



(10) **DE 10 2008 044 000 B4** 2019.11.07

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2008 044 000.0**
(22) Anmeldetag: **24.11.2008**
(43) Offenlegungstag: **27.05.2010**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **07.11.2019**

(51) Int Cl.: **G05D 19/02 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

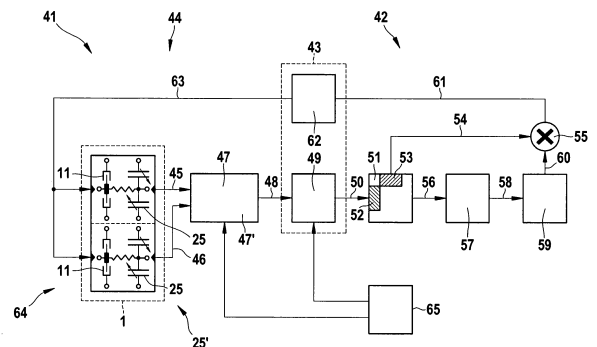
DE	198 11 025	A1
DE	10 2005 034 703	A1

(72) Erfinder:
**Rocznik, Marko, Cupertino, Calif., US; Oshinubi,
Dayo, 71277 Rutesheim, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Regeln einer angeregten Schwingung, Vorrichtung zum Regeln einer angeregten Schwingung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Regeln einer angeregten Schwingung (37) eines Systems (1) auf einen Resonanzfall des Systems (1), wobei mit einer Abtastfrequenz Momentanwerte (39) der Schwingungsgröße diskret erfasst werden und die Abtastfrequenz unterhalb eines Zweifachen einer Maximalfrequenz des Systems (1) gewählt wird, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Ermitteln einer Schwingungsamplitude (40) aus den Momentanwerten (39),
- Regeln einer Stellamplitude anhand der ermittelten Schwingungsamplitude (40),
- Vorgeben einer Stellfrequenz anhand der Stellamplitude,
- Erzeugen einer Stellschwingung unter Berücksichtigung der Stellfrequenz,
- Zusammenführen der Schwingungsamplitude (40) und der Stellschwingung zu einem Stellsignal und
- Anregen des Systems (1) unter Berücksichtigung des Stellsignals.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln einer angeregten Schwingung eines Systems auf einen Resonanzfall des Systems.

Stand der Technik

[0002] Um schwingungsfähige Systeme anzuregen und auf einen Resonanzfall des Systems zu regeln, ist es notwendig, die angeregten Schwingungen des Systems zu erfassen. Geschieht dies mittels digitaler Technik, so werden die Schwingungen auf diskrete Weise abgetastet. Um Fehlern bei dem Abtasten entgegenzuwirken, erfolgt dies mit einer Abtastfrequenz, die wesentlich größer als die Maximalfrequenz, insbesondere größer als die zweifache Maximalfrequenz des angeregten Systems ist. Diese Vorgehensweise wird als Anwendung des Nyquisttheorems bezeichnet. Sie verhindert, dass die Schwingungen zu langsam abgetastet werden, wodurch ein Effekt auftreten kann, der bei einer Auswertung die Erfassung einer Schwingung mit wesentlich niedriger Frequenz vermuten lässt, obwohl dies nicht der Fall ist, das sogenannte Aliasing. Insbesondere ist es in derartigen Fällen nicht möglich, festzustellen, welche Frequenz und welche Phasenlage die abgetastete Schwingung tatsächlich besitzt. Nachteilig ist hierbei, dass die Abtastfrequenz dauerhaft sehr hoch sein muss, was zu einem hohen Rechenbedarf seitens einer eingesetzten Erfassungseinrichtung führt. Dieser hohe Rechenbedarf spiegelt sich wieder in einem hohen Chipflächenbedarf bei der Umsetzung der Erfassungseinrichtung als integrierter Schaltkreis und in einem hohen Stromverbrauch.

[0003] Regelsysteme die das Verfahren einsetzen können insbesondere bei Systemen wie ESP (Electronic Stability Program), ROM (Roll Over Mitigation), EAS (Electronic Active Steering), ASC (Active Suspension Control), SbW (Steer by Wire) und anderen Fahrzeugstabilitätsanwendungen eingesetzt werden. Dies begründet sich darauf, dass in diesen Systemen so genannte Trägheitssensoren - Inertialsensoren - als Drehratensensoren eingesetzt werden. Diese besitzen in der Regel mindestens ein Teil, ein Bauteil, welches durch Anregung in Schwingungen versetzt wird und bei einer Drehung des Sensors einen Corioliseffekt bewirkt. Dadurch kann eine Relativbewegung zwischen dem schwingenden Teil und dem restlichen Drehratensensor gemessen werden. Weitere Einsatzbereiche solcher Sensoren sind NC-Applikationen wie Navigation, Mensch-Maschine-Schnittstellen, Spielkonsolen, Sport- und medizinische Bereiche. Diese Sensoren haben hohe Anforderungen insbesondere an eine hohe Rechenkapazität, hohe Stabilität, geringen Chipflächenbedarf und niedrigen Stromverbrauch.

[0004] Es wird ein Verfahren benötigt, welches den Rechenbedarf einer entsprechenden Vorrichtung reduziert und dadurch insbesondere einen Chipflächenbedarf und einen Stromverbrauch minimiert.

[0005] Die Offenlegungsschrift DE 10 2005 034 703 A1 beschreibt ein Verfahren zum Antrieb und zur gleichzeitigen Auswertung eines Drehratensensors, der ein Schwingerelement sowie ein auf dem Schwingerelement angeordnetes Coriolis-Element aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass das Schwingerelement mit einem Antriebssignal angetrieben wird, wobei eine Anregungsfrequenz des Antriebssignals einer Resonanzfrequenz des Schwingerelements entspricht, und dass das Coriolis-Element mit einem Kompensationssignal beaufschlagt wird, das mit einer Drehrate des Drehratensensors korrespondiert und phasengleich mit dem Antriebssignal ist. Die Offenlegungsschrift DE 198 11 025 A1 beschreibt ein Verfahren zum Erzeugen einer mechanischen Schwingung eines Schwingkörpers in einem Oszillator, wobei eine Schwingungsamplitude der Schwingung des Schwingkörpers beispielsweise durch einen mechanischen Anschlag im Auslenkungsweg des Schwingkörpers begrenzt wird.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß ist ein Verfahren zum Regeln einer angeregten Schwingung eines Systems auf einen Resonanzfall des Systems vorgesehen, wobei mit einer Abtastfrequenz Momentanwerte der Schwingungsgröße diskret erfasst werden und die Abtastfrequenz unterhalb eines Zweifachen einer Maximalfrequenz des Systems gewählt wird, mit folgenden Schritten: Ermitteln einer Schwingungsamplitude aus den Momentanwerten, Regeln einer Stellamplitude anhand der ermittelten Schwingungsamplitude, Vorgeben einer Stellfrequenz anhand der Stellamplitude, Erzeugen einer Stellschwingung unter Berücksichtigung der Stellfrequenz, Zusammenführen der Schwingungsamplitude und der Stellschwingung zu einem Stellsignal und Anregen des Systems unter Berücksichtigung des Stellsignals. Mit dem beschriebenen Verfahren ist es möglich, die Abtastfrequenz unterhalb des Zweifachen der Maximalfrequenz des Systems zu halten, wodurch sehr viel Rechenleistung eingespart werden kann, da lediglich die Schwingungsamplitude erfasst werden muss. Auf diese Weise kann bei einer Umsetzung als integrierter Schaltkreis Chipfläche eingespart und der Strombedarf einer entsprechenden Vorrichtung minimiert werden. Die Funktionalität des Systems trotz Verletzung des Nyquisttheorems wird durch eine entsprechende Regelung, welche das Verfahren anwendet, gewährleistet. Es ist insbesondere vorgesehen, ein Abtasten digital vorzunehmen. Besonders vorteilhaft ist, dass das Verfahren eine Frequenz und eine Phasenlage des Stellsignals regelt. So ergeben sich innerhalb des Verfahrens zwei zunächst ge-

trennte Regelpfade, die zusammengeführt werden. Einerseits wird die Stellamplitude anhand der ermittelten Schwingungsamplitude geregelt und andererseits wird die Stellschwingung, vorzugsweise eine normierte Stellschwingung, in ihrer Frequenz und auch in ihrer Phasenlage mittels der Stellamplitude geregelt. Die Kombination der Stellamplitude und der Stellschwingung ergibt das Stellsignal, welches zum Anregen des Systems verwendet wird. Dieses Verfahren basiert auf der Vorgabe, dass das System in seinem Resonanzfall betrieben werden soll und dass die Stellamplitude im Resonanzfall einen bestimmten, möglichst bekannten Wert annimmt. Es handelt sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren somit um eine Resonanzregelung, welche die Stellfrequenz mittels einer Amplitudenregelung überwacht und auf diese Weise die Stellschwingung regelt, sodass sich der gesamte Regelkreis und damit das schwingende System im Resonanzfall befindet.

[0007] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als System ein Feder-Masse-System verwendet wird. Ein Feder-Masse-System hat den Vorteil, dass seine Systemantwort bei einer Anregung bekannt und einfach berechenbar ist. Ferner lassen sich notwendige Größen für eine Berechnung aus dem Feder-Masse-System auf einfache Weise feststellen und messen.

[0008] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als System mindestens ein Teil eines Trägheitssensors, insbesondere eines Drehratensensors, verwendet wird. Ein Drehratensensor besitzt typischerweise mindestens einen Teil, welcher in Schwingungen versetzt wird. Bei einer Verdrehung des gesamten Drehratensensors wirkt auf dieses Teil eine Corioliskraft, wodurch eine relative Drehbewegung zwischen dem Teil und dem restlichen Drehratensensor erfolgt. Mittels entsprechender Sensorik, wie beispielsweise einer kapazitiven und/oder piezoelektrischen Sensorik, kann diese Relativbewegung erfasst und entsprechend ausgewertet werden. Mittels dieser Sensorik kann ebenfalls die angeregte Schwingung des Teils des Drehratensensors gemessen und in Form von Momentanwerten erfasst werden. Da die Teile innerhalb von Drehratensensoren mit sehr hoher Frequenz schwingen, ergibt bereits eine kleine Verringerung der benötigten Abtastfrequenz eine wesentliche Verbesserung bezüglich Rechenbedarf und Stromverbrauch zum Regeln der angeregten Schwingung des Teils des Drehratensensors. Insbesondere bei mehraxialen Sensorkernen, also Drehratensensoren, welche mehrere schwingende Teile in Richtung mehrerer Raumachsen besitzen, wird durch einen Multiplexbetrieb der Rechenaufwand verringert. Es ist insbesondere vorteilhaft, die Momentanwerte über eine kapazitive mikromechanische Sensorik abzutasten, da derartige Sensoren bereits bekannt sind und häufig eingesetzt werden. So können die bereits bestehenden Vorteile

dieser Sensorik mit den Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens kombiniert werden. Insbesondere in Verbindung mit Drehratensensoren ergibt sich eine signifikante Reduktion des Strombedarfs in Auswerteeinheiten wie ASiCs beispielsweise von Antriebs- und Detektionskreisen für das Anregen der Schwingung. Der Multiplexbetrieb bezieht sich dabei insbesondere auf die Verwendung einer Wandlerstufe für mehrere Sensorachsen. Zudem ergeben sich bessere Bedingungen für einen Multiplexbetrieb der Wandlerstufe für mehrere Sensorachsen, wie beispielsweise durch größere Zeitfenster für Umschaltvorgänge durch die reduzierte Abtastfrequenz. Ferner wird mittels des Regelns auf den Resonanzfall sichergestellt, dass das System immer in einem energetischen Optimum betrieben wird, woraus sich ein Hoch- oder Niedrigtutesystem ergibt.

[0009] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass für das Ermitteln der Schwingungsamplitude anhand der Momentanwerte ein sinusförmiger Verlauf für die momentane Schwingung berechnet wird und die Amplitude des sinusförmigen Verlaufs als Schwingungsamplitude verwendet wird. Insbesondere ist hierbei vorgesehen, dass zur Berechnung des sinusförmigen Verlaufs zwischen den Momentanwerten interpoliert wird.

[0010] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Stellfrequenz mittels der Stellamplitude als Regelgröße geregelt wird. Die Stellamplitude ist bereits aus dem Regeln der Stellamplitude bekannt, weshalb es vorteilhaft und vereinfachend ist, diesen Wert weiter zu verwenden. Der Zusammenhang zwischen der Stellamplitude und der Stellfrequenz ergibt sich daraus, dass das System auf einen Resonanzfall geregelt werden soll.

[0011] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Sollwert für die Stellamplitude ein Extremwert der Stellamplitude verwendet wird. Dieser Extremwert kann im Vorfeld durch Analyse und/oder Messungen des Verhaltens des Systems bezüglich unterschiedlicher Stellamplituden ermittelt werden. Durch die Vorgabe des Resonanzfalls liegt für die Stellamplitude ein Extremwert vor, welcher als Sollwert verwendet werden kann. Es gilt ferner der Rückschluss, dass sich, wenn die Stellamplitude den Extremwert annimmt, das System im Resonanzfall befindet.

[0012] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Extremwert ein minimal möglicher Wert der Stellamplitude verwendet wird, der benötigt wird, um die Schwingung des Systems im Resonanzfall aufrechtzuerhalten.

[0013] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Regeln der Stellamplitude auf den Extremwert mittels einer Kennlinie und/oder ei-

nes Kennfelds erfolgt. Die Verwendung einer Kennlinie und/oder eines Kennfelds ermöglicht es, sowohl lineare als auch nichtlineare Verhaltensweisen des Systems zu berücksichtigen. Ferner können im Vorfeld gewünschte Regelungsverläufe, wie beispielsweise Einschwingvorgänge, vorgegeben werden.

[0014] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Kennlinie eine Änderung der Stellamplitude über die Zeit eine Änderung der Stellfrequenz über die Zeit zuordnet. Dies setzt voraus, dass ein Zusammenhang zwischen der Stellamplitude und der Stellfrequenz bekannt ist. Dieser Zusammenhang kann im Vorfeld gemessen oder analytisch ermittelt und in der Kennlinie hinterlegt werden, sodass eine erfasste Änderung der Stellamplitude in einfacher Weise einer Änderung der Stellfrequenz zugeordnet werden kann.

[0015] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass das Kennfeld der Änderung der Stellamplitude über die Zeit und eine Änderung der Frequenz der Stellschwingung über die Zeit einer Änderung der Stellfrequenz über die Zeit zuordnet. Das Kennfeld besitzt die gleichen Vorteile wie die Kennlinie. Zusätzlich ist die vorteilhafte Möglichkeit vorhanden, einen Rückschluss der Stellschwingung in die Regelung mit einzubeziehen. Somit ist eine zusätzliche Größe miteinbezogen, welche die Regelgüte des Verfahrens erhöht.

[0016] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Stellschwingung eine Sinusschwingung oder eine Rechteckschwingung verwendet wird. Die Rechteckschwingung kann in einfacher Weise, beispielsweise durch Ein- und Ausschalten einer elektrischen Spannung erfolgen.

[0017] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen ist eine Ein- und/oder Ausschaltregelung vorgesehen, welche das Verfahren nur bei Bedarf durchführt. Vorteil dieser Ein- und/oder Ausschaltregelung ist es, dass der Stromverbrauch zusätzlich verringert werden kann, indem beispielsweise eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nur dann eingesetzt wird, wenn es benötigt wird.

[0018] Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Regeln einer angeregten Schwingung eines Systems auf einen Resonanzfall des Systems, insbesondere zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens, mit einer eine Abtastfrequenz aufweisenden Abtastvorrichtung zur Erfassung von Momentanwerten der Schwingung, wobei die Abtastfrequenz unterhalb eines Zweifachen einer Maximalfrequenz des Systems liegt, mit einer Schwingungsamplitudenermittlungseinrichtung, die aus den Momentanwerten eine Schwingungsamplitude ermittelt, einen Stellamplitudenregler, der die Stellamplitude anhand der Schwingungsamplitude regelt, ei-

nen Stellfrequenzregler, der eine Stellfrequenz einer Stellschwingung anhand der Stellamplitude regelt, einen Oszillator, der die Stellschwingung anhand der Stellfrequenz erzeugt, eine Zusammenführeinrichtung, die aus der Stellamplitude und der Stellfrequenz ein Stellsignal erzeugt, und einen Aktuator, der das System unter Berücksichtigung des Stellsignals anregt.

[0019] Nach einer Weiterbildung der Vorrichtung ist vorgesehen, dass das System ein Schwingelement, insbesondere ein Schwingrahmen eines Trägheitssensors, insbesondere Drehratensensors, ist.

[0020] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Aktuator ein Kammantrieb ist. Elektrostatische Kammantriebe sind der Mikromechanik zuzuordnen. Ihr Arbeitsprinzip basiert auf einer Kraftwirkung, die zwischen zwei unterschiedlich elektrisch geladenen Plattenelementen generiert wird.

Figurenliste

[0021] Die Zeichnungen veranschaulichen die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels. Es zeigt

Fig. 1 einen Drehratensensor mit einer Vorrichtung zum Regeln einer angeregten Schwingung,

Fig. 2 ein Ersatzschaltbild des Drehratensensors mit einer Vorrichtung zum Regeln der angeregten Schwingung,

Fig. 3 ein Diagramm mit der angeregten Schwingung sowie Momentanwerte und einen sinusförmiger Verlauf,

Fig. 4 die Vorrichtung zum Regeln der angeregten Schwingung in einer schematischen Darstellung,

Fig. 5 einen Stellfrequenzregler in einer schematischen Darstellung,

Fig. 6 Diagramme mit dem Übertragungsverhalten des Drehratensensors sowie einem Frequenzverlauf der Stellamplitude,

Fig. 7 ein Diagramm, welches das Verhalten der Stellgröße über die Frequenz zeigt,

Fig. 8 ein Kennfeld,

Fig. 9 ein Diagramm, welches ein Ausgangssignal eines Dekoders zeigt,

Fig. 10 eine Übertragungsfunktion des Drehratensensors,

Fig. 11 Simulationsergebnisse ohne Adaption einer Phasenänderungsschrittweite mit kleinem Betrag,

Fig. 12 Simulationsergebnisse ohne Adaption der Phasenänderungsschrittweite mit großem Betrag und

Fig. 13 Simulationsergebnisse mit Adaption der Phasenänderungsschrittweite zwischen dem großen und dem kleinen Betrag.

[0022] Die **Fig. 1** zeigt ein System **1**, welches von einer Regel- und Messeinrichtung **2** geregelt wird. Das System **1** ist als Feder-Masse-System **3** in Form eines Trägheitssensors **4** ausgebildet. Der Trägheitssensor **4** ist ein Drehratensensor, welcher bei einer Verdrehung ein Messsignal bezüglich der Drehrate ausgibt. Zu diesem Zweck besitzt der Trägheitssensor **4** zwei Sensormodule **6**, welche in gleicher Weise aufgebaut sind und über eine Feder **7** miteinander gekoppelt sind. Eine Verdrehung des Drehratensensors **5** erfolgt für das Messsignal beispielsweise in Richtung eines Pfeils **8**. Jedes der Sensormodule **6** besitzt ein Schwingelement **9** in Form eines Schwingrahmens **10**. Das Schwingelement **9** kann für den Zeitraum zur Erzeugung des Messsignals mittels Aktuatoren **11** in Form von Kammantrieben **12** zum Schwingen angeregt werden. Die Anregung erfolgt wechselweise in Richtung der Pfeile **13** und **14**. Innerhalb der Schwingelemente **9** sind Detektionselemente **15** in Richtung von Pfeilen **17** verlagerbar angeordnet, welche mit einem in **Fig. 1** nicht dargestellten Kapazitäts-Spannungs-Wandler wechselwirken. Die Regel- und Messeinrichtung **2** ist über einen Signalpfad **16** bidirektional mit dem Trägheitssensor **4** verbunden.

[0023] Bei einem Verdrehen des mittels der Aktuatoren **11** angeregten Trägheitssensors **4** werden die Detektionselemente **15** jeweils in Richtung eines der Pfeile **17** ausgelenkt, wodurch der Kapazitäts-Spannungs-Wandler das Messsignal erzeugt und über den Signalpfad **16** an die Regel- und Messeinrichtung **2** übergibt. Anhand dieses Messsignals kann die eigentliche Drehrate des Trägheitssensors **4** ermittelt werden. Das Anregen der Schwingelemente **9** erfolgt durch eine Regelung mittels der Regel- und Messeinrichtung **2**, welche über den Signalpfad **16** zum einen ein Stellsignal an die Aktuatoren **11** übergibt und zum anderen von den Aktuatoren **11**, welche auch ein Sensieren der Schwingung ermöglichen, ein Signal zurückerhält, welches eine Position des Schwingrahmens beschreibt. Somit übernimmt die dargestellte Regel- und Messeinrichtung **2** sowohl die Aufgabe, die Schwingung der Schwingelemente **9** zu regeln als auch das Messsignal bezüglich der Drehrate des Trägheitssensors **4** aufzunehmen. Ferner besteht die nicht dargestellte Möglichkeit, dass auch das Detektionselement **15** mit Aktuatoren ausgestattet ist, welche erlauben, das Detektionselement **15** in Schwingungen zu versetzen, um beispielsweise Überlagerungen zwischen der Auslenkung durch das Verdrehen des Trägheitssensor **4** und einer Grundschwingung zu ermöglichen.

[0024] **Fig. 2** zeigt ausschnittsweise den Drehratensensor **5** der **Fig. 1** in einer schematischen Darstellung. Das Schwingelement **9** sowie das Detektionselement **15** sind in einem Massenelement **17** zusammengefasst. Die **Fig. 2** zeigt den Aufbau exemplarisch an einem der Sensormodule **6**. Das Massenelement **17** ist mittels zweier Federelemente **18** mit Referenzlagern **19** verbunden. Der Trägheitssensor **4** misst somit die Drehrate der Referenzlager **19** zu ihrer Umwelt. Der Signalpfad **16** ist in **Fig. 2** zweigeteilt dargestellt und besteht aus einem Antriebspfad **20** und einem Detektionspfad **21**, welche beide mit der Regel- und Messeinrichtung **2** verbunden sind. Der Antriebspfad **20** weist einen Signalpfad **22** für das Stellsignal auf, welcher zu einem Umsetzer **23** führt, der den Aktuator **11** betätigt. Der Aktuator **11** regt das Massenelement **17** wechselweise in den Richtungen des Doppelpfeils **24** an. Ein Messelement **25** misst die daraus folgende Auslenkung des Massenelements **17** und übergibt dieses Signal über einen Verstärker **26** und einen Signalpfad **27** an die Regel- und Messeinrichtung **2**. Somit bildet der Antriebspfad **20** um einen geschlossenen Regelkreis mit der Regel- und Messeinrichtung **2** und dem Massenelement **17**. Der Detektionspfad **21** weist einen Signalpfad **28** auf, welcher auf einen Umsetzer **29** führt. Der Umsetzer **29** übergibt ein über die Signalpfad **28** ankommendes Stellsignal an einen Aktuator **30**, welcher das Massenelement **17** in Richtung eines Doppelpfeils **31** wechselweise auslenken kann. Der Signalpfad **28**, der Umsetzer **29** und der Aktuator **30** sind optional. Ein Messelement **31'** misst die Auslenkungen des Massenelements **17**, welche entweder durch den Aktuator **30** und/oder durch ein Verdrehen des Trägheitssensors **4** erfolgen. Das sich daraus ergebende Messsignal wird über einen Verstärker **32** und ein weiterer Signalpfad **33** an die Vorrichtung **2** übergeben.

[0025] Die **Fig. 3** zeigt ein Diagramm **34** mit einer Abszisse **35**, welcher die Zeit t zugeordnet ist und einer Ordinate **36**, welcher eine angeregte Schwingung **37** zugeordnet ist. Innerhalb des Diagramms **34** ist die angeregte Schwingung **37** als eine Sinuskurve **37'** dargestellt, die dem Signal des Messelements **25** entspricht. Über der Sinuskurve **37'** liegt ein sinusförmiger Verlauf **38**, welcher eine geringere Frequenz aufweist als die Sinuskurve **37'**. Die Sinuskurve **37'** stellt die Schwingung des Systems **1** der **Fig. 1** und **Fig. 2** dar. Durch Abtasten der Schwingung **37** in äquidistanten Zeitabständen mittels einer Abtastfrequenz ergeben sich Momentanwerte **39**. Die Abtastfrequenz ist geringer als ein Zweifaches einer Maximalfrequenz des Systems **1**, sodass die Schwingung **37** nicht vollständig erfasst werden kann und aus den Momentanwerten **39** der sinusförmige Verlauf **38** in naheliegender Weise angenommen wird. Die Zwischenwerte, welche zwischen den Momentanwerten **39** liegen, können zur Vervollständigung des sinusförmigen Verlaufs **38** aus den Momentan-

werten **39** mittels Interpolation berechnet werden. Die Vorgehensweise zur Erfassung der Sinuskurve **37'** mittels der geringen Abtastfrequenz führt somit zu einem Verlust der Information über Phasenlage und Frequenz der angeregten Schwingung **37**. Erhalten bleibt die Information über die Schwingungsamplitude **40** der Sinuskurve **37**, welche auch bei der Abtastung mit geringer Abtastfrequenz korrekt erfasst wird und einer Amplitude **40'** des sinusförmigen Verlaufs **37** entspricht. Zur Durchführung einer Regelung des Systems **1** mit einer Erfassung der Schwingungsgröße in der in **Fig. 3** dargestellten Form ist es notwendig, dass das angewendete Verfahren die Information über Phasenlage und Frequenz der Schwingung **37** anderweitig berücksichtigt.

[0026] Die **Fig. 4** zeigt eine Vorrichtung **41** zum Regeln des Systems **1** der **Fig. 1**. Das System **1** ist in **Fig. 4** schematisch anhand von Aktuatoren **11** und Messelementen **25** dargestellt, die eine Abtastungsvorrichtung **25'** bilden. Die Vorrichtung **41** weist einen digitalen Bereich **42**, einen Übergangsbereich **43** sowie einen analogen Bereich **44** auf. Ausgehend vom System **1** und dessen Messelementen **25** verlaufen Signalpfade **45** und **46** in eine analoge Messvorrichtung **47**. Die analoge Messvorrichtung **47** erfasst die von den Messelementen **25** gebildeten Signale und wandelt sie in Werte der Schwingungsgröße um. Dies kann beispielsweise bei kapazitiven Messelementen **25** durch eine Messvorrichtung **47** in Form eines Kapazitäts-Spannungs-Wandlers **47'** erfolgen. Die Messvorrichtung **47** übergibt das aufbereitete Signal mittels eines Signalpfads **48** an einen Analog-Digital-Wandler **49**. Der Analog-Digital-Wandler ermittelt Momentanwerte **39** aus dem Signal und übergibt diese mittels eines Signalpfads **50** an eine Stellamplitudenregeleinheit **51**. Die Stellamplitudenregeleinheit **51** besitzt eine Schwingungsamplitudenermittlungseinrichtung **52**, welche aus den Momentanwerten **39** die aktuelle Schwingungsamplitude ermittelt und an einen Stellamplitudenregler **53** übergibt. Die vom Stellamplitudenregler **53** ermittelte Stellamplitude wird über einen Signalpfad **54** an eine Zusammenführeinrichtung **55** übergeben. Die Stellamplitudenregeleinheit **51** übergibt weiter die aktuelle Stellamplitude mittels eines Signalpfads **56** an einen Stellfrequenzregler **57**, welcher anhand der Stellamplitude eine Stellfrequenz regelt und über einen Signalpfads **58** einem Oszillator **59** vorgibt. Der Oszillator **59** erzeugt aus der Stellfrequenz eine normierte Stellschwingung, das heißt eine Schwingung mit normierter Amplitude, die der Oszillator **59** über einen Signalpfad **60** an die Zusammenführeinrichtung **55** weitergibt. Die Stellschwingung ist als Sinusschwingung ausgeführt. In der Zusammenführeinrichtung **55** wird die Stellamplitude mit der Stellschwingung multipliziert, sodass sich das Stellsignal ergibt und über einen Signalpfad **61** an einen Digital-Analog-Wandler **62** geführt wird. Der Digital-Analog-Wandler **62** erzeugt ein analoges Stellsignal, welches über einen

Signalpfad **63** an die Aktuatoren **11** des Systems **1** übergeben wird. Somit ist ein Regelkreis **64** geschlossen, der es erlaubt, das System **1** anhand der erfassten Amplitude **40'** zu regeln. Als System **1** sind die Systeme **1**, die in den **Fig. 1** und **Fig. 2** dargestellt sind vorgesehen. **Fig. 4** zeigt weiter eine Ein- und/oder Ausschaltregelung **65**, welche über Signalleitungen **66** und **67** die Messvorrichtung **47** sowie den Analog-Digital-Wandler **49** und den Digital-Analog-Wandler **62** ausschalten kann. Dies erfolgt vorzugsweise dann, wenn das System **1** als der Drehratensensor **4** ausgebildet ist und keine Messung der Drehrate erfolgen soll. Auf diese Weise wird ermöglicht, weitere Energie einzusparen. Es ist denkbar, dass die Ein- und/oder Ausschaltregelung **65** weitere Komponenten ein- und/oder ausschalten kann. Weiter ist denkbar, nur die Messvorrichtung **47** und den Analog-Digital-Wandler **49** auszuschalten. In diesem Fall wird das digitale Stellsignal mit fester Amplitude und fester Frequenz erzeugt.

[0027] Die **Fig. 5** zeigt den Stellfrequenzregler **57** der **Fig. 4**, welcher über den Signalpfad **56** die aktuelle Stellamplitude zugeführt wird und über den Signalpfad **58** die Stellfrequenz ausgibt. Der Stellfrequenzregler **57** weist einen Testsignalgenerator **66** auf, welcher sein Testsignal über einen Signalpfad **67** an einen Verstärker **68** weitergibt. Bei dem Testsignal handelt es sich vorzugsweise um ein oszillierendes Signal, es kann sich dabei aber auch um eine Sprungfunktion oder um eine Impulsfunktion handeln. Das Testsignal wird vorzugsweise in normierter Form erzeugt und kann über den Verstärker **68** in seiner Ausprägung eingestellt werden. Über einen Signalpfad **69** wird das verstärkte Testsignal einer Additionsvorrichtung **70** übergeben. Die Additionsvorrichtung **70** bekommt weiter ein Phasenmodulationssignal aus einem weiteren Signalpfad **71**, welches mit dem verstärkten Testsignal addiert wird. Daraus ergibt sich ein moduliertes Testsignal, welches über einen Signalpfad **72** an eine Ausgabeinheit **73** weitergegeben wird. Die Ausgabeinheit **73** übergibt das modulierte Testsignal als Stellfrequenz mittels eines Signalpfads **74** an den Signalpfad **58**. Ferner übergibt die Ausgabeinheit **73** über einen Signalpfad **75** die Stellfrequenz an einen Differenzierer **76**, welcher eine Änderung Δx der Stellfrequenz ermittelt und über einen Signalpfad **77** an einen Dekoder **78** übergibt. Der Signalpfad **56** übergibt die aktuelle Stellamplitude an einen Signalpfad **79**, welcher zu einer Eingabevorrichtung **80** führt. Ausgehend von der Eingabevorrichtung **80** wird die Stellamplitude über einen Signalpfad **81** an einen Differenzierer **82** übergeben, der eine Änderung Δy der Stellamplitude über die Zeit ermittelt und über einen Signalpfad **83** an den Dekoder **78** übergibt. Der Dekoder **78** enthält ein Kennfeld **102**. Mittels des Kennfelds **102** werden den Änderungen Δx und Δy eine Änderung der Stellfrequenz über die Zeit zugeordnet. Diese Änderung der Stellfrequenz wird über einen Signalpfad **83** an einen Inte-

grierer **84** weitergegeben, welcher die Änderung der Stellfrequenz über die Zeit integriert und das Signal mittels eines Signalpfads **85** an einen Verstärker **86** übergibt. Im Verstärker **86** kann eine Phasenänderungsschrittweite eingestellt werden, indem der Verstärkungsfaktor des Verstärkers **86** angepasst wird. Es ist von besonderem Vorteil, wenn im Verstärker **86** ein adaptives Anpassen der Phasenänderungsschrittweite erfolgt. Der Verstärker **86** ist über den Signalpfad **71** mit der Additionsvorrichtung **70** verbunden und übergibt somit das Phasenmodulationssignal.

[0028] Aufgrund des Stellfrequenzreglers **57** wird ermöglicht, dass anhand der Stellamplitude die Stellfrequenz geregelt wird und zur Durchführung der Regelung des Systems **1** die Information über Phasenlage und Frequenz der Schwingung **37** indirekt zu berücksichtigt wird. Dies ist unter der Voraussetzung möglich, dass das System **1** für seinen Resonanzfall geregelt werden soll. Somit ergibt sich als Prinzip für diese Regelung, dass ein Testsignal durch das Kennfeld **102** auf den gesamten Regelkreis **64** gegeben wird und das Testsignal derart moduliert wird, dass sich die Stellamplitude minimiert, also einen minimal möglichen Wert annimmt. Die minimierte Stellamplitude bildet somit den Sollwert. Dies ergibt sich durch das Übertragungsverhalten des Systems **1**, da es als Feder-Masse-System **3** ausgebildet ist und somit ein PT2-Verhalten aufweist, welches einen Resonanzfall beinhaltet.

[0029] Die **Fig. 6** zeigt ein Diagramm **87** und ein Diagramm **88**. Das Diagramm **87** weist eine Abszisse **89** auf, welcher die Frequenz zugeordnet ist. Ferner weist das Diagramm **87** eine Ordinate **90** auf, welche das Übertragungsverhalten des Systems **1** beschreibt. Das Diagramm **88** weist ebenfalls eine Abszisse **92** auf, der die Frequenz zugeordnet ist und weist eine Ordinate **92** auf, welche das Stellsignal des Stellamplitudenreglers **53** beschreibt. Innerhalb des Diagramms **87** ist eine Kurve **93** gezeichnet, welche das Übertragungsverhalten des Systems **1** über die Frequenz darstellt. Die Kurve **93** weist ein Maximum **94** auf, welches den Resonanzfall des Systems **1** beschreibt. Im Diagramm **88** ist eine Kurve **95** gestrichelt dargestellt, welche den Verlauf des Stellsignals des Stellamplitudenreglers **53** über die Frequenz beschreibt. Die Kurve **95** weist ein inverses Verhalten zur Kurve **94** auf, sodass sich ein Minimum **97**, also ein Extremwert, für den Resonanzfall des Systems **1** bildet. Zwei Geraden **96** beschreiben einen Bereich um das Minimum **97**, welche einen möglichen Stellbereich **98** für die Stellamplitude vorgeben. Die Stellamplitude soll sich für die Regelung nach Möglichkeit innerhalb dieses Stellbereichs **98** befinden, da sich daraus ganz oder fast der Resonanzfall des Systems **1** ergibt. Somit hat der Stellfrequenzregler die Möglichkeit, durch Einstellen der Stellamplitude in diesen Stellbereich festzulegen, dass sich

die Stellfrequenz sowohl in Phase und Frequenz im Resonanzfall des Systems **1** befindet. Die Kurven **93** und **95** der **Fig. 6** sind qualitativ dargestellt.

[0030] Die **Fig. 7** zeigt einen Ausschnitt der Kurve **95** aus **Fig. 6** im Stellbereich **98**. Auf der Kurve **95** ist eine aktuelle Stellfrequenz mit einem Punkt **99**, eine auf die aktuelle Stellfrequenz folgende Stellfrequenz mit dem Punkt **100** und eine vorliegende, gewünschte Stellfrequenz mit dem Punkt **101** gekennzeichnet.

[0031] Die **Fig. 8** zeigt ein Kennfeld **102**, welches anhand der Änderungen Δx und Δy die Änderung der Stellfrequenz über die Zeit festlegt.

[0032] Die **Fig. 9** zeigt ein Diagramm **103** mit einer Abszisse **104**, die der Zeit t zugeordnet ist, und einer Ordinate **105**, die dem Ausgangssignal des Dekoders **78** zugeordnet ist. Innerhalb des Diagramms **103** ist eine Kurve **106** dargestellt, welche eine Rechteckkurve **107** ist, die oszilliert.

[0033] Der in **Fig. 9** dargestellte Fall für die Werte, welche von dem Kennfeld **102** ausgegeben werden, liegt dann vor, wenn die Stellfrequenz im Punkt **101** gehalten werden soll. Dann ist es notwendig, dass die Stellfrequenz der Punkte **99** und **100** wechselweise angenommen werden, wodurch die Oszillation der Kurve **106** erfolgt.

[0034] Die **Fig. 10** zeigt ein Übertragungsverhalten des Systems **1** ausschnittsweise in einem Diagramm **108**. Das Diagramm **108** weist eine Abszisse **109** auf, welcher die Frequenz zugeordnet ist, und eine Ordinate **110**, welcher die Schwingungsamplitude zugeordnet ist. Innerhalb des Diagramms **108** ist eine Kurve **111** dargestellt, welche das Übertragungsverhalten des Systems **1** beschreibt. Die Kurve **111** besitzt ein Minimum **112**, welche die kleinstmögliche Amplitude der angeregten Schwingung des Systems **1** darstellt und somit den Resonanzfall anzeigt.

[0035] Die **Fig. 11** zeigt Simulationsergebnisse für den in **Fig. 4** erläuterten Regelkreis **64**. Die **Fig. 11** bis **Fig. 13** weisen jeweils die Diagramme **113**, **114**, **115** und **116** auf. Die Diagramme **113**, **114**, **115** und **116** weisen jeweils eine Abszisse **117** auf, die der Zeit t zugeordnet sind. Das Diagramm **113** weist eine Ordinate **118** auf, welche der Stellfrequenz zugeordnet ist, das Diagramm **114** weist eine Ordinate **119** auf, welcher die Übertragungsfunktion des Systems **1** zugeordnet ist, das Diagramm **115** weist eine Ordinate **120** auf, welche dem Ausgangswert des Dekoders **78** zugeordnet ist und das Diagramm **116** weist eine Ordinate **121** auf, welche den Wert der Phasenänderungsschrittweite des Verstärkers **86** der **Fig. 5** beschreibt. Im Diagramm **113** ist eine Kurve **122** aufgetragen, welche den Verlauf der Stellfrequenz über die Zeit darstellt. Im Diagramm **114** ist eine Kurve **123** dargestellt, welche einen Verlauf des Werts dar-

stellt, den die Übertragungsfunktion über die Zeit annimmt. Im Diagramm **115** ist eine Kurve **124** dargestellt, welche den Verlauf des Ausgabesignals des Dekoders **78** aufzeigt. In dem Diagramm **116** ist eine Kurve **125** dargestellt, welche den Verlauf der Phasenänderungsschrittweite über die Zeit beschreibt.

[0036] In **Fig. 11** sind Simulationsergebnisse gezeigt, die für den Fall entstehen, dass die Phasenänderungsschrittweite konstant einen geringen Wert (0,01 Hz) besitzt. In diesem Fall wird die Resonanzfrequenz des Systems 1, hier 16 kHz, vollständig erreicht. Dies geschieht aufgrund der geringen Phasenänderungsschrittweite nur sehr langsam. Die Kurve **122** ist rampenförmig und linear ansteigend. Die Kurve **123** hingegen sinkt allmählich auf lineare Weise ab und die Kurve **124** hält konstant den Wert Eins, da die Frequenz stetig ansteigen soll. Die Kurve **125** ist ebenfalls konstant über den gesamten gezeigten Zeitabschnitt, da es sich um einen konstanten Phasenänderungsschritt handelt. Es ergibt sich, eine Regelung, die die Resonanzfrequenz optimal erreicht.

[0037] Die **Fig. 12** zeigt alle Merkmale der **Fig. 11**. Die **Fig. 12** und **Fig. 11** unterscheiden sich in den Verläufen der Kurven **122**, **123**, **124** und **125**. Für die Simulationsergebnisse der **Fig. 12** wird der Regelkreis **64** derart eingestellt, dass die Phasenänderungsschrittweite wesentlich größer als in **Fig. 11** ist, hier 0,3 Hz. Daraus ergibt sich, dass die Kurve **122** in einem ersten Zeitabschnitt **126** sehr schnell bis zur Resonanzfrequenz ansteigt und anschließend um die Resonanzfrequenz herum oszilliert. Für die Kurve **123** ergibt sich im ersten Zeitabschnitt **126**, dass sie sehr schnell auf ihr Minimum, hier -0,5 - sinkt und in diesem Minimum verbleibt. Die Kurve **124** ist im vorderen Zeitabschnitt **126** zunächst konstant und lässt die Stellfrequenz ansteigen. Nach dem vorderen Zeitabschnitt **126**, also nach Erreichen der Resonanzfrequenz, beginnt das Ausgangssignal des Dekoders **87** zu oszillieren, um die Resonanzfrequenz einzustellen. Die Kurve **125** verläuft ebenfalls wie in **Fig. 11** konstant, jedoch hier mit einem Wert von 0,3 Hz.

[0038] Somit ergibt sich eine sehr schnelle Regelung, welcher nach Erreichen der Resonanzfrequenz eine Frequenzwelligkeit aufweist.

[0039] Die **Fig. 13** zeigt Simulationsergebnisse für den Regelkreis **64**, dessen Phasenänderungsschrittweite adaptiert wird. Die **Fig. 13** zeigt alle Merkmale der **Fig. 11**. Die **Fig. 13** und **Fig. 11** unterscheiden sich in den Verläufen der Kurven **122**, **123**, **124** und **125**. Der Verlauf der Kurve **122** weist einen ersten Zeitabschnitt **127** auf, in dem die Stellfrequenz langsam ansteigt. Dem ersten Zeitabschnitt **127** folgt ein zweiter Zeitabschnitt **128**, in welchem die Stellfrequenz bis zur Resonanzfrequenz schnell ansteigt. Nach Erreichen der Resonanzfrequenz folgt ein drit-

ter Zeitabschnitt **129**, in welchem sich die Kurve **122**, also die Stellfrequenz, einschwingt und die Stellfrequenz die Resonanzfrequenz optimal erreicht. Die Kurve **123** verläuft im ersten Zeitabschnitt **127** ebenfalls konstant und sinkt innerhalb des zweiten Zeitabschnitts auf ihr Minimum. Innerhalb dieses Minimums verbleibt die Kurve **123** für den gesamten dritten Zeitabschnitt **129**. Die Kurve **124** verläuft im ersten und im zweiten Abschnitt **127** und **128** konstant. Das heißt, sie erzeugt einen Anstieg der Kurve **122**, also der Stellfrequenz. Im dritten Zeitabschnitt **129** ist die Resonanzfrequenz von der Stellfrequenz erreicht und das Ausgangssignal des Dekoders beginnt zu oszillieren, wodurch eine Oszillation der Kurve **124** hervorgerufen wird. Die Kurve **125** zeigt im ersten Zeitabschnitt **127** einen konstanten Verlauf. Im zweiten Zeitabschnitt **128** steigt der Wert für die Phasenänderungsschrittweite an und wird anschließend konstant auf einem höheren Wert gehalten. Daraus ergibt sich der Anstieg der Kurve **122** im zweiten Zeitabschnitt **128**. Nach Erreichen der Resonanzfrequenz durch die Stellfrequenz im dritten Zeitabschnitt **129** wird dies von der Adaption erkannt und innerhalb des dritten Zeitabschnitts **129** wird die Phasenänderungsschrittweite verkleinert und verbleibt für den Rest des dritten Zeitabschnitts konstant.

[0040] Durch Adaption der Phasenänderungsschrittweite wird ermöglicht, dass ein sehr schneller Regler implementiert werden kann, welcher ein optimales Regelergebnis liefert. Es ergeben sich lediglich kleine Phasenverschiebungen bei der Verwendung dieser Regelung.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln einer angeregten Schwingung (37) eines Systems (1) auf einen Resonanzfall des Systems (1), wobei mit einer Abtastfrequenz Momentanwerte (39) der Schwingungsgröße diskret erfasst werden und die Abtastfrequenz unterhalb eines Zweifachen einer Maximalfrequenz des Systems (1) gewählt wird, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- Ermitteln einer Schwingungsamplitude (40) aus den Momentanwerten (39),
- Regeln einer Stellamplitude anhand der ermittelten Schwingungsamplitude (40),
- Vorgeben einer Stellfrequenz anhand der Stellamplitude,
- Erzeugen einer Stellschwingung unter Berücksichtigung der Stellfrequenz,
- Zusammenführen der Schwingungsamplitude (40) und der Stellschwingung zu einem Stellsignal und
- Anregen des Systems (1) unter Berücksichtigung des Stellsignals.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als System (1) ein Feder-Masse-System (3) verwendet wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als System (1) mindestens ein Teil eines Trägheitssensors (4), insbesondere eines Drehratensensors (5), verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für das Ermitteln der Schwingungsamplitude anhand der Momentanwerte (39) ein sinusförmiger Verlauf (38) für die momentane Schwingung (37) berechnet wird und die Amplitude (40) des sinusförmigen Verlaufs (38) als Schwingungsamplitude (40) verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stellfrequenz mittels der Stellamplitude als Regelgröße geregelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sollwert für die Stellamplitude ein Extremwert der Stellamplitude verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Extremwert ein minimal möglicher Wert der Stellamplitude verwendet wird, der benötigt wird, um die Schwingung (37) des Systems (1) im Resonanzfall aufrechtzuerhalten.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Regeln der Stellamplitude auf den Extremwert mittels einer Kennlinie und/oder eines Kennfelds (102) erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kennlinie eine Änderung der Stellamplitude über die Zeit einer Änderung der Stellfrequenz über die Zeit zuordnet.

10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kennfeld (102) der Änderung der Stellamplitude über die Zeit und einer Änderung der Frequenz der Stellschwingung über die Zeit eine Änderung der Stellfrequenz über die Zeit zuordnet.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Stellschwingung eine Sinusschwingung oder eine Rechteckschwingung verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Ein- und/oder Ausschaltregelung (65), welche das Verfahren nur bei Bedarf durchführt.

13. Vorrichtung (41) zum Regeln einer angeregten Schwingung (37) eines Systems (1) auf einen Resonanzfall des Systems (1), insbesondere zur Durch-

führung des Verfahrens nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, mit einer eine Abtastfrequenz aufweisenden Abtastvorrichtung (25') zur Erfassung von Momentanwerten (39) der Schwingung (37), wobei die Abtastfrequenz unterhalb eines Zweifachen einer Maximalfrequenz des Systems (1) liegt, **gekennzeichnet durch** eine Schwingungsamplitudenermittlungseinrichtung (52), die aus den Momentanwerten eine Schwingungsamplitude (40) ermittelt, einen Stellamplitudenregler (53), der die Stellamplitude anhand der Schwingungsamplitude (40) regelt, einen Stellfrequenzregler (57), der eine Stellfrequenz einer Stellschwingung anhand der Stellamplitude regelt, einen Oszillator (59), der die Stellschwingung anhand der Stellfrequenz erzeugt, eine Zusammenführeinrichtung (55), die aus der Stellamplitude und der Stellfrequenz ein Stellsignal erzeugt und einen Aktuator (11), der das System (1) unter Berücksichtigung des Stellsignals anregt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System ein Schwingelement (9), insbesondere ein Schwingrahmen (110) eines Trägheitssensors (4) ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktuator (11) ein Kammantrieb (12) ist.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

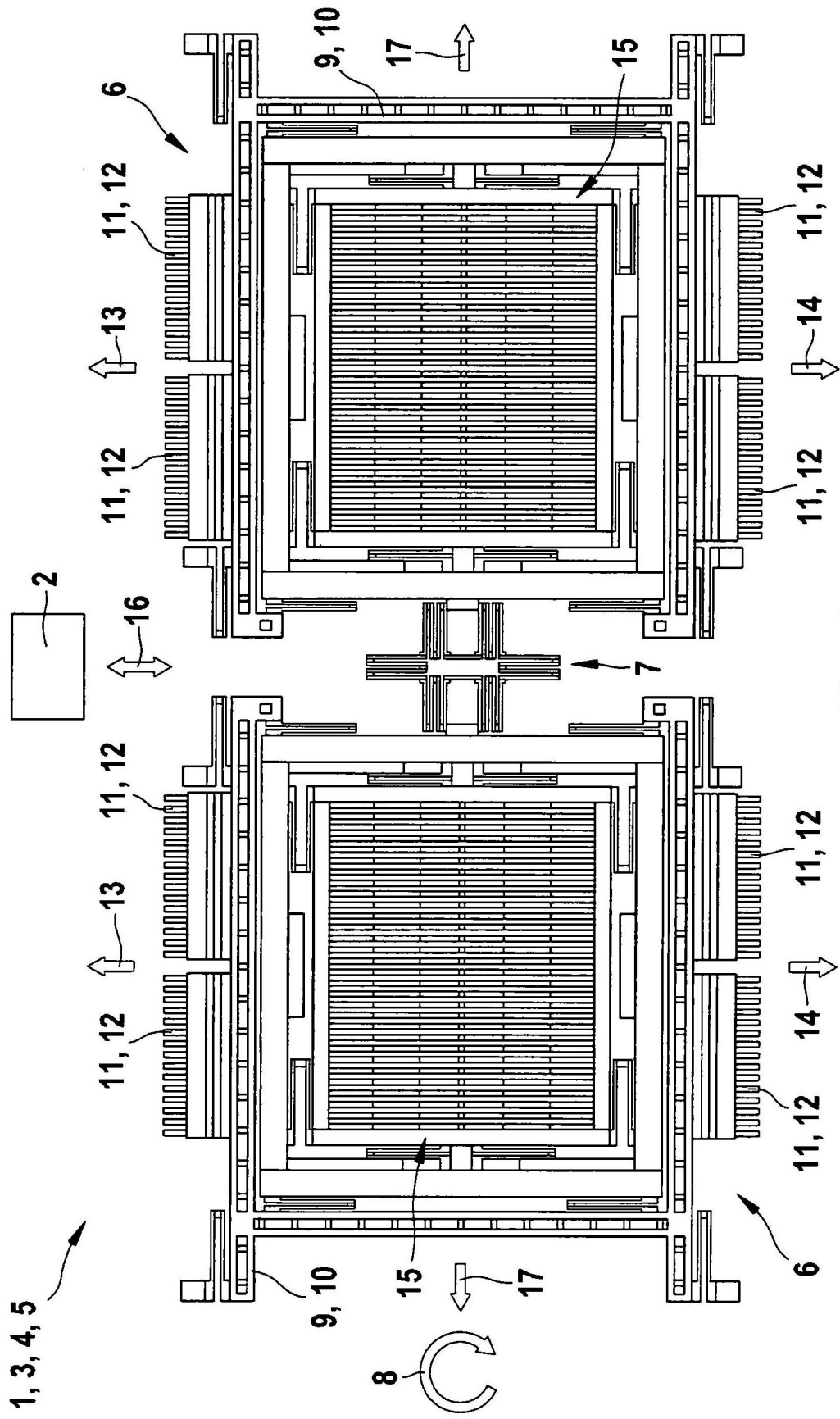


Fig. 1

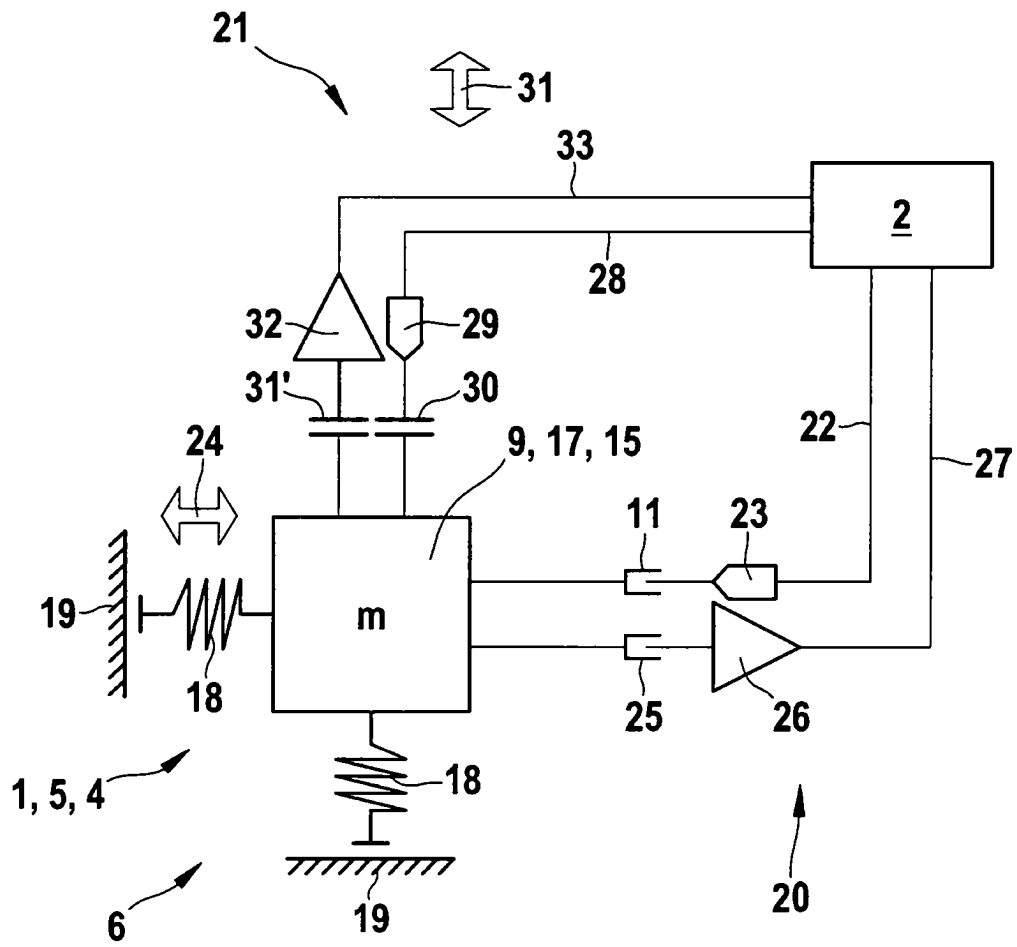


Fig. 2

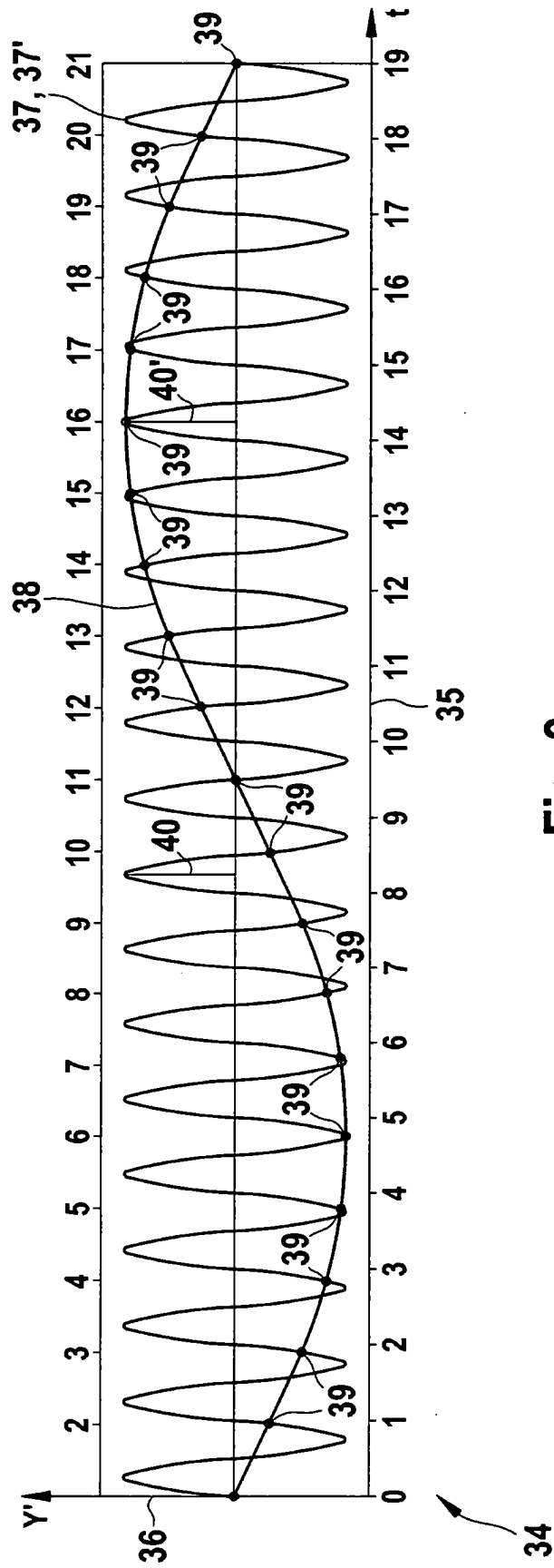


Fig. 3

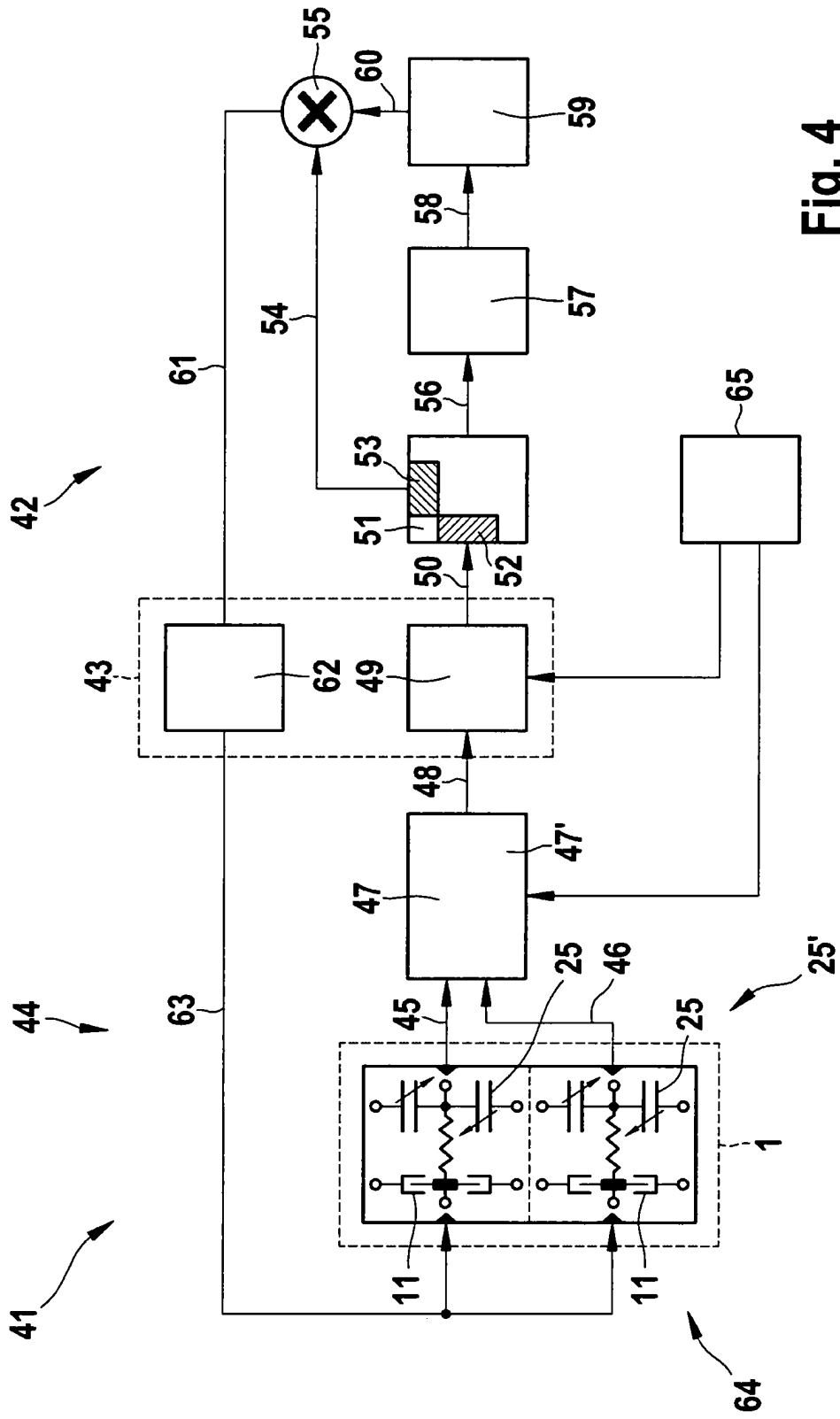


Fig. 4

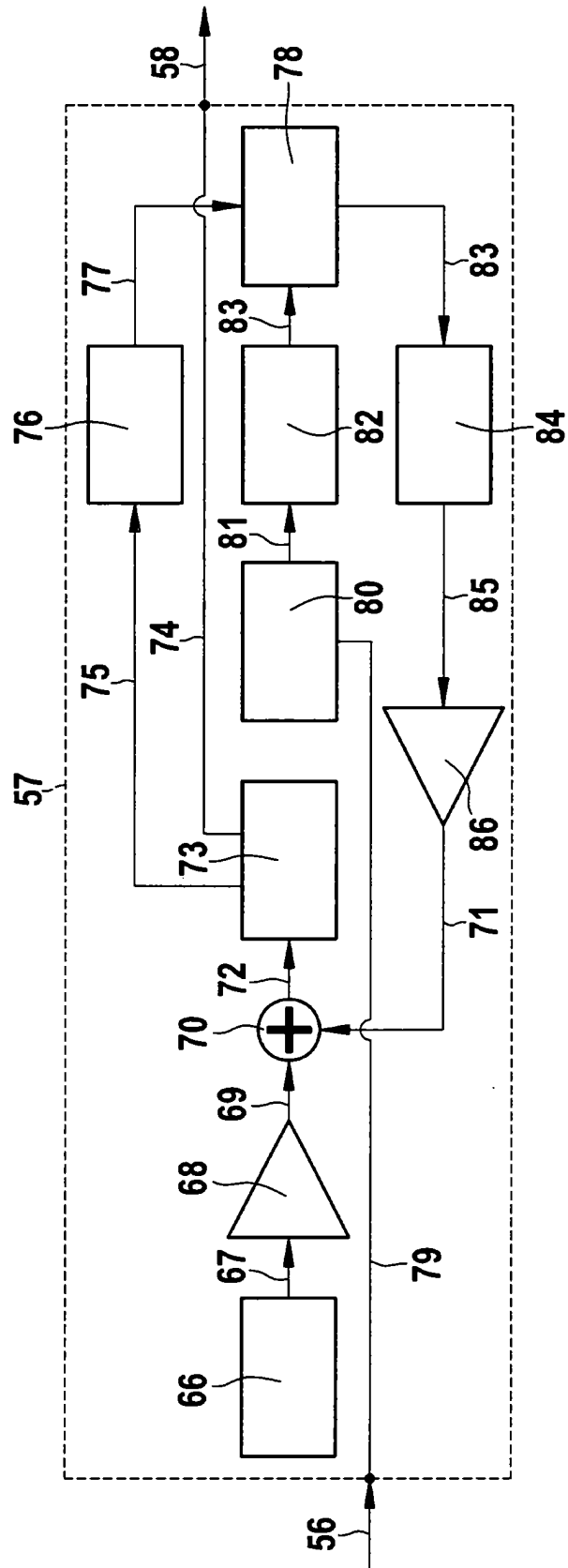


Fig. 5

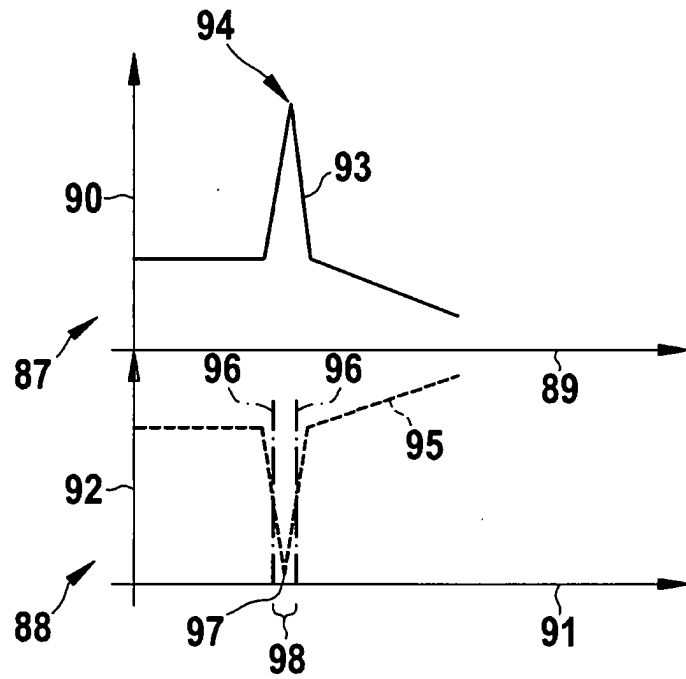


Fig. 6

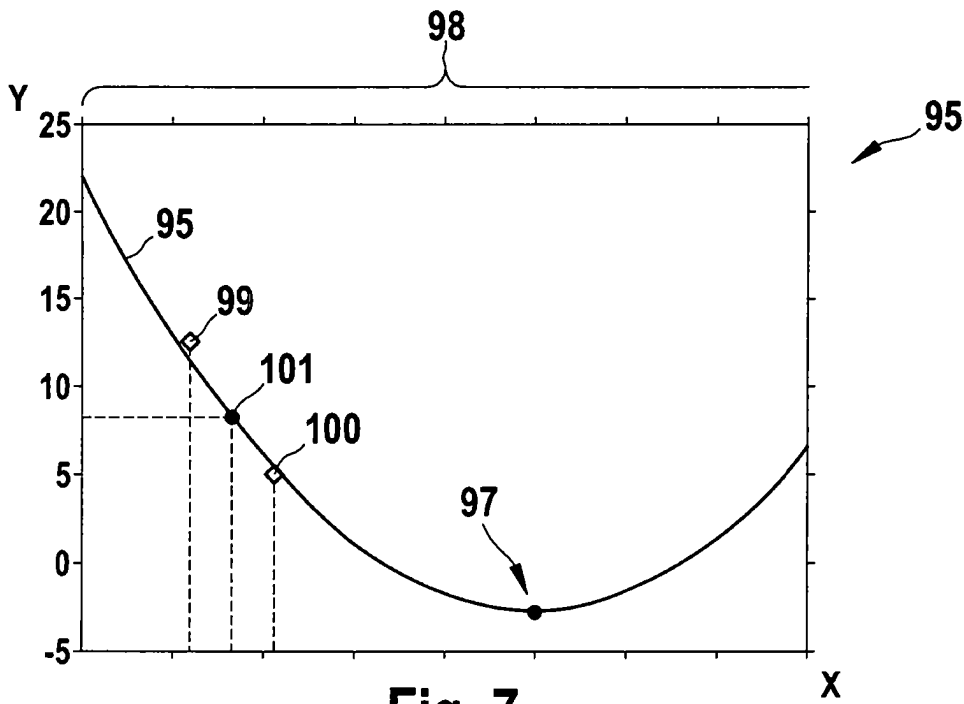


Fig. 7

102 \rightarrow

$d=f(\Delta x, \Delta y)$		Δy		
		>0	$=0$	<0
Δx	>0	-1	0	+1
	$=0$	0	0	0
	<0	+1	0	-1

Fig. 8

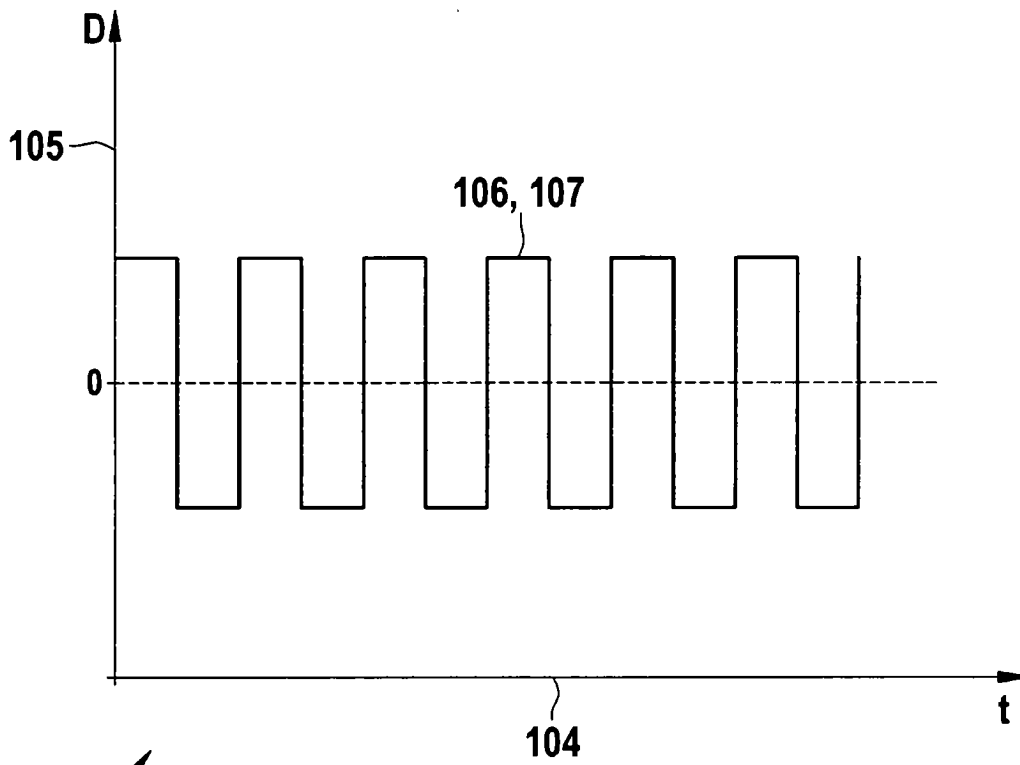


Fig. 9

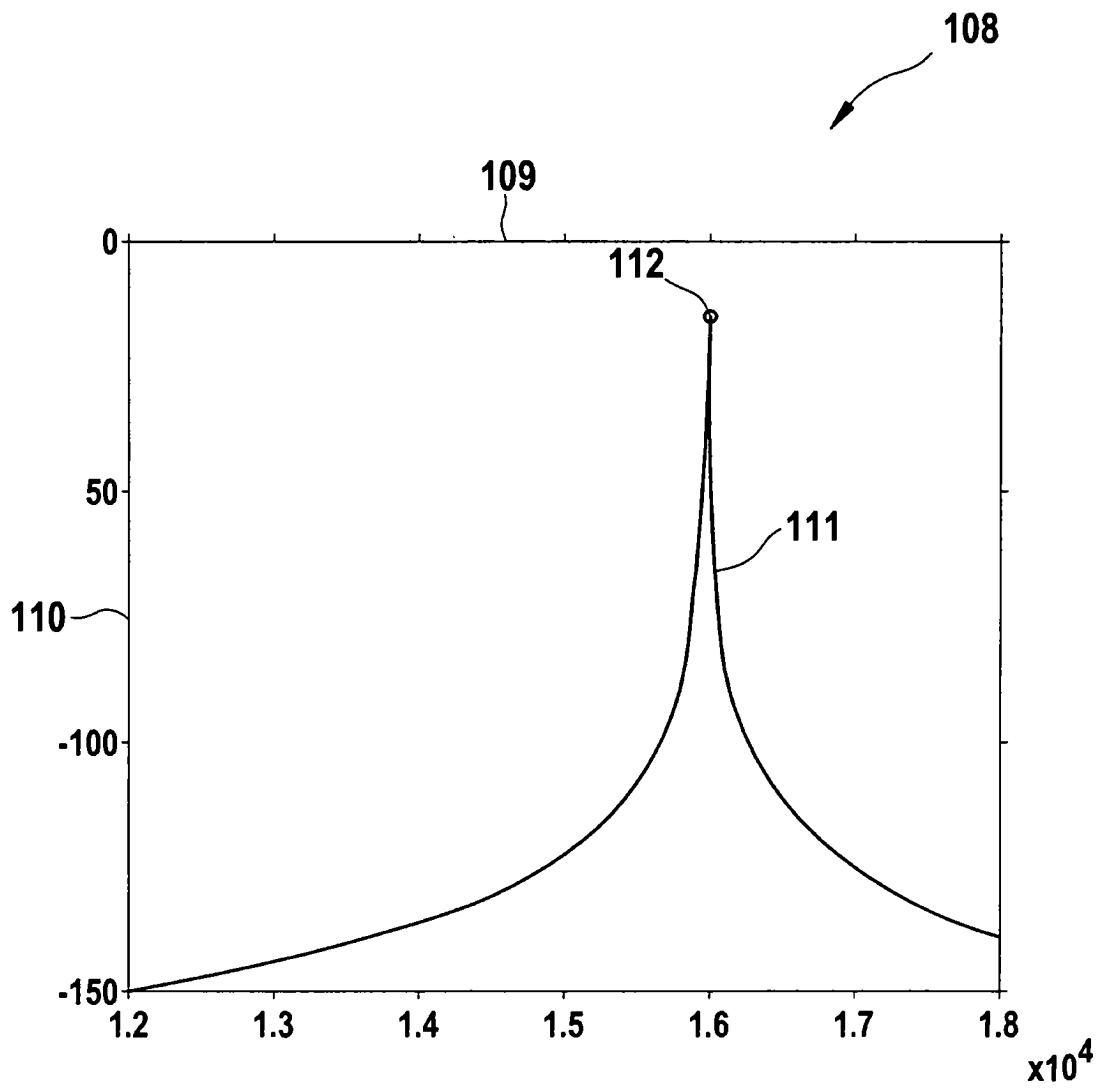


Fig. 10

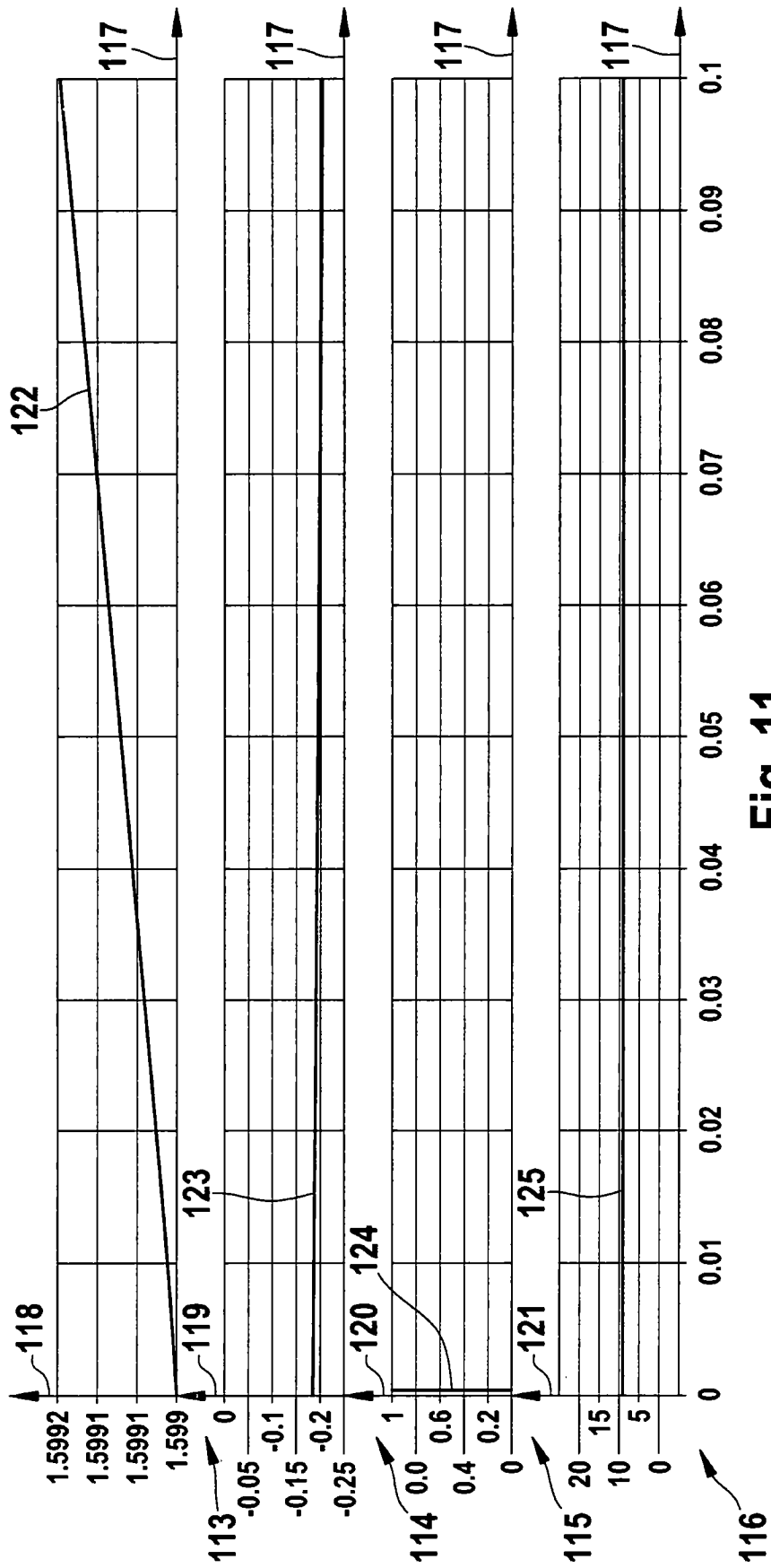


Fig. 11

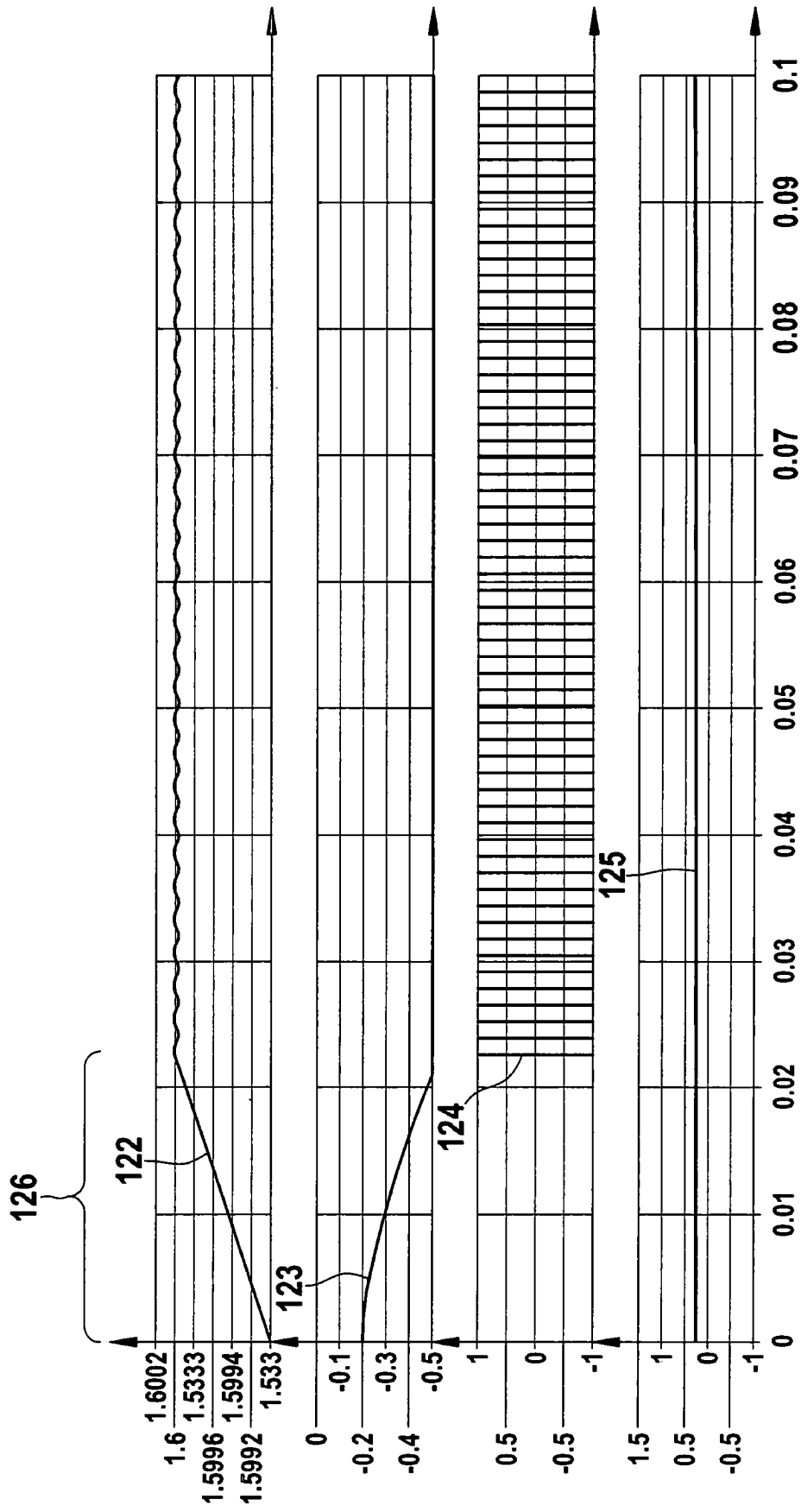


Fig. 12

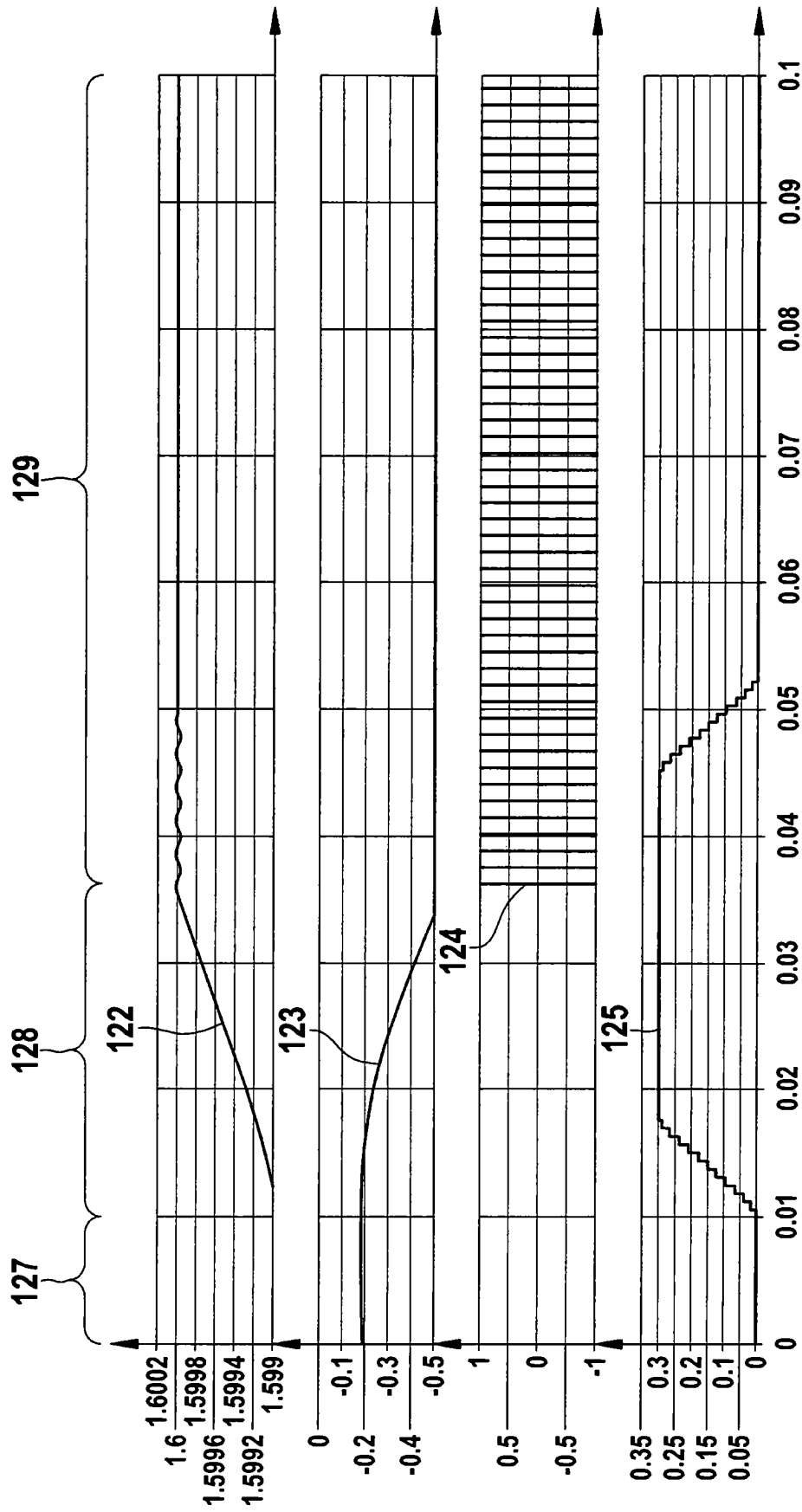


Fig. 13