



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 053 965 A1** 2008.07.31

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 053 965.6**

(22) Anmeldetag: **16.11.2006**

(43) Offenlegungstag: **31.07.2008**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 5/00 (2006.01)**
G01H 5/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Jäger, Frank-Michael, 04416 Markkleeberg, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

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

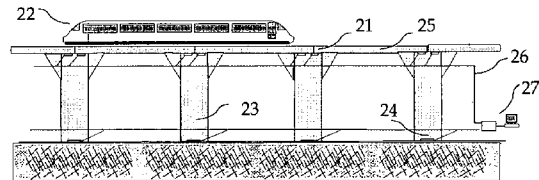
DE 44 03 344 C2
DE10 2005 057055 A1
GB 21 65 050 A
US2005/02 04 825 A1
EP 03 87 995 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Früherkennung von Bauwerksschäden**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Früherkennung von Bauwerksschäden während der gesamten Nutzungsdauer. Nach der Erfindung wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass in einem Verfahrensschritt wenigstens ein Messkörper mit einem oder zwei Ultraschallsensoren permanent die Spannung oder Spannungsverteilung in Bauwerksteilen erfasst und in einem zweiten Verfahrensschritt diese Werte mit abgespeicherten Sollwerten vergleicht. Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung wird eine hohe Auflösung der zu messenden mechanischen Spannungsverteilung erreicht. Derartige Verfahren werden zur in-situ Überwachung von Bauwerken allgemein, aber auch für Tunnel, Dämme, Hochstraßen und Auflastmessungen von Brücken benötigt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung und Bestimmung der mechanischen Spannung in Bauwerken und Bauwerksteilen, wie zum Beispiel Fundamente, Pfeiler, Tunnel, Lawingalerien, Hallen, Staudämme oder Auflager von Brücken.

[0002] Die Überwachung von Spannungsänderungen bestehender Bauwerke kann die Einflüsse durch Alterung, Temperatur, Belastungsänderungen der Tragwerke oder Veränderung im Baugrund erfassen.

Stand der Technik

[0003] Bisher bekannte Verfahren erfassen die geometrischen Veränderungen (Senkung- und/oder Neigungsmessungen) am Bauwerk, die schon durch Einwirkung oben genannter Einflüsse aufgetreten sind.

[0004] Auf die zur Neigungsmessung geeigneten Inklinometer soll hier nicht näher eingegangen werden.

[0005] Spannungsänderungen und Spannungsumlagerungen treten jedoch schon vor den geometrischen Veränderungen auf. Können diese rechtzeitig ermittelt und gedeutet werden, lassen sich größere Schäden am Bauwerk durch geeignete Maßnahmen mindern oder gar abwenden.

[0006] Zur Spannungsermittlung an Bauwerken gibt es außer dem Umweg der Ermittlung geometrischer Größen mit optischen Geräten (Dehnungsmessung mit Faseroptischen-Sensoren oder Dehnmessstreifen) für die Erfassung der Bewegung von Bauteilen auch noch die Längenmessverfahren mit Schwingseiten oder faseroptischen Sensoren.

[0007] Es gibt auch Anwendungen zur Spannungsmessung mit hydraulischen Kissen oder Kolbensystemen.

[0008] Stellvertretend seien hier für die Messverfahren, die zur Spannungsbestimmung mit hydraulischen Druckaufnehmern arbeiten, die bekannten Druckkissen nach Glötzl, genannt. Mit diesen hydraulischen Kissen kann zum Beispiel auch der Kraftschluss zum Baugrund gemessen werden.

[0009] Diese Methoden besitzen mehrere wesentliche Nachteile. So muss die absolute Dichtheit zur Aufrechterhaltung des Druckes in dem System gewährleistet sein. Zur Druckbeaufschlagung mit Hydrauliköl sind Absperrrichtungen notwendig, die aber potentielle Stellen für Undichtheiten sind. Weitere Nachteile für Langzeitmessungen sind die Vorhaltung von Pumpen und Vorratsgefäßen zur Druck-

kompensation bei Druckmessdosen oder Druckmesskissen.

[0010] Mit Druckaufnehmern kann auch die Auflast von Lagern gemessen werden. Diese Auflastmessung soll Bauwerksüberlastungen und daraus resultierende Schäden erkennen.

[0011] Werden die Elastomere, die unter Druck ein Fließverhalten zeigen, wie Flüssigkeiten betrachtet, kann durch Annahme eines quasi-hydrostatischen Druckausgleiches die Auflast bestimmt werden.

[0012] So wird nach der Patentschrift DE 199 13 895 die Auflast an Lagern (Elastomerlager) durch Druckmessung mit Druckaufnehmern gemessen.

[0013] Diese Methode wird aber durch die starke Temperaturabhängigkeit der Elastomere beeinflusst. Auch sind der Einfluss innerer und äußerer Reibungskräfte gegeben.

[0014] Das Zeitstandsverhalten von Metallen ist wesentlich stabiler als das von polymolekularen Elastomeren.

[0015] Eine wichtige Bedingung ist die Formstabilität. Ein Kriechen des Messkörpers würde zur Verlängerung der Messstrecke und damit zu fehlerhaften Messergebnissen führen. Durch Bewehrung muss ein Fließen des Elastomers verhindert werden.

[0016] Modernere elektronische Verfahren messen zum Beispiel mit Ultraschall.

[0017] So hat jeder Festkörper eine spezifische Schallgeschwindigkeit, die abhängig ist von der Dichte und Elastizität des Festkörpers. Mit dem bekannten Sonic-Log wird die Laufzeit des von einem Sender am unteren Ende einer Sonde erzeugten Schallimpulses durch das senkrechte Bohrloch umgebende Gestein zu einem oder mehreren Empfängern am oberen Ende der Sonde gemessen. Auch Festkörper aus Beton können mit Ultraschall durchschallt werden.

[0018] Zur Ankopplung der Ultraschallsender und Ultraschallempfänger wird dabei ein Koppelmedium verwendet.

[0019] Methoden, die direkt die Ultraschallgeschwindigkeit in Bauwerken (meist Betonkörper) messen, sind sehr von den Eigenschaften des inhomogenen Baustoffes abhängig. So werden Messungen zur Festigkeit und des Abbindeverhaltens von Beton gemacht. Anwendungen zur Spannungsmessung an Beton in Bauwerken gibt es praktisch nicht. Mobile Messungen an Pfeilern oder Fundamenten scheitern, weil durch Inhomogenitäten des Baukörpers keine Vergleichbarkeit der Messung möglich ist.

Auch gestaltet sich das Ausmessen der Messtrecke zur Ultraschallgeschwindigkeitsmessung schwierig, da bereits Längenänderungen von wenigen μ -Metern in das Messergebnis einfließen.

[0020] In der Patentschrift DE 198 30 196 wird ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Gesteins- und Gebirgsanisotropie sowie des Gebirgsspannungszustandes an Probenkörpern beschrieben. Die darin beschriebene Methode zur Ermittlung des Gebirgsspannungszustandes erfordert Probenkörper der Gesteine mit gegenüberliegenden Endflächen zur Anbringung der Ultraschallwandler.

[0021] Die vorgenannte Methode ist zur in-situ Messung von Spannungszuständen und Spannungsumlagerungen in oder an Bauwerken nicht geeignet.

[0022] Weiterhin sind im Stand der Technik die Druckabhängigkeit der Eigenschaften der Wellenausbreitung in unterschiedlichen Medien bekannt. Mit der Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressions- und/oder Scherwellen können richtungsabhängige Drücke und Spannungen gemessen werden. Anisotropien, Risse, Porenwasser etc. beeinflussen markant diese Messungen.

[0023] Der messtechnische Einfluss von wechselnden Porositäten oder Feuchtegehalten kann weit über dem spannungsabhängigen Anteil des Messeffektes liegen.

[0024] Für die breite Anwendung der Messung von Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Ultraschallwellen muss daher der Einfluss wechselnder Betongüten und – Zusammensetzungen möglichst ausgeschlossen werden.

Aufgabenstellung

[0025] Aufgabe der Erfindung ist es, eine geeignete Bauwerksüberwachungseinrichtung zu schaffen, die unabhängig von den Anisotropien der Baukörper, über einen langen Zeitraum die Messung der Spannung innerhalb der Baukörper und Bauwerke ermöglicht und durch den Vergleich und Analyse der gemessenen Werte mit älteren Werten mögliche Schädigungen früh erkennt.

[0026] Die Lösung der gestellten Aufgabe ist in den gekennzeichneten Merkmalen der Ansprüche 1 und 2 beschrieben.

[0027] Die weiteren Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wieder.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Früherkennung von Bauwerksschäden durch die Langzeitbeobachtung und des Vergleiches von Span-

nungsmessungen innerhalb der Bauwerke mittels Ultraschall beruht auf dem akusto-elastischen Effekt. Die Laufzeit eines Ultraschallimpulses innerhalb von inhomogenen Bauwerken wird in homogenen und isotropen Messkörpern gemessen. Die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwellen ist abhängig von den elastischen Spannungen innerhalb des Messkörpers.

[0029] Verwendet man als Messmedium ein elastisches nicht komprimierbares Medium, zum Beispiel einen Festkörper bekannter Zusammensetzung und ohne Anisotropien im Schallweg, kann man durch die Ermittlung der Schallgeschwindigkeitsänderung die Spannungen im umgebenden Bauwerk ermitteln. Voraussetzung für diese Messung ist der form- und kraftschlüssige Schluss der Messkörper mit dem Bauwerk.

[0030] Die Verbindung der Messkörper kann durch speziellen Zement, zum Beispiel durch Einbetten in Bauteile, durch kraft- und formschlüssige Verbindungen, wie bei Auflagern von Bauteilen oder Widerlagern von Brücken erfolgen.

[0031] Das Medium zur Aufnahme der Messkörper soll inkompressibel und homogen sein. Das kann zum Beispiel ein Kunststoff mit geeigneter Festigkeit, ein Metall oder auch ein Kunststein (Beton) sein.

[0032] Bei Kunststoffen besteht das Problem darin, dass viele Hochpolymere neben dem elastischen Verhalten auch ein anelastisches Verhalten zeigen. Bedingung für den Einsatz von Kunststoffen ist ein genügend großes E-Modul und ein elastisches Verhalten. Kriechfähige Kunststoffe sind für die Messung der Schallgeschwindigkeit ungeeignet.

[0033] Weiterhin wird eine geringe Ultraschalldämpfung gefordert.

[0034] Die Messung direkt in Elastomeren, wie sie für Lager verwendet werden, ist auf Grund der hohen Dämpfung nicht möglich.

[0035] Wird dagegen in den metallischen Ankerplatten der Lager die Ultraschalllaufzeit gemessen, ist eine Messung der Auflast auf die Lager vorteilhaft und leicht möglich.

[0036] Zur Erzielung einer hohen Auflösung werden möglichst kurze Sendeimpulse und steile Flanken des Empfangsimpulses benötigt. Das setzt eine gute Ultraschall-Leitfähigkeit der Messstrecken oder Messkörper voraus.

[0037] Beim Einsatz von Metallen werden diese Forderungen weitestgehend erfüllt. Die Adaption der Ultraschallwandler in metallische Körper ist leicht möglich.

[0038] Die Krafteinleitung über die Außenflächen in die Messkörper und die damit verbundene Stauchung wird als negative Dehnung messtechnisch erfasst.

[0039] Die Messung der Laufzeit der Ultraschallimpulse, d. h. die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit ist mit einem oder mehreren Ultraschallsensoren möglich. Dabei kann ein Sensor als Sender und Empfänger arbeiten und eine oder mehrere Reflexionen des Ultraschalls an der Wandung der Messstrecke auswerten. Auch zwei oder mehrere Ultraschallsensoren, d. h. getrennte Sender und Empfänger, können vorteilhaft verwendet werden.

[0040] Der akusto-elastische Effekt kann sowohl durch die Messung der longitudinalen (Schub-) Welle als auch durch die Messung der transversalen (Scher-) Welle, oder durch Auswertung der Veränderung beider Wellen erfolgen.

[0041] Es gilt die Reversibilität zwischen Ausdehnung und Stauchung.

[0042] Das Hooksche Gesetz gilt nur für den elastischen Bereich.

$$\sigma \text{ (Spannung)} = E \text{ (E-Modul)} \cdot \varepsilon \text{ (Dehnung)}$$

[0043] Die Ultraschalleiter aus Metall erfüllen das Hooksche Gesetz.

[0044] Ergebnisse von Schallgeschwindigkeitsmessungen veröffentlichten Xiaojun Huang, Daniel R. Burns und M. Nafi Toksöz, ERL, MIT „The effect of stress on the sound velocity in Rocks. Theory of Acoustoelasticity and Experimental Measurements“, Consortium Reports 2001, Earth Resources Laboratory, Cambridge, MA 02142.

[0045] In dieser Literaturstelle werden Messungen von Nelson N. Hsu ("Acoustical birefringence and the use of ultrasonic waves for experimental stress analysis", Experimental Mechanics, 14: 169–176, 1974) zitiert:

[0046] Die relative Änderung der Wellengeschwindigkeit durch die Stresseinwirkung ist sehr klein. Dabei ist die Geschwindigkeitsänderung der Transversalwelle (Scherwelle) eine lineare Funktion.

[0047] Aus den dort angegebenen Messdaten errechnet sich für verschiedenen Eisensorten eine spezifische Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeiten V_{23} und V_{13} unter Belastung „compressive stress“ von etwa:

$$2,24 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-2} \text{ MPa}^{-1}$$

[0048] David M. Stobbe ("Acoustoelasticity in

7075-T651 Aluminium and Dependence of Third Order Elastic Constants on Fatigue Damage", Thesis, August 2005, School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, S. 45) ermittelte typische Abhängigkeiten von Longitudinalwellen (Schub-Wellen) in Aluminium bei unterschiedlichen Lastaufnahmen.

[0049] Es besteht in dem untersuchten Bereich bis 350 MPa eine lineare Abhängigkeit.

$$4,53 \cdot 10^{-2} \text{ ms}^{-2} \text{ MPa}^{-1}$$

[0050] Die Änderung der Schallgeschwindigkeit ist neben der Abhängigkeit von der einwirkenden mechanischen Spannung auch von der Temperatur abhängig.

[0051] In der Praxis stellt sich der Temperatureausgleich zwischen Sonde und umgebendem Bauwerk ausreichend schnell ein. Größere Temperaturschwankungen sind im stationärem Einbau in Tunnel oder Fundament nicht zu erwarten. Bei Anwendungen an Brückenpfeilern oder Dämmen, wo mit einer wechselnden Umgebungstemperatur zu rechnen ist, sind Temperaturmessungen zur Kompensation denkbar und sind leicht im Messkörper implementierbar.

[0052] Durch das elastische Verhalten der Messstrecke zwischen den Ultraschallsensoren wird auch die Länge der Messstrecke verändert.

[0053] Da bekannt ist, dass zum Beispiel die Änderung der Schallgeschwindigkeit durch die Einwirkung einer mechanischen Spannung (Stauchung der Messstrecke) dreimal so groß ist, wie der Einfluss der reinen Längenänderung (die durch diese Spannung oder Krafteinwirkung auf die Messstrecke entsteht) auf die Schallgeschwindigkeit, kann durch die Messung der Schallgeschwindigkeit, eine ausreichend genaue Ermittlung der Spannung der umgebenden Bauwerksteile erfolgen.

[0054] Die oben dargelegten akustoelastischen Koeffizienten sind im Verhältnis zur absoluten Schallgeschwindigkeit sehr klein.

[0055] Die direkte messtechnische Auswertung durch eine übliche Laufzeitmessung (time of flight) ist zu ungenau, da hier die Auflösung nicht ausreicht.

[0056] Eine direkte Frequenzzählung über Mikroprozessoren scheidet aus, da die Zykluszeit (Rechentakt) um den Faktor 1000 bis 10000 größer ist als die geforderte nutzbare Auflösung. Metallplatten von wenigen Zentimetern ergeben bei nur einer Reflexion Laufzeiten des Ultraschallimpulses kleiner 10 μs .

[0057] Sollen Belastungen von nur einigen MPa ge-

messen werden, muss die Auflösung unter 0,1 ns liegen.

[0058] Zur Erfassung von Lastumlagerungen (oder auch Spannungsumlagerungen) in der Größenordnung 100 kPa und kleiner reichen auch moderne Messanordnungen wie die TDC (Time-to-Digital-Converter) mit Auflösungen bis etwa 0,15 ns nicht aus.

[0059] Mit elektronischen Maßnahmen kann die Messempfindlichkeit (hier auch als Auflösung bezeichnet) erhöht werden. So können die Ultraschallsensoren (Sendewandler und Empfangswandler) in einer Regelschleife (PLL-Oszillator) oder als pulsed-phase-locked-loop (PPLL) betrieben werden. Man erreicht einen Phasen-Shift kleiner $0,001^\circ$, das entspricht einem Zeitversatz von etwa 0,002 Nanosekunden. Damit ist die Auflösung ca. zweimal besser als bekannte Verfahren mit FFT-basierten Auswertungen und Kreuzkorrelationen der Echosignale.

[0060] Der Mikroprozessor zur Impulsdauermessung einer mit der PLL-Regelschleife generierten kontinuierlichen Impulsfolge, wird zum Beispiel mit einem Quarz mit einer Frequenz von 10 MHz und höher betrieben. Unter quasi-stationären Temperaturbedingungen kann z. B. bei GPS-Empfängern von einer Langzeitstabilität von 10^{-6} bis 10^{-8} (Zeitbasis 1 Tag) und einer Kurzzeitstabilität von 10^{-9} bis 10^{-11} (Zeitbasis 1 Sekunde) ausgegangen werden.

[0061] Bei größeren Spannungsüberwachungsanlagen kann die Frequenz der PLL-Regelschleife auch zu einer zentralen Auswerteeinheit übertragen werden. Auf die weitere Darstellung von Möglichkeiten der Frequenz- und Impulsübertragung mit Glasfaserkabeln wird hier verzichtet.

[0062] Dort kann die Periodendauermessung mit stabileren Zeitnormalen (z. B. Atomuhren oder mit damit synchronisierten Oszillatoren) durchgeführt werden.

Ausführungsbeispiele

[0063] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche. Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben werden. Es zeigen:

[0064] **Fig. 1** eine Ausführungsvariante und Vorrichtung zur Spannungsüberwachung von Bauwerken unter Lastaufnahme

[0065] **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Ausführungsvariante zur permanenten Überwachung von Bauwerken

[0066] **Fig. 3** eine Vorrichtung in Verwendung als lastaufnehmendes Brückenlager

[0067] **Fig. 4** eine Vorrichtung mit einem Ultraschallsensor im Bauwerk

[0068] **Fig. 5** eine Vorrichtung mit Vorlaufkörper

[0069] **Fig. 6** eine Vorrichtung mit einem Ultraschallsensor und PLL-Schaltung

[0070] **Fig. 7** eine Vorrichtung mit 2 Ultraschallsensoren in Rückkopplungsbetrieb

[0071] In **Fig. 1** ist eine Ausführungsvariante und Vorrichtung zur Spannungsüberwachung von Bauwerken unter Lastaufnahme dargestellt. Die Auflast der Bauwerksteile **36** wird von Pfeilern **35** getragen. Die Bauwerksteile **36** sind hier beispielhaft Deckenelemente oder Fahrbahnen.

[0072] Die Vertikalspannung **34**, die hier nur schematisch dargestellt ist, wird durch einen Kraft und/oder Formschluss in die Ultraschallsensoren **31** eingeleitet. Dabei können die gemäß der Erfindung benutzten Ultraschallsensoren **31** im Bauwerksteil **35** in Beton, oder in speziellen Vertiefungen in kraftübertragende Polymere, eingebettet sein.

[0073] Den Kraftschluss zum Bauuntergrund **39** wird von den Ultraschallsensoren **44** überwacht. Erfindungsgemäß können damit nicht nur Veränderungen durch tektonische Kräfte, sondern auch örtlich begrenzte, plötzliche oder langsam einwirkende Beeinträchtigungen des Bauwerkes erfasst werden. Gefahren durch Bergrutsche oder Unterspülungen werden so durch die veränderte Lastaufnahme und die dadurch bedingte Spannungsumlagerung im Bauwerk erkannt.

[0074] Die Analyse des Ist-Zustandes der Spannungsverteilung im Bauwerk kann abgespeichert und mit den jeweiligen aktuellen Messdaten verglichen werden. Temperaturbedingte Schwankungen in der Jahresganglinie, die zum Beispiel bei Brückenbauwerken und Staudämmen auftreten, können mit berücksichtigt werden. Ebenso kann eine Korrelation mit Windgeschwindigkeitsmessern erfolgen.

[0075] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung der Anordnung von mehreren Ultraschallsensoren **21** und **24** zur Erfassung der Vertikalspannung und Auflasten in Pfeilern **23**, wie sie zum Beispiel bei Hochbahnen zur Anwendung kommen können. Die Ultraschallsensoren **21** und **24** sind hier beispielsweise über einen Feldbus **26** verkabelt. Über die jeweiligen Adressen der Ultraschallsensoren **21** und **24** ist eine Zuordnung zu den Pfeilern **23** möglich.

[0076] Veränderungen in der Lastaufnahme z. B.

durch liegende gebliebene Fahrzeuge **22**, Veränderungen im Baugrund, tektonisch bedingte Hebungen oder Senkungen der Fahrbahn **25**, werden so der Zentrale **27** gemeldet.

[0077] **Fig. 3** zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung als lastaufnehmendes Brückenlager. Stellvertretend für alle denkbar möglichen Lager sei hier ein Rollenlager mit einem Ultraschallsensor **82** in der unteren Ankerplatte **81** aufgezeigt. Zwischen der unteren Ankerplatte **81** und dem Tragwerk **85** ist eine lastverteilende Polymerschicht **84** aufgebracht.

[0078] Die Ankerplatte **81** und die Polymerschicht **84** bestehen aus Materialien unterschiedlicher akustischer Impedanz. Die aus dem akustisch härteren Material hergestellte Ankerplatte **81** ist in die akustisch weichere Polymerschicht **84** eingebettet. Mit dem Spezialfall einer Deformation, der Stauchung einer (theoretisch unendlichen ohne Randbegrenzung besitzende) Platte, lässt sich die Spannung eindimensional erfassen. In der hier beispielhaft dargestellten Weise kann die Spannungseinwirkung durch die Lagerauflast direkt in der Ausbreitungsrichtung der longitudinalen Wellen gemessen werden.

[0079] Foliensensoren aus PVDF können hier vorteilhaft als Ultraschallsensor **82** eingesetzt werden. Die unter dem Ultraschallsensor befindliche Polymerschicht **84** erfüllt neben der Lastverteilung noch eine weitere wichtige Aufgabe. Da dies Polymerschicht **84** nicht nur eine, von der Ankerplatte verschiedene akustische Impedanz besitzt, sondern auch eine große spezifische Ultraschalldämpfung, wirkt sie wie ein rückwärtiger Dämpfungskörper auf den Ultraschallsensor **82**. Das bewirkt einen sehr kurzen Ultraschallimpuls, der hier vorteilhaft benötigt wird. In der hier dargestellten Ausführungsform kann die Spannungsbeeinflussung der Longitudinalwelle vorteilhaft mit nur einem Ultraschallsensor **82** gemessen werden.

[0080] Keramische Sensoren sind gegenüber Druckbelastungen sehr anfällig, und würden in dieser Anwendung zerstört werden. Für keramische Ultraschallsensoren ist die in **Fig. 5** beschriebene Vorrichtung geeignet.

[0081] Die in **Fig. 4** schematisch dargestellte Vorrichtung zur Spannungsmessung mit einem Ultraschallsensor **41** eignet sich sowohl für die Einbettung in einem Bauwerk oder Bauwerksteil **45**, als auch als lastaufnehmendes Lager. Das Wesentliche an der schematischen Schnittdarstellung ist, dass der Ultraschallsensor in einem schlitzförmigen Einschnitt **43** angeordnet ist. Die Schräge des Winkels **48** bestimmt die Anzahl der Reflexionen im homogenen Festkörper **49** (auch Messkörper genannt). Dieser Festkörper **49** ist in ein lasttragendes Bauteil **45** eingebettet. Die Auflast des Bauwerkskörpers **46** be-

wirkt eine Spannung **44** innerhalb der Bauwerkskörper **45** und **46**. Diese wird nach Einleitung in dem Messkörper **49** als Änderung der Ultraschallwelle **42** erfasst. In einem druckdichten Gehäuse **47** ist die dazu notwendige Elektronik untergebracht.

[0082] Die Vorrichtung kann natürlich auch mit zwei Ultraschallsensoren, Sender und Empfänger betrieben werden.

[0083] Die in **Fig. 4** gezeigten schlitzförmigen Einschnitte **43** können natürlich entfallen, wenn die Endflächen der Messkörper **49** mit Flächen, entsprechend der Winkel **48**, ausgebildet werden. Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann beliebige Formen haben, wenn Sie dadurch die Messung der akusto-elastischen Größen gestattet.

[0084] **Fig. 5** zeigt eine Vorrichtung mit zwei Ultraschallsensoren **41** mit Vorlaufkörper **91**. Erfindungsgemäß ist durch die Montage der Ultraschallsensoren **41** auf die Vorlaufkörper **91** eine Justierung der Ultraschallsensoren **41** zueinander möglich. Vorteilhafterweise kann die Echoamplitude auf ein Maximum abgeglichen werden. Die mechanisch geschützte Anordnung der Ultraschallsensoren **41** in Vertiefungen **92**, die auch mit nicht näher erläuterten Dämpfungsmassen gefüllt werden können, gestattet auch die Anwendung von Ultraschallsensoren **41** beliebiger Materialien.

[0085] Kombinationen der vorstehend in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtungen, sind möglich und werden nicht näher beschrieben.

[0086] **Fig. 6** zeigt eine Vorrichtung mit einem Ultraschallsensor **11** auf einem Messkörper **14**. Die einwirkende Spannung **13** bewirkt eine Veränderung der Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwelle **15**. Über eine elektrische Verbindungsleitung **12** ist der Ultraschallsensor **11** mit einer elektronischen Schaltung verbunden. Diese enthält im wesentlichen einen Ultraschallsender P1, einen Ultraschallempfänger R1, einen Impulsformer PF, einen Phasenkomperator PC, einen spannungsgesteuerten Oszillator VCO und einem Mikroprozessor MC, der den reziproken Frequenzzähler zur Messung der Impulslänge bildet. Die Ultraschallimpulse zum Ultraschallsensor **11** können beispielsweise aller 10 ms bis 1 ms vom Ultraschallsender P1 ausgesendet werden. Die empfangenen Echos E1 treffen entsprechend aller 10 ms bis 1 ms mit einem oder mehreren reflektierten Echos ein. Je nach Ausgestaltung der Messstrecke im Messkörper **14**, betragen die Abstände zum Sendepuls wenige μs bis etwa 100 μs . Die vom Ultraschallempfänger R1 empfangenen Impulspakete E2, bestehend aus Sendepuls und Mehrfachreflexionen, werden einem Phasenkomperator PC zugeführt. Auf

die Arbeitsweise der bekannten PLL-Schaltung, auch Phasenregelschleife oder phase-locked-loop genannt, wird hier nicht näher eingegangen.

[0087] Die nicht näher dargestellten frequenzbestimmenden Bauelemente des VCO werden so dimensioniert, dass die mittlere Impulsdauer der Frequenz dem Abstand der Echos, bzw. Mehrfachechos entspricht. Die Variationsbreite der spannungsveränderlichen Frequenz des VCO wird nicht unnötig groß eingestellt. Wichtiger Bestandteil der PLL-Schaltung ist das Tiefpassfilter TP (auch Schleifenfilter genannt). Eine Dimensionierung dieses Filters auf schnellstmögliches Einrasten ist nicht zwingend. Wichtig sind die Optimierung auf geringes Phasenjitter.

[0088] Ein Frequenzteiler (Divider 1/N) ist nicht notwendig. Ein Einrasten der Frequenz des VCO auf die Impulsfolgefrequenz des Sendetaktes von P1 darf nicht erfolgen. Durch geeignete Dimension des Fangbereiches des VCO und des Schleifenfilters TP, ergibt sich eine Impulsfolge E3 mit einer Ausgangsfrequenz, die exakt dem Impulsabstand der Echos (Mehrfachechos) entspricht.

[0089] In hier nicht näher dargestellter Weise ist eine Kontrolle und Auswertung, der jetzt als kontinuierliche und symmetrische Impulsfolge vorliegenden Laufzeit des Echoimpulse E3, über eine FFT-Analyse möglich.

[0090] Das Ausgangssignal FB kann zweckmäßig über einen Feldbus neben der Information zur Impulslänge E3, das entspricht der Laufzeit des Ultraschallimpulses vom Ultraschallsensor 11 zum Reflektor und zurück zum Ultraschallsensor 11, in Verbindung mit weiteren Messstellen-Informationen, ausgegeben werden. Dazu wird in bekannter Weise der Mikroprozessor MC mit bekannten Schnittstellenbausteinen U mit einer zentralen Auswertung über den Feldbus verbunden.

[0091] Fig. 7 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung mit 2 Ultraschallsensoren 11 und 18 in Rückkopplungsbetrieb.

[0092] Ein Ultraschallsender P1 sendet Sendeimpulse E7.1 über eine Verbindungsleitung 12 zum Ultraschallsender 11. Auf einem Messkörper 14 einwirkende Spannung 13 bewirkt eine Veränderung der Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwelle 15 zwischen dem Ultraschallsender 11 und dem Ultraschallempfänger 18. Über eine weitere elektrische Verbindungsleitung ist der Ultraschallempfänger 18 mit einer elektronischen Schaltung verbunden. Diese enthält im wesentlichen einen Ultraschallsender P1, einen Ultraschallempfänger R1, einen Impulsformer PF, eine Regelschleife nach dem Prinzip einer DLL (delay-locked-loop) und einem Mikroprozessor MC,

der den reziproken Frequenzzähler zur Messung der Impulslänge bildet.

[0093] Bestandteile der DLL sind ein Impulsformer PF-2, ein Zeit-zu-Spannungsumsetzer TVC (time-to-voltage-converter), ein Integrator S und ein in seiner Periode einstellbarer Oszillator PCO (period-controlled-oscillator).

[0094] Der PCO steuert den Sender in der Art, dass die Periodendauer des PCO exakt die Schalllaufzeit eines Impulses der Schallwelle 15 ist. Der Integrator S kann zur Pufferung aus akustischen Gründen eingefügt werden. Nach jedem Empfang eines Echosignales E7.2 wird im TVC eine Spannung zur Steuerung des PCO erzeugt. Die Ausgangsimpulse des PCO werden im Impulsformer PF als kontinuierliche Impulsfolge E7.3 einem Binärteiler BT zur symmetrischen Teilung zugeführt. Die in einem bekannten Teilverhältnis zur E7.4 heruntergeteilte Impulsfolge kann so mit noch größerer zeitlichen Auflösung gemessen werden.

[0095] Das Ausgangssignal FB kann dann wie in Fig. 6 zweckmäßig über einen Feldbus neben der Information zur Impulslänge E7.4, das entspricht der Laufzeit des Ultraschallimpulses vom Ultraschallsender 11 zum Ultraschallempfänger 18, in Verbindung mit weiteren Messstellen-Informationen, ausgegeben werden. Dazu wird in bekannter Weise der Mikroprozessor MC über den bekannten Schnittstellenbaustein U mit einer zentralen Auswertung über den Feldbus verbunden.

[0096] In vorteilhafter Weise ist der Mikroprozessor MC zum sicheren Anschwingen der Ultraschallsensoren im Rückkopplungsbetrieb mit dem Ultraschallsender P1 verbunden.

[0097] Die Vorrichtungen in den vorstehend gezeigten Figuren stellen nur beispielhaft die Möglichkeiten zur Ultraschall-Impulserzeugung dar.

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 19913895 [0012]
- DE 19830196 [0020]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Xiaojun Huang, Daniel R. Burns und M. Nafi Toksöz, ERL, MIT „The effect of stress on the sound velocity in Rocks. Theory of Acoustoelasticity and Experimental Measurements“, Consortium Reports 2001, Earth Resources Laboratory, Cambridge, MA 02142 [0044]
- Nelson N. Hsu ("Acoustical birefringence and the use of ultrasonic waves for experimental stress analysis", Experimental Mechanics, 14: 169–176, 1974) [0045]
- David M. Stobbe ("Acoustoelasticity in 7075-T651 Aluminium and Dependence of Third Order Elastic Constants on fatigue Damage", Thesis, August 2005, School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, S. 45) [0048]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Früherkennung von Bauwerksschäden durch von außen induzierte Einwirkungen mit Auswirkungen auf Spannungen in Bauwerken und/oder Bauwerksteilen mit nachfolgenden Verfahrensschritten:

- a) dass während der Nutzung des Bauwerkes eine permanente oder intermittierende Überwachung von Spannungszuständen in Bauwerken und/oder Bauwerksteilen mit akustischen Wellen erfolgt,
- b) und die durch den akusto-elastischen Effekt ermittelten Spannungszustände auf Veränderungen im Zeitbereich analysiert werden
- c) ein Vergleich mit abgespeicherten Ist-Zustandswerten erfolgt.

2. Verfahren zur Früherkennung von Bauwerksschäden durch von außen induzierte Einwirkungen mit Auswirkungen auf Spannungen in Bauwerken und/oder Bauwerksteilen mit nachfolgenden Verfahrensschritten:

- a) dass während der Nutzung des Bauwerkes eine permanente oder intermittierende Überwachung von Spannungszuständen in Bauwerken und/oder Bauwerksteilen mit akustischen Wellen erfolgt,
- b) und die durch den akusto-elastischen Effekt ermittelten Spannungszustände auf Veränderungen im Zeitbereich analysiert werden
- c) ein Vergleich mit abgespeicherten Ist-Zustandswerten, bei denen eine Überlagerung oder Korrelation mit jahreszeitlichen, klimatischen oder meteorologisch bedingten Störgrößen erfolgt.

3. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass zur Messung oder Erfassung der Schalllaufzeit eine Periodendauermessung (reziproker Frequenzzähler) den Abstand zwischen dem Sendeimpuls und dem darauffolgenden Empfangsimpuls des ersten Echos oder zwischen mehreren darauf folgenden Mehrfachechos, durch Phasensynchronisation der Periodendauern zwischen Senden und Empfangen der Ultraschallimpulse mit einer variablen Frequenz mit einer Phase-Locked-Loop-Schaltungsanordnung (PLL) oder Pulse-Phase-Locked-Loop-Schaltungsanordnung (PPLL) ermittelt, dabei die im Verhältnis zur Impulsausendung sehr kurze Impulslaufzeit, in eine kontinuierliche Impulsfolge wandelt und synchronisiert.

4. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass die Ultraschallsensoren so verschaltet sind, dass sich die Impulsfolge-Sendefrequenz über einer Rückkopplung des Senders und Empfängers einregelt, und diese mit einer Periodendauermessung erfasst wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch ge-

kennzeichnet, dass sich die sich einstellende Rückkoppelfrequenz zur gesendeten Impulsfolgefrequenz mittels einer Delay-Locked-Loop-Schaltungsanordnung (DLL) und eines Time-to-Voltage-Converters (TVC) einstellt und bei Bedarf zur Auswertung in einem bekannten Verhältnis so weiter herunter geteilt wird.

6. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 3 bis 5, wobei die Ultraschallsensoren über Vorlaufkörper mit dem Messkörper zur Spannungsmessung verbunden sind.

7. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 3 bis 6 zum Überwachen von Lager zur Lastaufnahme in oder an Bauwerken.

8. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 3 bis 7, wobei

- a) die Ultraschallsensoren zwischen lastaufnehmender Ankerplatte und lastverteilender Polymerschicht angeordnet sind
- b) die lastverteilende Polymerschicht die Aufgabe einer Dämpfungsschicht für den Ultraschallsensor erfüllt.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

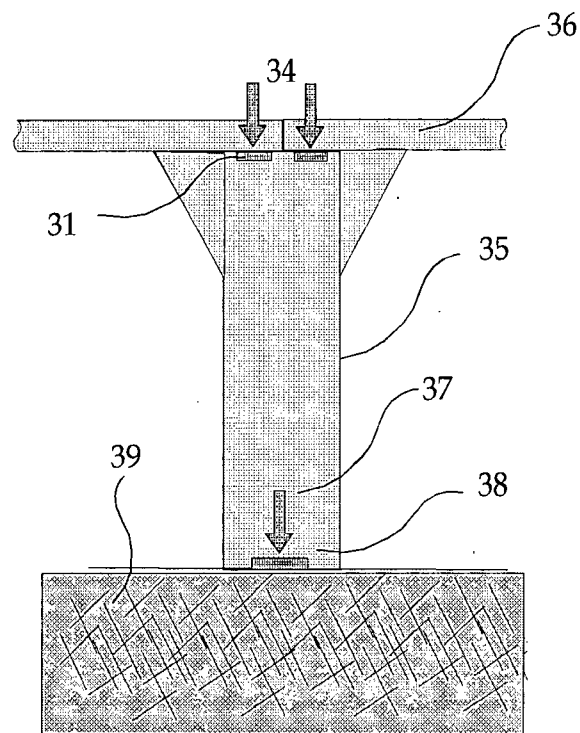


Fig. 1

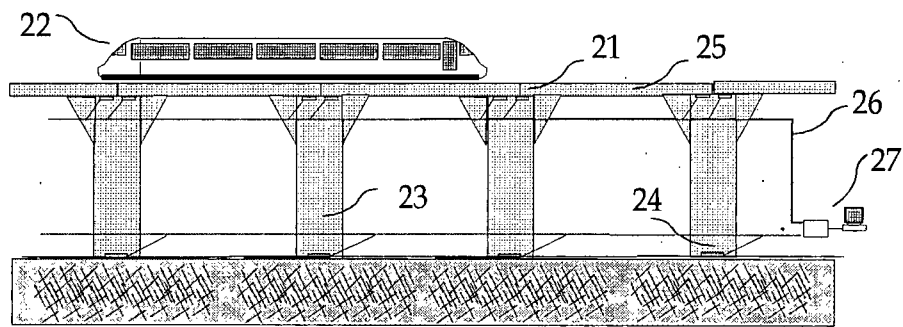


Fig. 2

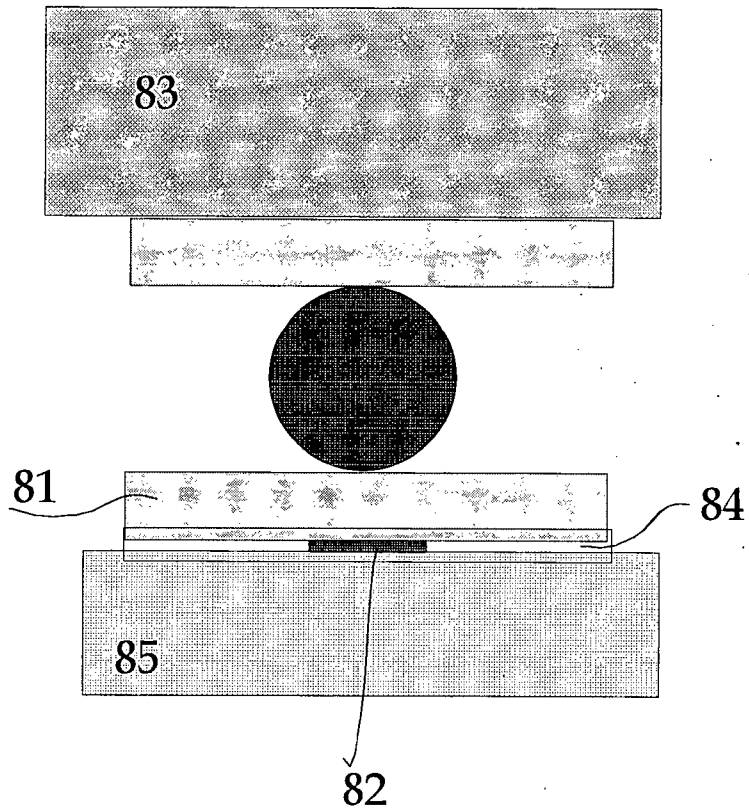


Fig. 3

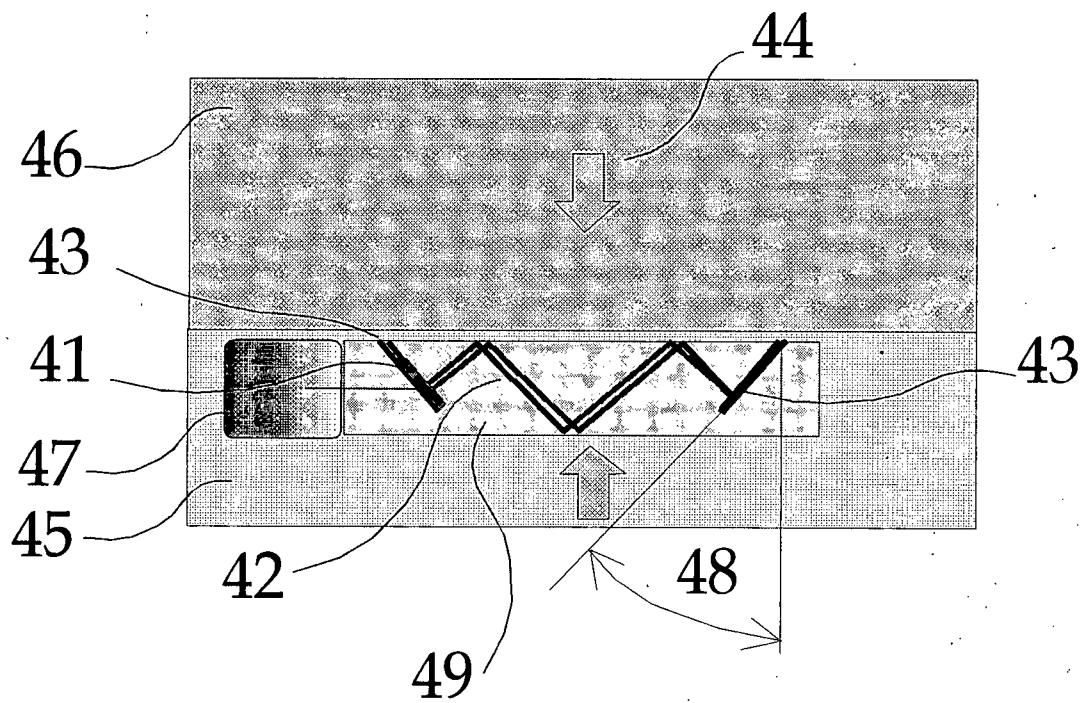


Fig. 4

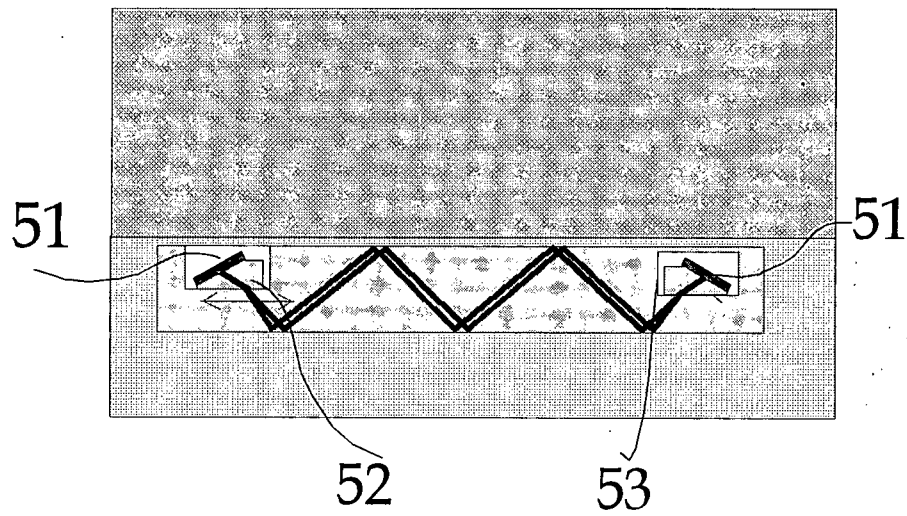


Fig. 5

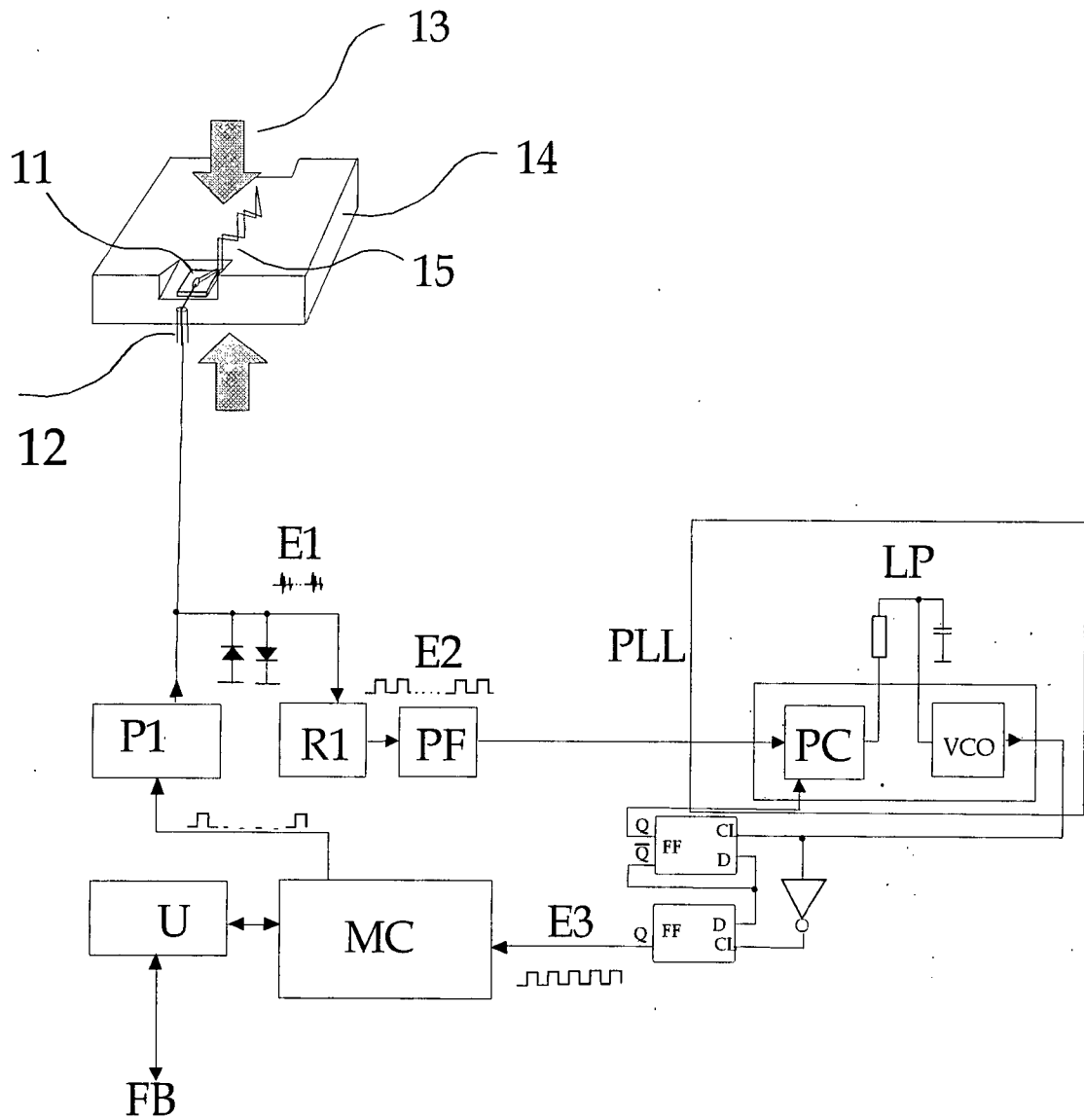


Fig. 6

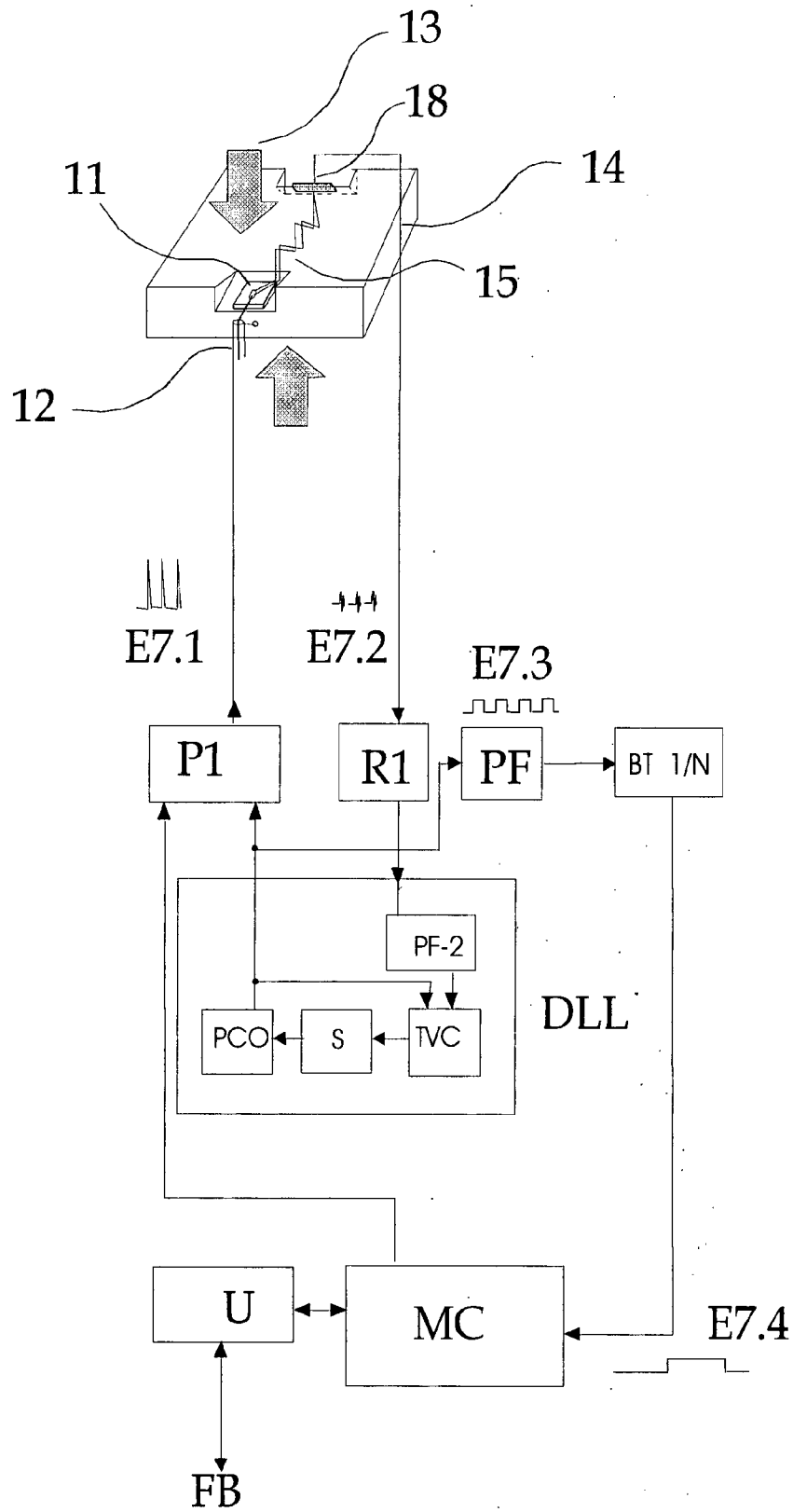


Fig. 7