungssensors Körperschall erfassbar ist.

**[0018]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Fig. zeigen:

**[0019]** Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Vorrichtung zur akustischen Beurteilung eines Bauteils und

**[0020]** Fig. 2 ein beispielhaftes Analyseergebnis für einen Turbolader mittels Wavelet Transformation.

**[0021]** In der Fig. 1 ist ein schematisches Blockschaltbild einer Vorrichtung 1 zur akustischen Beurteilung eines Bauteils 2 dargestellt. Die Vorrichtung 1 umfasst mindestens einen Sensor 3 zur Erfassung von Schall des Bauteils 2 sowie eine Auswerteeinheit 4. Die Auswerteeinheit 4 umfasst ein Filtermodul 5, ein Objektanalysemodul 6, ein Grenzwert-Vergleichsmodul 7, ein Merkmals-Selektionsmodul 8, ein bestes Analyse-Methoden-Selektionsmodul 9, ein Controlcharts-Auswertungsmodul 10, ein Auswahlmodul 11 der besten Merkmale, ein Klassifizierungsmodul 12 und eine Datenbank 13 mit trainierten Klassifikatoren. Dabei sei angemerkt, dass insbesondere das Filtermodul 5 und die Datenbank 13 nicht Bestandteil der Auswerteeinheit 4 sein müssen und als separate externe Einheiten ausgebildet sein können.

**[0022]** Das Bauteil 2 wird angeregt, so dass dieses Schall erzeugt, der von dem mindestens einen Sensor 3 erfasst wird. Die Anregung kann dabei gleichförmig (statisch) oder ungleichförmig (dynamisch) erfolgen. Die Anregung kann dabei durch eine Inbetriebnahme des Bauteils oder einen externen Antrieb erfolgen. Insbesondere bei ungleichförmigen Anregungen, also beispielsweise dem Hochfahren einer Drehzahl eines Motors, wird dann auch die sich verändernde Größe (beispielsweise die Drehzahl) erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt. In dem Filtermodul 5 findet dann zunächst eine Filterung des oder der Zeitsignale des Schalls statt. Diese Filterung beinhaltet dabei beispielsweise ein Wavelet denoising. In dem Objektanalysemodul 6 findet dann eine Durchführung verschiedener Analyseverfahren auf die vorverarbeiteten Signale zur Ermittlung von Merkmalen statt. Vorzugsweise werden die Signale dabei mit Hilfe mehrerer Analyseverfahren sowohl für die statische als auch die dynamische Anregung analysiert, um die Fehlerergebnisse robust abbilden zu können.

**[0023]** Für die statische Anregung kommen insbesondere zwei oder mehrere der nachfolgenden Analyseverfahren zur Anwendung:

Winkel Repräsentation, FFT, Ceptrum, Ordnungsanalyse, Zeit Frequenz Analyse Methoden (z. B. Short Time Fourier Transformation STFT, Wavelet Packet Transformation mit unterschiedlichen mother wavelets, Kontinuierliche Wavelet Transformation, Wigner Wille Transformation, Cohen Klasse Zeit Frequenz Verteilung) und statistische Verfahren wie z. B. Mittelwert, RMS Wert, Standard Abweichung, Kurtosis, Verteilungsschiefe oder Momenten Höheren Ord-

nung. Weiter können auch alternativ oder ergänzend psychoakustische Verfahren angewendet werden.

**[0024]** Für die dynamische Anregung können mit Ausnahme der statistischen Verfahren die gleichen Analyseverfahren angewendet werden.

**[0025]** Die so ermittelten Analyseergebnisse werden mit Grenzwerten verglichen, die das Grenzwert-Vergleichsmodul **7** zur Verfügung stellt. Das Grenzwert-Vergleichsmodul **7** erstellt die Grenzwerte für die Schwellwertauswertung als auch die Methoden-Auswertung anhand einer bestimmten Anzahl von I.O.-Bauteilen.

**[0026]** In dem Merkmal-Selektionsmodul **8** wird dann ein Merkmal Selektions-/Extraktionsverfahren wie beispielsweise ein Wavelet-Feature-Extractor auf die verschiedenen Analyseergebnisse angewendet. Dieses Verfahren erweitert das jeweilige Eingabesignal zu einem großen "Zeit-Frequenz-Wörterbuch", das zum Beispiel aus Wavelet-Paketen-Basen besteht. Danach ermittelt das Merkmal-Selektionsmodul **8** mit Hilfe des Best-Basis-Algorithmus diejenige Basis, welche die verschiedenen Klassen von Eingabesignalen am besten unterscheidet.

**[0027]** Anschließend erfolgt im besten Analyse-Methoden-Selektionsmodul **9** eine Auswahl von besten Analysemethoden für die Anwendung beispielsweise in der Serienproduktionsumgebung durch Einsatz von Mustern (control-charts) für einzelne Analysemethoden. Das heißt, Merkmale aus unterschiedlichen Signalanalysen für bestimmte Fehlerfälle werden unterschieden und verglichen, um die maximale Erkennbarkeit eines Fehlers zu bekommen. So kann ein Methoden-Ranking für unterschiedliche Fälle gemacht werden. Das Verfahren kann dazu benutzt werden, um die besten Einstellungen von Wavelet Transformationen (Mother Wavelet Funktion) für bekannte Fehler auszuwählen. Die control-charts für unterschiedliche Analysemethoden für gegebenenfalls unterschiedliche control-chart-Schärfe werden dabei von dem Control-chart-Auswertungsmodul **10** zur Verfügung gestellt.

**[0028]** Nachfolgend werden in dem Auswahlmodul **11** die besten Merkmale für die Klassifizierung ausgewählt. Schließlich erfolgt im Klassifizierungsmodul **12** das Klassifizieren der Merkmale in Klassen, wobei hierzu das Klassifizierungsmodul **12** auf die Datenbank **13** mit trainierten Klassifikatoren zugreift.

**[0029]** Für die Unterscheidung von Fehlerzuständen werden unterschiedliche Klassifizierungsalgorithmen angewendet.

**[0030]** Das vorgestellte Verfahren zur akustischen Beurteilung von Bauteilen ist dabei sehr zuverlässig und robust, so dass sich bereits frühzeitig Ver-

änderungen von Bauteilen in der Produktion erfassen lassen, so dass diese Ergebnisse unmittelbar zur Nachsteuerung von einzelnen Produktionsstationen genutzt werden können.

**[0031]** In der [Fig. 2](#) ist beispielhaft eine Analyse eines defekten Turboladers mit verbogener Schaufel beim Hochladen des Motors dargestellt. Die Analyse erfolgte dabei mittels Wavelet Transformation: Wavelet 42, db 5 mother Wavelet, wobei mit durchgezogenen Linien ein i.O.-Bauteil und gestrichelt der defekte Turbolader dargestellt ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Vorrichtung
<b>2</b>	Bauteil
<b>3</b>	Sensor
<b>4</b>	Auswerteeinheit
<b>5</b>	Filtermodul
<b>6</b>	Objektanalysemodul
<b>7</b>	Grenzwert-Vergleichsmodul
<b>8</b>	Merkmals-Selektionsmodul
<b>9</b>	bestes Analyse-Methoden-Selektionsmodul
<b>10</b>	Control-charts-Auswertungsmodul
<b>11</b>	Auswahlmodul
<b>12</b>	Klassifizierungsmodul
<b>13</b>	Datenbank

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102007051261 A1 [[0003](#)]

### Patentansprüche

1. Verfahren zur akustischen Beurteilung eines Bauteils (2), umfassend die folgenden Verfahrensschritte:

- a) Anregung des Bauteils (2), so dass dieses Schall erzeugt;
- b) Aufnehmen des Schalls des Bauteils (2) durch mindestens einen Sensor (3) zur Erfassung von Schall,
- c) Durchführen mindestens einer Analysemethode auf das aufgenommene Zeitsignal des Schalls zur Ermittlung von Merkmalen in Klassen,
- d) Klassifizieren der Merkmale in Klassen,

**dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere verschiedene Analysemethoden auf das Zeitsignal angewendet werden, wobei eine Selektion von den besten Analysemethoden für unterschiedliche Fehlerfälle der Bauteile (2) durch Mustervergleich durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor einer Ermittlung von Merkmalen in den Signalanalyse-Ergebnissen diese mit mindestens einem Grenzwert verglichen werden, wobei eine Selektion von Merkmalen nur erfolgt, wenn der mindestens eine Grenzwert über- oder unterschritten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der besten Analysemethoden für unterschiedliche Anregungen der Bauteile (2) wiederholt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Signalanalyse-Ergebnisse vor der Selektion der besten Analysemethoden mindestens ein Merkmal Selektions-/Extraktionsverfahren angewendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Merkmal Selektions-/Extraktionsverfahren ein Wavelet-Feature-Extractor-Verfahren ist.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar vor der Klassifizierung eine Auswahl der besten Merkmale mittels eines Merkmalsextrahierungsverfahrens erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Unterscheidung von Fehlerzuständen unterschiedliche Klassifizierungsalgorithmen verwendet werden.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Klassifikation mit trainierten Klassifikatoren erfolgt.

9. Vorrichtung (1) zur akustischen Beurteilung eines Bauteils (2), umfassend mindestens einen Sensor (3) zur Erfassung von Schall und mindestens eine Auswerteeinheit (4), der die Signale des Sensors (3) zugeführt werden, wobei mittels der Auswerteeinheit (4) Analysemethoden auf das aufgenommene Zeitsignal des Schalls zur Ermittlung von Merkmalen durchgeführt werden und die Merkmale in Klassen klassifiziert werden, dadurch gekennzeichnet, dass in der Auswerteeinheit (4) mehrere verschiedene Analysemethoden auf das Zeitsignal angewendet werden, wobei eine Selektion von den besten Analysemethoden für unterschiedliche Fehlerfälle der Bauteile (2) durchgeführt wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Sensor (3) als Mikrofon und/oder als Beschleunigungssensor ausgebildet ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

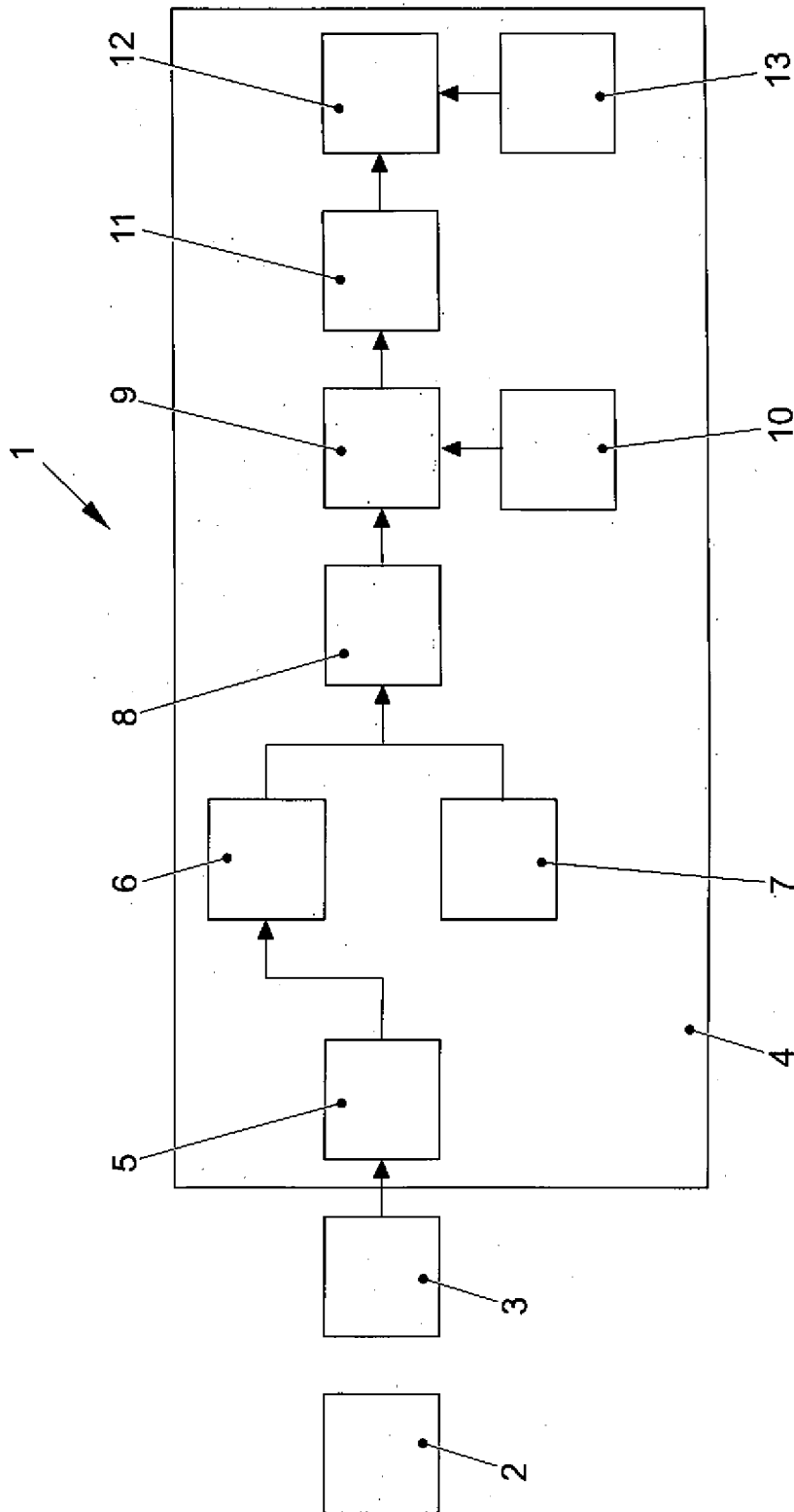


FIG. 1

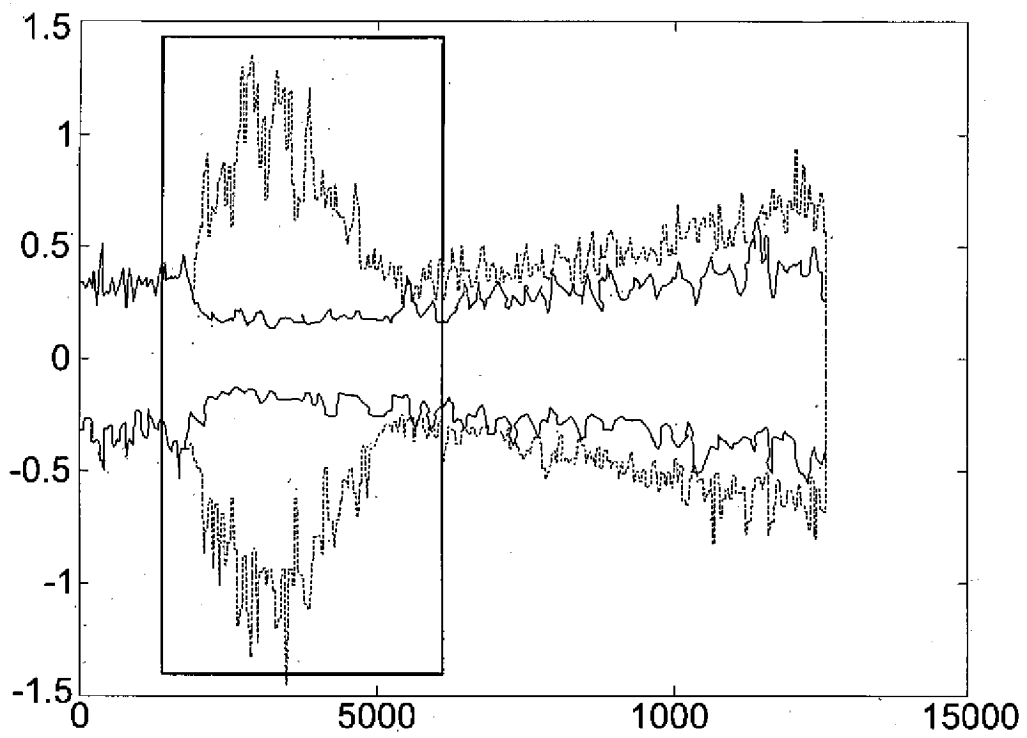


FIG. 2