



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **101 30 242.8**  
(22) Anmeldetag: **22.06.2001**  
(43) Offenlegungstag: **04.07.2002**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **02.07.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 5/012 (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).

(30) Unionspriorität:  
**P 189211/00 23.06.2000 JP**

(73) Patentinhaber:  
**MITUTOYO CORPORATION, Kawasaki-shi,  
Kanagawa, JP**

(74) Vertreter:  
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG  
mbB, 80802 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Hidaka, Kazuhiko, Tsukuba, Ibaraki, JP; Saitoh,  
Akinori, Tsukuba, Ibaraki, JP; Nishimura,  
Kunitoshi, Tsukuba, Ibaraki, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>28 45 847</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 435 072</b>	<b>A</b>
<b>EP</b>	<b>0 243 766</b>	<b>A2</b>
<b>EP</b>	<b>0 897 100</b>	<b>A1</b>
<b>JP</b>	<b>H10- 288 502</b>	<b>A</b>
<b>JP</b>	<b>H09- 210 613</b>	<b>A</b>
<b>JP</b>	<b>H07- 198 364</b>	<b>A</b>

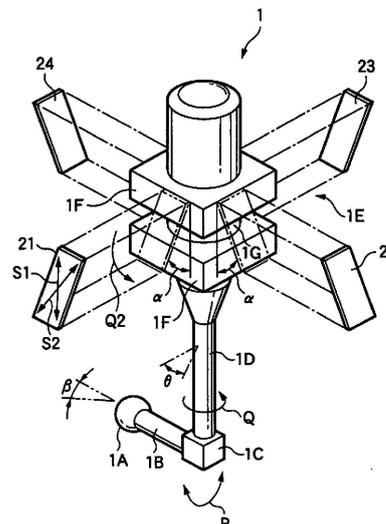
(54) Bezeichnung: **Berührungssignalsonde**

(57) Hauptanspruch: Berührungssignalsonde mit:  
einem Taststift mit einem Kontaktelement an einem Ende zur Kontaktierung eines Messobjekts; und  
mehreren an dem Taststift angebrachten Verschiebungs-Detektionselementen zum Detektieren des in Kontaktkommens des Kontaktelements und des Messobjekts, so dass ein Kontakterfassungssignal auf der Grundlage eines von den Verschiebungsdetektionselementen ausgegebenen Signals erzeugt ist,

wobei der Taststift ein Detektionselement-Halteteil zum Halten und Fixieren der Verschiebungs-Detektionselemente und einen an dem Detektionselement-Halteteil angeordneten Stab aufweist, wobei das Detektionselement-Halteteil mehrere Flanschsteile, die jeweils einen Querschnitt senkrecht zu einer Längsachse des Stabes in Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen, umfasst, und wobei die Verschiebungs-Detektionselemente zumindest an zwei Seiten der Flanschsteile derart befestigt sind, dass diese unter einem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Längsachse des Stabes geneigt sind, wobei die Berührungssignalsonde konfiguriert ist folgendes zu erzeugen:

ein Signal, das einer Biegeverzerrungskomponente, die auf die Achse des Taststifts wirkt, entspricht und ein Signal, das einer longitudinalen Verzerrungskomponente, die in einer axialen Richtung des Taststifts wirkt, entspricht durch Berechnen der Summe, Differenz und quadratischen Sum-

me der Signale, die von den Verschiebungs-Detektionselementen ausgegeben werden,  
ein erstes Kontaktsignal von dem Signal, das der Biegeverzerrungskomponente ...



**Beschreibung**

## Hintergrund der Erfindung

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft eine Berührungssignalsonde zur Messung der Form eines Messobjektes, etc., mit einer dreidimensionalen Messvorrichtung, und dergleichen.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** Eine dreidimensionale Messvorrichtung und dergleichen ist bekanntlich eine Vorrichtung zur Messung der Form, der Abmessungen bzw. Dimensionen, und dergleichen eines Messobjekts. Um die Koordinaten und die Position des Messobjekts zu detektieren, verwendet die Messvorrichtung eine Berührungssignalsonde mit einer Kontaktkugel an der Spitze eines Taststiftes, um zu erfassen, wenn die Kontaktkugel das Messobjekt berührt.

**[0003]** Ein Beispiel für eine Berührungssignalsonde nach dem Stand der Technik ist in der ungeprüften japanischen Patentoffenlegungsschrift mit der Nr. JP H10-288 502 A gezeigt.

**[0004]** In diesem Beispiel nach dem Stand der Technik sind vier piezoelektrische Elemente **121** bis **124** an einem Taststift **101** angebracht, wie dies in **Fig. 11A** gezeigt ist. Der Taststift **101** umfasst einen Stab **101B**, an dem eine Kontaktkugel **101A** an der Spitze befestigt ist, und ein Detektionselement-Halteteil **101C**, das in integraler Weise mit einem Teil des Grundelements des Stabs **101B** ausgebildet ist. Das Detektionselement-Halteteil **101C** besitzt an beiden Enden gebildete Flanschteile **101D** mit jeweils quadratischem Querschnitt. Die piezoelektrischen Elemente **121** bis **124** sind fest mit den Seiten der Flanschteile **101D** verbunden. Jedes der piezoelektrischen Elemente **121** bis **124** besitzt die Form eines flachen Rechtecks parallel zu einer Achse des Taststiftes in der Längsrichtung des piezoelektrischen Elements, wie dies in **Fig. 11B** gezeigt ist.

**[0005]** Wenn die Kontaktkugel **101A** ein Messobjekt berührt, wird in dem Beispiel nach dem Stand der Technik die Auflagekraft zum Zeitpunkt der Berührung an den piezoelektrischen Elementen **121** bis **124** erfasst. Es werden Kontakterfassungssignale auf der Grundlage der Summe, der Differenz und der quadratischen Summe von Signalen, die von den piezoelektrischen Elementen **121** bis **124** ausgegeben werden, erzeugt und verarbeitet. Somit kann eine Messung mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden, wobei die Richtungsabhängigkeit eliminiert ist.

**[0006]** In dem Beispiel nach dem Stand der Technik ist jedes der piezoelektrischen Elemente **121** bis **124**

parallel zu der Achse des Taststiftes in der Längsrichtung des piezoelektrischen Elements angeordnet. Somit wird in Reaktion auf die Wirkung der durch den Kontakt in einer Richtung **P** erzeugten externen Kraft, die eine Biegung des Stabs **101B** bewirkt, eine Kraft hervorgerufen, die zur Ausdehnung oder Kontraktion entlang der Längsrichtung des piezoelektrischen Elements beiträgt, und damit wird die Empfindlichkeit äußerst hoch. Jedoch ist die Empfindlichkeit, abhängig von der Richtung der auf den Stab **101B** einwirkenden externen Kraft, nicht notwendigerweise ausreichend hoch.

**[0007]** In einer tatsächlichen Sonde kann der Stab **101B** mit mehreren Kontaktkugeln **101A1** bis **101A4**, die sich radial erstrecken, versehen sein, wie dies in **Fig. 12** gezeigt ist. Wenn eine externe Kraft auf eine der Kontaktkugeln **101A1** bis **101A4** wirkt und eine gemessene Kraft in einer Torsionsrichtung, die durch einen Pfeil **Q** angedeutet ist, auf den Taststift-Hauptkörper **101B** ausgeübt wird, wird in einem tatsächlichen Messvorgang mit der in **Fig. 12** gezeigten Sonde, die ausdehnend oder kontrahierend wirkende Kraft entlang der Längsrichtung jedes der piezoelektrischen Elemente **121** bis **124** nicht wirksam. Somit ist die Empfindlichkeit der piezoelektrischen Elemente **121** bis **124** herabgesetzt und eine Änderung der Zustandsquantität kann nicht in ausreichender Weise erfasst werden.

**[0008]** Somit ergibt sich im Beispiel nach dem Stand der Technik der Nachteil, dass ein Berührungssignal nicht erzeugt wird, obwohl die Kontaktkugel das Messobjekt berührt.

**[0009]** Im Allgemeinen beendet eine dreidimensionale Messvorrichtung, an der eine Berührungssignalsonde montiert ist, den Messvorgang und führt auf der Grundlage eines Berührungssignals einen Ausweichvorgang durch. Wenn daher in der in **Fig. 12** gezeigten Sonde eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung **Q** auftritt, kann der Messvorgang nicht gestoppt werden und es besteht die Gefahr, dass sowohl das Messobjekt als auch die dreidimensionale Messvorrichtung beschädigt werden kann.

**[0010]** Die Europäische Patentanmeldung EP 0 243 766 A2 beschreibt eine Kontaktmessprobe für Werkstücke. Die Kontaktmessprobe weist drei Halbleiter-Dehnungsmessstreifen auf, die geneigt jeweils auf einer Stützstruktur angeordnet sind, um eine Deformation der Stützstruktur aufgrund einer Berührung der Kontaktmessprobe mit einem Werkstück zu erfassen.

## Überblick über die Erfindung

**[0011]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Berührungssignalsonde bereitzustellen, die in der Lage ist mit hoher Empfindlichkeit nicht nur

eine Messkraft in einer Biegerichtung eines Taststifts, sondern ebenfalls eine gemessene Kraft in einer Torsionsrichtung zu erfassen.

**[0012]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst, indem ein Verschiebungsdetektionselement so angebracht wird, dass das Verschiebungsdetektionselement unter einem vorbestimmten Winkel relativ zu einer Achse eines Taststifts geneigt ist, um sowohl die gemessene Kraft in der Biegerichtung des Taststifts als auch die gemessene Kraft in der Torsionsrichtung zu detektieren.

**[0013]** Insbesondere wird erfindungsgemäß eine Berührungssignalsonde bereitgestellt mit: einem Taststift mit einer Kontaktkugel an einem Ende zur Kontaktierung eines Messobjekts; und einem an dem Taststift befestigten Verschiebungs-Detektionselement zum Detektieren der Berührung der Kontaktkugel mit dem Messobjekt. In der Berührungssignalsonde weist der Taststift ein Detektionselement-Halteteil zur Stützung und Befestigung des Verschiebungsdetektionselements und einen an dem Detektionselement-Halteteil angeordneten Stab auf. Das Detektionselement-Halteteil besitzt mehrere Flanschteile, die jeweils einen Querschnitt senkrecht zu einer Achse des Stabs in Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen. Das Verschiebungsdetektionselement ist an den Seiten der Flanschteile derart befestigt, dass dieses unter einem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) relativ zu der Achse des Stabs geneigt ist. Anschließend wird ein Kontakterfassungssignal auf der Grundlage eines Signals, das von dem Verschiebungsdetektionselement ausgegeben wird, erzeugt.

**[0014]** Erfindungsgemäß ist das Verschiebungserfassungselement an den Seiten der Flanschteile derart befestigt, dass dieses unter einem vorbestimmten Winkel relativ zu der Achse des Stabes geneigt ist, so dass, wenn eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auf dem Stab durch die Kontaktkugel auftritt, die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungsdetektionselement übertragen wird.

**[0015]** Somit wird das Verschiebungsdetektionselement in zuverlässiger Weise gedehnt oder kontrahiert bzw. gestaucht und weist eine verbesserte Empfindlichkeit auf und kann eine Änderung in der Zustandsquantität in ausreichender Weise erfassen.

**[0016]** Wenn im Gegensatz dazu eine gemessene Kraft in der Biegerichtung auf den Stab durch die Kontaktkugel einwirkt, wird die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungsdetektionselement übertragen.

**[0017]** Somit wird das Verschiebungsdetektionselement in zuverlässiger Weise gedehnt oder kontra-

hiert, und es wird eine verbesserte Empfindlichkeit erreicht und eine Änderung in der Zustandsquantität kann in ausreichender Weise detektiert werden.

**[0018]** Das heißt, wenn die Kontaktkugel aus einer beliebigen Richtung mit einem Messobjekt in Kontakt gerät, wird zuverlässig ein Berührungssignal erzeugt, da das Verschiebungsdetektionselement eine hohe Empfindlichkeit aufweist. Ferner ist das Verschiebungsdetektionselement an den Seiten der polygonalen Körper angebracht, so dass der Aufbau der Berührungssignalsonde vereinfacht werden kann.

**[0019]** Erfindungsgemäß ist der Querschnitt jedes der Flanschteile senkrecht zur Achse des Stabes quadratisch ausgeführt, und es sind insgesamt vier Verschiebungsdetektionselemente an den Seiten der Flanschteile befestigt, so dass die Verschiebungsdetektionselemente um  $90^\circ$  voneinander beabstandet angeordnet sind.

**[0020]** In dieser Ausgestaltung wird ein Berührungserfassungssignal auf der Grundlage der Signale erzeugt, die von den vier Verschiebungsdetektionselementen, die unter  $90^\circ$  zueinander mit der Taststiftachse als Mittelpunkt angeordnet sind, ausgegeben werden, so dass eine Messung mit hoher Genauigkeit ausgeführt werden kann. Ferner ist der Querschnitt jedes Flanschteiles quadratisch ausgeführt, so dass der Aufbau der Berührungssignalsonde vereinfacht werden kann.

**[0021]** Die Verschiebungsdetektionselemente können so an dem Detektionselement-Halteteil befestigt sein, dass die Verschiebungsdetektionselemente im Wesentlichen spiegelsymmetrisch einander gegenüberliegend angeordnet sind.

**[0022]** Wenn entsprechend dieser Ausgestaltung eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auf den Taststift einwirkt, werden positive und negative Ausgangssignale an einem Paar Verschiebungsdetektionselemente erzeugt, das gegenüberliegend angeordnet ist, wobei die Flanschteile dazwischen liegen. Somit wird die Differenz zwischen den Signalen für jedes der beiden Paare Verschiebungsdetektionselemente erhalten, und die Differenzsignale werden quadriert und addiert. Somit kann ein großes Detektionssignal bereitgestellt werden und die Messgenauigkeit kann verbessert werden.

**[0023]** Des Weiteren können die Verschiebungsdetektionselemente an dem Detektionselement-Halteteil so befestigt sein, dass die Verschiebungsdetektionselemente einander gegenüberliegend symmetrisch mit Bezug zu der Taststiftachse angeordnet sind.

**[0024]** Wenn in dieser Ausgestaltung eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auf den Taststift

einwirkt, wird das gleiche positive oder negative Ausgangssignal an allen vier Verschiebungs-Detektionselementen erzeugt. Somit werden die Signale addiert, wobei ein Kontaktsignal in einfacher Weise bereitgestellt werden kann.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht, die eine Berührungssignalsonde gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführung zeigt;

**Fig. 2** ist eine Blockansicht, die eine Ausgestaltung zum Erzeugen eines Kontaktsignals aus Signalen, die von Verschiebungs-Detektionselementen (piezoelektrischen Elementen) ausgegeben werden, darstellt;

**Fig. 3** ist ein Schaltplan, um die Anordnung zum Erzeugen der Kontaktsignale aus den von den Verschiebungs-Detektionselementen (piezoelektrischen Elementen) ausgegebenen Signalen darzustellen;

**Fig. 4A** und **Fig. 4B** sind jeweils schematische Ansichten, um die Verschiebungs-Detektionselemente im befestigten Zustand und einander gegenüberliegend zu zeigen, und Grafiken, um die Signalform von Signalen zu zeigen, die von den Verschiebungs-Detektionselementen ausgegeben werden;

**Fig. 5** ist eine schematische Ansicht, um die vier Verschiebungs-Detektionselemente (piezoelektrische Elemente) im montierten Zustand zu zeigen, und ein Graf, um die Signalformen von Signalen zu zeigen, die von den Verschiebungs-Detektionselementen ausgegeben werden, und ein Graf, um eine Signalform darzustellen, in der die Signalformen kombiniert sind;

**Fig. 6** eine perspektivische Ansicht, um eine Berührungssignalsonde gemäß einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform zu zeigen;

**Fig. 7** eine perspektivische Ansicht, um ein modifiziertes erfindungsgemäßes Beispiel darzustellen;

**Fig. 8** eine perspektivische Ansicht, um ein weiteres modifiziertes erfindungsgemäßes Beispiel zu zeigen;

**Fig. 9** eine perspektivische Ansicht, um ein noch weiteres modifiziertes erfindungsgemäßes Beispiel darzustellen;

**Fig. 10** zeigt ein weiteres modifiziertes Beispiel der Erfindung und stellt einen Schaltplan dar, um eine Ausgestaltung zum Erzeugen eines Kontaktsignals aus Signalen, die von piezoelektrischen Elementen ausgegeben werden zu zeigen;

**Fig. 11A** ist eine perspektivische Ansicht, um einen Zustand darzustellen, bevor die Verschiebungs-Detektionselemente angebracht sind;

**Fig. 11B** ist eine perspektivische Ansicht, um einen Zustand nach der Befestigung der Verschiebungs-Detektionselemente zu zeigen; und

**Fig. 12** ist eine perspektivische Ansicht, um einen Nachteil eines Beispiels nach dem Stand der Technik zu beschreiben.

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0025]** Mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen werden nun bevorzugte erfindungsgemäße Ausführungsformen gezeigt.

**[0026]** **Fig. 1** zeigt den wesentlichen Aufbau einer Berührungssignalsonde gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform.

**[0027]** In **Fig. 1** besitzt die Berührungssignalsonde der ersten Ausführungsform einen Aufbau, wobei vier piezoelektrische Elemente **21** bis **24** als Verschiebungs-Detektionselemente an einem Taststift **1** angebracht sind. Der Taststift **1** umfasst eine Kontaktkugel **1A**, einen Befestigungsteil **1B**, einen Stab **1D** und ein Detektionselement-Halteteil **1E**. Die Kontaktkugel **1A** dient zur Kontaktierung eines Messobjekts. Das Befestigungsteil **1B** besitzt die Form einer Säule, an deren Endteil die Kontaktkugel **1A** befestigt ist. Der Stab **1D** besitzt einen im Wesentlichen kreisförmigen Querschnitt und ist mit einem Endteil an einem Basisendteil des Befestigungsteils **1B** mittels eines Blockkörpers **1C** befestigt. Das Detektionselement-Halteteil **1E** ist in integraler Weise zusammen mit einem gegenüberliegenden Endteil des Stabes **1D** ausgebildet.

**[0028]** Der Blockkörper **1C**, der Stab **1D** und das Detektionselement-Halteteil **1E** sind an einer Achse des Taststifts angeordnet.

**[0029]** Der Stab **1D** ist in Form einer Säule an der Blockkörperseite und in Form eines Konus auf der Seite des Detektionselement-Halteteils ausgebildet.

**[0030]** Der Befestigungsteil **1B** und der Stab **1D** bilden einen rechten Winkel, wobei der Blockkörper **1C** als Mittelpunkt dient. In dieser Ausführungsform können mehrere Befestigungsteile **1B**, wobei jeweils die Kontaktkugel **1A** an dem Endteil vorgesehen ist, an dem Blockkörper **1C** in der radialen Richtung und in der axialen Richtung des Stabes **1D** (vergl. **Fig. 12**) angebracht sein.

**[0031]** Das Detektionselement-Halteteil **1E** umfasst zwei Flanschteile **1F** und ein Verbindungsteil **1G**. Jedes der Flanschteile **1F** besitzt einen quadratischen Querschnitt senkrecht zur Achse des Stabes **1D**. Das

Verbindungsteil **1G** ist im Wesentlichen wie eine Säule ausgebildet und dient zur Verbindung der Flanschteile **1F**.

**[0032]** Die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** sind an den Rechteckseiten der Flanschteile **1F** in geneigter Weise unter einem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) mit Bezug zur Achse des Stabes **1D** befestigt. Entsprechend dieser Ausführungsform besitzt jedes der piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** eine Ebene bzw. Fläche, die im Wesentlichen als ein Parallelogramm ausgebildet ist, und besitzt Seiten entlang der Längsrichtung des Parallelogramms, die unter dem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) mit Bezug zu der Achse des Stabs **1D** geneigt sind. Jedes der piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** ist an beiden Endteilen entlang deren Längsrichtung an den Seiten der Flanschteile **1F** befestigt, die jeweils mit einem Klebemittel und dergleichen gegenüberliegend befestigt sind.

**[0033]** Die piezoelektrischen Elemente **21** und **24** sind von gleicher Form und die piezoelektrischen Elemente **22** und **23** sind ebenfalls von gleicher Form. Die piezoelektrischen Elemente **21** und **24** und die piezoelektrischen Elemente **22** und **23** sind mit Ausnahme der Symmetrie gleichartig geformt.

**[0034]** Die gesamte Fläche jedes der piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** bildet eine Elektrode. Die einander gegenüberliegenden piezoelektrischen Elemente **21** und **23** sind an dem Detektionselement-Halteteil **1E** so befestigt, dass diese im Wesentlichen spiegelsymmetrisch angeordnet sind. In gleicher Weise sind die einander gegenüberliegenden piezoelektrischen Elemente **22** und **24** an dem Detektionselement-Halteteil **1E** so befestigt, dass diese im Wesentlichen spiegelsymmetrisch angeordnet sind.

**[0035]** Es sei nun der Fall betrachtet, in dem ein Messobjekt mit der Kontaktkugel **1A** in Berührung kommt und eine Kraft in der Biegerichtung **P** auf den Stab **1D** einwirkt; die Kraft wird in einer Richtung **S1** entlang im Wesentlichen der Längsrichtung jedes der piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** übertragen. Somit wird ein Ausgangssignal eines vorbestimmten piezoelektrischen Elements, beispielsweise des piezoelektrischen Elements **21**, zu einem Zeitpunkt maximal, der durch die Eigenfrequenz, etc., des Taststifts **1** bestimmt ist, nachdem die Kontaktkugel **1A** mit dem Messobjekt in Berührung ist. Die Größe des Maximalwerts variiert in Abhängigkeit von dem Winkel zwischen der Befestigungsrichtung des piezoelektrischen Elements **21** und der Richtung des Abtaststifts **1**, mit der dieser mit dem Messobjekt in Kontakt gerät. Und zwar ändert sich die Größe des Maximalwertes in Abhängigkeit eines Winkels  $\theta$  des piezoelektrischen Elements **21** um die Achse des Taststifts **1** und ändert sich in Form einer Sinuskurve mit einer  $360^\circ$ -Periode.

**[0036]** Der maximale Ausgangswert erreicht den Maximalwert, wenn das Messobjekt und der Taststift **1** sich unter einem Winkel berühren, unter dem das piezoelektrische Element **21** leicht durch Biegung verformbar ( $\theta=0$ ) ist (hierbei sei auf die oben erwähnte ungeprüfte japanische Offenlegungsschrift mit der Nr. JP H10-288 502 A verwiesen).

**[0037]** Fig. 2 ist eine Blockansicht zur Erzeugung von Kontaktsignalen auf der Grundlage eines Ausgangssignals der vier piezoelektrischen Elemente **21** bis **24**, und Fig. 3 ist ein Schaltbild.

**[0038]** In den Fig. 2 und Fig. 3 werden von den piezoelektrischen Elementen **21** bis **24** ausgegebene Signale mittels Verstärkerschaltungen **31** bis **34** verstärkt, um  $V_1$  bis  $V_4$  zu erzeugen. Anschließend wird eine Differenz  $V_{13}$  zwischen den Signalen  $V_1$  und  $V_3$ , die von den sich gegenüberliegenden piezoelektrischen Elementen **21** und **23** (Vorderseite und Rückseite) ausgegeben werden, von einer Differenzverstärkerschaltung **41** berechnet, und es wird eine Differenz  $V_{24}$  zwischen den von den sich gegenüberliegenden piezoelektrischen Elementen **22** und **24** (Vorderseite und Rückseite) ausgegebenen Signalen  $V_2$  und  $V_4$  mittels einer Differenzverstärkerschaltung **42** berechnet. Mittels der Differenzverstärkerschaltungen **41** und **42** werden erste Kontaktsignale erzeugt.

**[0039]** Ferner wird eine Summe  $V_{1234}$  der Signale  $V_1$  bis  $V_4$ , die von den piezoelektrischen Elementen **21** bis **24** ausgegeben und von den Verstärkerschaltungen **31** bis **34** verstärkt werden, durch eine Additionsschaltung **5** berechnet, um ein zweites Kontaktsignal zu erzeugen.

**[0040]** Der Grund dafür, weshalb die Differenz  $V_{13}$  ( $V_{24}$ ) zwischen den Ausgangssignalen der piezoelektrischen Elemente **21** und **23** (**22** und **24**) berechnet wird, ist der, dass eine Biegeverzerrungskomponente, die auf die Achse des Taststiftes wirkt, durch die Berechnung herausgelöst wird, da die Ausgangssignale aus den piezoelektrischen Elementen **21** und **23** (**22** und **24**), die sich in ihrem Befestigungswinkel um  $180^\circ$  zur Achse des Taststiftes als Mittelpunkt unterscheiden, in der Phase um  $180^\circ$  unterscheiden.

**[0041]** Des Weiteren wird die Summe  $V_{1234}$  der Ausgangssignale der vier piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** berechnet, um die Biegeverzerrungskomponente, die auf die Achse des Taststiftes wirkt, zu eliminieren und eine longitudinale Verzerrungskomponente, die auf die axiale Richtung des Taststiftes wirkt, herauszulösen. In dieser Ausführungsform wird, um die longitudinale Verzerrungskomponente herauszulösen, die Summe der Ausgangssignale aller vier piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** ermittelt. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht

darauf eingeschränkt, und die Summe der Ausgangssignale aus den zwei piezoelektrischen Elementen **21** und **23** oder **22** und **24**, die sich gegenüberliegen (Vorderseite und Rückseite), kann berechnet werden.

**[0042]** Eine Kontaktsignal-Erfassungsschaltung **6** erzeugt ein Erfassungssignal aus den ersten Kontaktsignalen, die durch die Differenzverstärkerschaltungen **41** und **42** erzeugt sind, und aus dem zweiten Kontaktsignal, das durch die Additionsschaltung **5** erzeugt ist.

**[0043]** Die Kontaktsignalerfassungsschaltung **6** quadriert die Ausgangssignaldifferenzen ( $V_{13}$  und  $V_{24}$ ) der ersten Kontaktsignale durch jeweils Quadrierschaltungen **71** und **72** und addiert anschließend die Ergebnisse mittels einer Additionsschaltung **8**, um ein einzelnes Signal zu erzeugen. Die Ausgangssignaldifferenzen werden quadriert und die Ergebnisse werden addiert, um den Maximalwert des Ausgangssignals aus den piezoelektrischen Elementen **21** und **23** (**22** und **24**), die sich im Befestigungswinkel um  $90^\circ$  unabhängig von dem Winkel  $\theta$  unterscheiden, konstant zu machen.

**[0044]** Das heißt, sei der Maximalwert des differentiellen Ausgangssignals der piezoelektrischen Elemente **21** und **23**

$$V_{13} = V_{\max} \times \cos(\theta_0), \quad [\text{Ausdruck 1}]$$

und sei der Maximalwert des differentiellen Ausgangssignals der piezoelektrischen Elemente **22** und **24** gleich

$$V_{24} = V_{\max} \times \cos(\theta_0 + 90), \quad [\text{Ausdruck 2}]$$

und so ergibt sich:

$$(V_{13})^2 + (V_{24})^2 = (V_{\max})^2. \quad [\text{Ausdruck 3}]$$

**[0045]** Somit ist der Maximalwert des Ausgangssignals zu einer vorbestimmten Zeit  $(V_{\max})^2$  unabhängig vom Winkel.

**[0046]** Diese Beschreibung trifft auf den Fall zu, in dem das Messobjekt mit der Kontaktkugel **1A** aus der Richtung in Kontakt kommt, in der der Taststift senkrecht zur Taststiftachse steht. Der Maximalwert des Ausgangssignals, wenn die Taststiftachse unter einem Winkel  $\beta$  berührt, ergibt sich zu:  $(V_{\max} \times \cos\beta)^2$ . Der Winkel  $\beta$  ist der Winkel zwischen der Richtung

senkrecht zur Taststiftachse (die Achse des Stabs **1D**) und der Richtung, in der die Kontaktkugel **1A** mit dem Messobjekt in Berührung kommt.

**[0047]** Da das erste Kontaktsignal  $V_{13}$  ( $V_{24}$ ) das differenzielle Signal der piezoelektrischen Elemente **21** und **23** (**22** und **24**) ist, die an der Vorderseite und Rückseite des Taststiftes angeordnet sind, ist  $V_{\max} \times \cos\beta$  ein Signal, das die Biegeverzerrungskomponente des Detektionselement-Halteteils **1E** repräsentiert.

**[0048]** In Fig. 3 wird das durch die Additionsschaltung **5** berechnete Summensignal  $V_{1234}$  gemäß dem folgenden Ausdruck erhalten, wobei K ein Verstärkungsfaktor ist:

$$V_{1234} = K(V_1 + V_2 + V_3 + V_4). \quad [\text{Ausdruck 4}]$$

$V_{1234}$  ist ein Signal, das eine longitudinale Verzerrungskomponente repräsentiert, in der die Biegeverzerrungskomponente entfernt ist, und wird zu einem Maximalwert  $V_M$ , wenn  $\beta$  gleich  $90^\circ$  ist, und zwar, wenn die Kontaktkugel **1A** mit dem Messobjekt aus der Richtung der Achse des Taststifts in Berührung kommt. Der Maximalwert des Ausgangssignals bei Berührung des Taststifts unter dem Winkel  $\beta$  wird zu

$$V_{1234} = V_M \times \sin\beta. \quad [\text{Ausdruck 5}]$$

**[0049]** Jedoch ist die Zeit zur Erreichung des Maximalwertes von  $(V_{\max} \times \cos\beta)^2$  und die Zeit für  $V_{1234}$  zur Erreichung des Maximalwertes im Allgemeinen unterschiedlich. Das heißt, die Steifigkeit in der Längsrichtung ist im Allgemeinen höher als die Verbiegungssteifigkeit und somit steigt  $V_{1234}$  zeitlich früher an.

**[0050]** Daher wird die Verstärkungseinstellung so vorgenommen, dass  $V_M = V_{\max}$  ist, und anschließend wird das Signal  $V_{1234}$  mit einer geeigneten Zeitverzögerung mittels einer Verzögerungsschaltung **9** bereitgestellt und anschließend mittels einer Quadrierschaltung **73** quadriert.

**[0051]** Das von der Quadrierschaltung **73** bereitgestellte Signal  $(V_{1234})^2$  und das Signal  $(V_{\max} \times \cos\beta)^2$  werden in einer Additionsschaltung **10** addiert.

**[0052]** Das Ergebnis der Addition beträgt

$$(V_{1234})^2 + (V_{\max} \times \cos\beta)^2 = V_{\max}^2. \quad [\text{Ausdruck 6}]$$

**[0053]** Es wird ein konstantes Signal unabhängig von dem Kontaktwinkel  $\beta$  geliefert.

**[0054]** Das heißt, das der Längsverzerrung entsprechende Signal zur frühzeitigeren Bildung des Maximalwertes wird um eine vorbestimmte Zeit verzögert, wobei der Maximalwert zum selben Zeitpunkt gebildet wird, wie das der Biegeverzerrung entsprechende Signal. Wenn daher das Messobjekt mit einem beliebigen Punkt der Kontaktkugel **1A** in Berührung kommt, wird das gleiche Ausgangssignal erzeugt.

**[0055]** Anschließend wird das Signal mit einem vorbestimmten Referenzwert mittels einer Vergleicherschaltung **11** verglichen, und wenn das Signal den Referenzwert übersteigt, wird ein Kontaktsignal erzeugt.

**[0056]** In dieser Ausführungsform ist das Verfahren nicht auf das Quadrieren des Signals ( $V_{1234}$ ) und anschließendes Bereitstellen des Ergebnisses mit einer geeigneten Zeitverzögerung eingeschränkt, und es kann im Einklang mit dem erfinderischen Grundgedanken der Ausführungsform eine derartige Änderung vorgenommen werden, dass das Signal beispielsweise quadriert wird, nachdem es verzögert worden ist.

**[0057]** Nachdem ferner das Signal ( $V_{1234}$ ) mit einer geeigneten Zeitverzögerung versehen ist, wird die folgende Berechnung durchgeführt:

$$(V_{13})^2 + (V_{24})^2 = (V_{1234})^2.$$

[Ausdruck 7]

**[0058]** In diesem Falle kann das gleiche Ergebnis wie im oben beschriebenen Falle geliefert werden.

**[0059]** Es sei nun, wie in den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** gezeigt ist, der Fall betrachtet, in dem ein Messobjekt mit der Kontaktkugel **1A** in Berührung kommt und eine Kraft in der Torsionsrichtung **Q** auf den Stab **1D** wirkt. In den beiden Flanschteilen **1F** wirkt die Kraft **Q2** aufgrund der Kraft **Q** in entgegengesetzten Richtungen, wodurch die Kraft in einer Richtung **S2** entlang im Wesentlichen der Längsrichtung jedes der piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** übertragen wird. In dieser Ausführungsform sind die einander gegenüberliegenden piezoelektrischen Elemente **21** und **23** spiegelsymmetrisch zueinander angeordnet, wobei das Detektionselement-Halteteil **1E** dazwischen liegt. Somit wirkt eine auswärts gerichtete Scherungskraft (in einer Ausdehnungsrichtung) auf das piezoelektrische Element **21** entlang der S2-Richtung, wie in **Fig. 4A** gezeigt ist, und eine einwärts gerichtete Scherungskraft (in einer Kontraktionsrichtung) wirkt auf das piezoelektrische Element **23** entlang der S2-Richtung, wie in **Fig. 4B** gezeigt ist. Wenn die Torsionsrichtung entgegengesetzt zu **Q** ist, wirken die Scherungskräfte auf die piezoelektrischen Elemente **21** und **23** in entgegengesetzten Richtungen.

**[0060]** Dies bedeutet, dass eine Signalamplitude  $V_3$ , die von dem piezoelektrischen Element **23** ausgegeben wird, mit Bezug zu einer Signalamplitude  $V_1$ , die von dem piezoelektrischen Element **21** ausgegeben wird, invertiert ist. In gleicher Weise ist eine von dem piezoelektrischen Element **24** ausgegebene Signalamplitude  $V_4$  mit Bezug zu einer von dem piezoelektrischen Element **22** ausgegebenen Signalamplitude  $V_2$  invertiert.

**[0061]** Die von den piezoelektrischen Elementen **21** bis **24** ausgegebenen Signale werden durch die in **Fig. 3** gezeigte Kontrollschaltung verarbeitet, um ein Kontaktsignal zu erzeugen.

**[0062]** Das heißt, die von den piezoelektrischen Elementen **21** bis **24** ausgegebenen Signale werden durch die Verstärkerschaltungen **31** bis **34** verstärkt, um  $V_1$  bis  $V_4$  zu erzeugen. Anschließend wird die Differenz  $V_{13}$  zwischen den von den sich gegenüberliegenden (Vorderseite und Rückseite) piezoelektrischen Elementen **21** und **23** ausgegebenen Signalen  $V_1$  und  $V_3$  durch die Differenzverstärkerschaltung **41** berechnet, und die Differenz  $V_{24}$  zwischen den von den sich gegenüberliegenden (Vorderseite und Rückseite) piezoelektrischen Elementen **22** und **24** ausgegebenen Signalen  $V_2$  und  $V_4$  wird durch die Differenzverstärkungsschaltung **42** berechnet. Die durch die Differenzverstärkungsschaltung **41** gewonnene Differenz  $V_{13}$  ( $V_1 - V_3$ ) wird durch die Quadrierschaltung **71** quadriert, und die durch die Differenzverstärkungsschaltung **42** gewonnene Differenz  $V_{24}$  ( $V_2 - V_4$ ) wird durch die Quadrierschaltung **72** quadriert. Die Ergebnisse werden mittels der Additionsschaltung **8** addiert, um ein einzelnes Signal (vergl. den Grafen in **Fig. 5**) zu erzeugen.

**[0063]** Das Signal wird mit dem vorbestimmten Referenzwert mittels der Vergleicherschaltung **11** verglichen, und wenn das Signal den Referenzwert übersteigt, wird ein Kontaktsignal erzeugt. Die von den Verstärkerschaltungen **31** bis **34** zugeführten Signale  $V_1$  bis  $V_4$  werden zu der Additionsschaltung **5** gesendet. In dieser Ausführungsform sind die von den sich gegenüberliegenden (Vorderseite und Rückseite) piezoelektrischen Elementen **21** (**22**) und **23** (**24**) ausgegebenen Signale  $V_1$  ( $V_2$ ) und  $V_3$  ( $V_4$ ) zueinander invers. Wenn daher die Signale lediglich addiert werden, wird das Ergebnis **0** oder ein extrem kleiner Wert, und das von der Additionsschaltung **5** zu der Quadrierschaltung **73** und der Additionsschaltung **10** gesendete Signal kann ignoriert werden.

(1) Daher umfasst in der ersten Ausführungsform der Berührungssignalsonde der Taststift **1** das Detektionselement-Halteteil **1E** zum Halten und Fixieren der Verschiebungs-Detektionselemente und den Stab **1D**, der an dem Detektionselement-Halteteil **1E** angeordnet ist, wobei die Verschiebungs-Detektionselemente (piezoelektrischen Elemente **21** bis **24**) an dem Tast-

stift **1** zum Detektieren der Berührung der Kontaktkugel **1A** mit einem Messobjekt angeordnet sind. Das Detektionselement-Halteteil **1E** besitzt mehrere Flanschsteile **1F**, die jeweils einen Querschnitt senkrecht zur Achse des Stabes **1D** in Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen. Die Verschiebungs-Detektionselemente sind an den Seiten der Flanschsteile **1F** so angebracht, dass diese unter einem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Achse des Stabes **1D** geneigt sind. Anschließend wird ein Kontakterfassungssignal auf der Grundlage von Signalen erzeugt, die von den Verschiebungs-Detektionselementen ausgegeben werden. Wenn daher eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung **Q** auf den Stab **1D** durch die Kontaktkugel **1A** einwirkt, wird die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungs-Detektionselements übertragen, so dass das Verschiebungs-Detektionselement zuverlässig gedehnt oder kontrahiert wird und eine Änderung in der Zustandsquantität in ausreichender Weise erfassen kann. Wenn ferner eine gemessene Kraft in der Biegerichtung **P** auf den Stab **1D** durch die Kontaktkugel **1A** einwirkt, wird die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungs-Detektionselements übertragen, so dass das Verschiebungs-Detektionselement in zuverlässiger Weise gedehnt oder kontrahiert wird und eine Änderung in der Zustandsquantität in ausreichender Weise erfassen kann.

(2) Da die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** als die Verschiebungs-Detektionselemente verwendet werden, kann die Auflagekraft, wenn die Kontaktkugel **1A** des Taststifts **1** mit einem Messobjekt in Berührung kommt, auf zuverlässige Weise erfasst werden, so dass die Messung mit hoher Genauigkeit ausgeführt werden kann.

(3) Der Querschnitt jedes der Flanschsteile **1F** senkrecht zur Achse des Stabes **1D** ist quadratisch ausgeführt und es sind insgesamt vier piezoelektrische Elemente **21** bis **24** an den Seiten der Flanschsteile **1F** angebracht, so dass die Verschiebungs-Detektionselemente zueinander um  $90^\circ$  beabstandet sind. Somit wird ein Berührungserfassungssignal auf der Grundlage von Signalen erzeugt, die von den vier piezoelektrischen Elementen **21** bis **24**, die voneinander um  $90^\circ$  zur Taststiftachse als Mittelpunkt beabstandet sind, ausgegeben, so dass die Messung mit hoher Genauigkeit ausgeführt werden kann. Ferner ist der Querschnitt jedes Flanschsteiles **1F** quadratisch, so dass der Aufbau der Berührungssignalsonde vereinfacht werden kann.

(4) Wenn eine gemessene Kraft in der Biegerichtung **P** auf den Taststift **1** einwirkt, wird ein erstes Kontaktsignal aus den beiden Differenzsignalen **V<sub>13</sub>** und **V<sub>24</sub>** erzeugt, die von den zwei Paaren

piezoelektrische Elemente **21**, **23** und **22**, **24**, die vor und hinter dem Taststift angeordnet sind, ausgegeben werden, und es wird ein zweites Kontaktsignal erzeugt, aus dem Signal **V<sub>1234</sub>** der Summe der Signale, die von den vier piezoelektrischen Elementen **21** bis **24**, ausgegeben werden, oder aus dem Signal der Summe der Signale, die von den beiden Paaren Verschiebungs-Detektionselementen **21**, **23** und **22**, **24**, die an der Vorderseite und Rückseite angeordnet sind, ausgegeben werden. Das zweite Kontaktsignal wird um eine vorbestimmte Zeitdauer verzögert und wird anschließend logisch mit dem ersten Kontaktsignal addiert, um ein Kontakterfassungssignal zu erzeugen. Um somit das Kontakterfassungssignal durch logisches Addieren des ersten Kontaktsignals und des zweiten Kontaktsignals zu erzeugen, wird das der Längsverzerrung entsprechende zweite Kontaktsignal, das den Maximalwert zeitlich früher erreicht, um die vorbestimmte Zeitdauer verzögert. Wenn daher das Messobjekt mit einem beliebigen Punkt der Kontaktkugel in Berührung kommt, tritt das gleiche Ausgangssignal auf und somit kann die Messung in diesem Punkt mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden.

(5) Es wird ein Kontakterfassungssignal, für den Fall, dass eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auf den Stab **1D** einwirkt, entsprechend zu der Schaltungsanordnung zur Verzögerung eines Kontakterfassungssignals für den Fall, dass eine gemessene Kraft in der Biegerichtung des Stabes **1D** auftritt, erzeugt. Und zwar umfasst die Schaltungsanordnung die Differenzverstärkungsschaltung **41** (**42**) zum Berechnen der Differenz zwischen den von den sich gegenüberliegenden (Vorderseite und Rückseite) piezoelektrischen Elementen **21** und **23** (**22** und **24**) ausgegebenen Signalen, die Additionsschaltung **5** zum Berechnen der Summe der von allen piezoelektrischen Elementen **21** bis **24** ausgegebenen Signale, und die Kontaktsignalerfassungsschaltung **6** zum Erzeugen eines Erfassungssignals aus dem von den Differenzverstärkungsschaltungen **41** und **42** erzeugten Kontaktsignalen und dem von der Additionsschaltung **5** erzeugten Kontaktsignal. Somit kann die Schaltungsanordnung gemeinsam verwendbar ausgeführt werden und der Aufbau der Berührungssignalsonde kann vereinfacht werden.

(6) Die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24** sind so an dem Detektionselement-Halteteil **1E** befestigt, dass die sich gegenüberliegenden piezoelektrischen Elemente **21** und **23** (**22** und **24**) im Wesentlichen spiegelsymmetrisch angeordnet sind. Wenn daher eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung **Q** auf den Taststift einwirkt, werden positive und negative Ausgangssignale auf einem Paar piezoelektrischer Elementen

te **21** und **23** (**22** und **24**) erzeugt, die zueinander gegenüberliegend angeordnet sind, wobei die Flanschteile **1F** dazwischenliegen. Somit wird die Differenz der Signale für jedes der beiden Paare Verschiebungs-Detektionselemente **21**, **23** und **22**, **24** erhalten, und die Differenzsignale werden quadriert und addiert. Somit kann ein großes Detektionssignal bereitgestellt werden und die Messgenauigkeit kann verbessert werden.

[0064] Anschließend wird eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform mit Bezug zu **Fig. 6** erläutert.

[0065] Die zweite Ausführungsform stimmt mit der ersten Ausführungsform mit Ausnahme der Anordnung der piezoelektrischen Elemente überein. Daher werden Teile, die identisch zu Teilen sind, die mit Bezug zu **Fig. 1** beschrieben sind, in **Fig. 6** mit den gleichen Referenzzeichen belegt, und diese werden nicht erneut detailliert erläutert.

[0066] In **Fig. 6** sind in der zweiten Ausführungsform die Verschiebungs-Detektionselemente piezoelektrische Elemente **21**, **220**, **230** und **24**. Ein Paar gegenüberliegender piezoelektrische Elemente **21** und **230** ist an einem Detektionselement-Halteteil **1E** so befestigt, dass es mit Bezug zu der Achse eines Taststiftes symmetrisch ist. Das andere Paar piezoelektrische Elemente **220** und **24** ist ebenfalls an den Detektionselement-Halteteil **1E** so befestigt, dass es mit Bezug zu der Achse des Taststiftes symmetrisch ist. Die piezoelektrischen Elemente **21**, **220**, **230** und **24** besitzen die gleiche Form.

[0067] Ein Aufbau zur Erzeugung eines Kontaktsignals basierend auf einem Ausgangssignal der piezoelektrischen Elemente **21**, **220**, **230** und **24** gemäß der zweiten Ausführungsform ist identisch zum Aufbau, der zuvor mit Bezug zu den **Fig. 2** und **Fig. 3** in der ersten Ausführungsform beschrieben ist.

[0068] In der zweiten Ausführungsform ist ein Ablauf zur Erzeugung eines Kontaktsignals, wenn ein Messobjekt mit einer Kontaktkugel **1A** in Berührung kommt und eine gemessene Kraft in einer Biegerichtung **P** auf einen Stab **1D** einwirkt, identisch zu dem Ablauf in der ersten Ausführungsform.

[0069] Wenn ein Messobjekt mit der Kontaktkugel **1A** in Berührung kommt und eine Kraft in einer Torsionsrichtung **Q** auf den Stab **1D** einwirkt, wird eine Kraft in einer Richtung **S2** entlang im Wesentlichen der Längsrichtung jedes der piezoelektrischen Elemente **21**, **220**, **230** und **24** durch die Kraft **Q** übertragen.

[0070] Es wirkt eine Scherungskraft in der gleichen Richtung entlang der S2-Richtung auf jedes piezoelektrische Element **21**, **220**, **230**, **24**, und es werden

von den piezoelektrischen Elementen **21**, **220**, **230** und **24** jeweils die gleichen Detektionssignale ausgegeben.

[0071] Die Detektionssignale werden mittels Verstärkerschaltungen **31** bis **34** verstärkt, um  $V_1$  bis  $V_4$  zu erzeugen, und anschließend wird die Summe der Signale  $V_1$  bis  $V_4$ ,  $V_{1234}$ , mittels einer Additionsschaltung **5** berechnet.

[0072] Das von der Additionsschaltung **5** gelieferte Summensignal wird mit einer geeigneten Zeitverzögerung mittels einer Verzögerungsschaltung **9** belegt und anschließend mit einer Quadrierschaltung **73** quadriert. Das von der Quadrierschaltung **73** ausgesandte Signal wird mittels einer Vergleichsschaltung **11** mit einem vorbestimmten Referenzwert verglichen, und wenn das Signal den Referenzwert übersteigt, wird ein Kontaktsignal erzeugt. In diese Ausführungsform sind, da die von den Verstärkerschaltungen **31** bis **34** gelieferten Signale  $V_1$  bis  $V_4$  zu Differenzverstärkerschaltungen **41** und **42** gesendet werden, die Signale  $V_1$  bis  $V_4$  Detektionssignale des gleichen Wertes und werden daher 0 oder nehmen einen extrem kleinen Wert in den Differenzverstärkerschaltungen **41** und **42** an, und das zu den Additionsschaltungen **8** und **10** gesendete Signal kann vernachlässigt werden. Es kann ein negatives Signal von den piezoelektrischen Elementen **21**, **220**, **230**, **24** in dem Falle ausgesandt werden, wenn der Absolutwert des Signals von einer geeigneten Einrichtung gewonnen wird.

[0073] Daher können in der zweiten Ausführungsform ähnliche Vorteile (1), (2), (3), (4), und (5) wie in der ersten Ausführungsform erreicht werden und zusätzlich (7) sind die piezoelektrischen Elemente **21**, **220**, **230** und **24** an dem Detektionselement-Halteteil **1E** so montiert, dass die piezoelektrischen Elemente **21** und **220** (**230** und **24**), die einander gegenüberliegend sind, mit Bezug zur Achse des Taststiftes symmetrisch sind.

[0074] Wenn daher eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung **Q** auf den Taststift **1** einwirkt, werden in allen vier piezoelektrischen Elementen **21**, **220**, **230** und **24** die gleichen positiven oder negativen Ausgangssignale erzeugt. Somit werden die Signale addiert, wodurch ein Kontaktsignal in einfacher Weise bereitgestellt werden kann.

[0075] Die Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen eingeschränkt und enthält in ihrem Schutzbereich Raum für Modifikationen und Verbesserungen, mit denen die Aufgabe der Erfindung gelöst werden kann.

[0076] Beispielsweise sind in den beschriebenen Ausführungsformen die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24**, **220**, **230** in einem Zustand befestigt, in

dem sie unter dem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zur Achse des Stabes **1D** geneigt sind. Jedoch können erfindungsgemäß piezoelektrische Elemente **211**, **221**, **23**, **241**, jeweils als flache Rechtecke ausgeführt, so angeordnet sein, dass diese parallel zu der Achse des Stabes **1D** in der Längsrichtung angeordnet sind, wie dies in **Fig. 7** gezeigt ist, wenn eine das Verschiebungs-Detektionselement bildende Elektrode **20A** so ausgebildet ist, dass diese unter dem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Achse des Stabes **1D** geneigt ist.

**[0077]** In den beschriebenen Ausführungsformen sind die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24**, **220**, **230** flache Parallelogramme. Erfindungsgemäß können die piezoelektrischen Elemente **212**, **222**, **232**, **242** als Rechtecke ausgebildet sein, wie in **Fig. 8** gezeigt ist, wenn diese so gebildet sind, dass diese unter dem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Achse des Stabes **1D** geneigt sind.

**[0078]** Ferner sind in den beschriebenen Ausführungsformen die Verschiebungs-Detektionselemente als die piezoelektrischen Elemente **21** bis **24**, **220** und **230** beschrieben. Erfindungsgemäß können jedoch auch Verzerrungsmesselemente **213**, **223**, **233** und **243** anstelle der piezoelektrischen Elemente verwendet werden, wie in **Fig. 9** gezeigt ist, wenn diese eine Verschiebung in der Biegerichtung des Taststiftes **1** und eine Verschiebung in der Torsionsrichtung detektieren können.

**[0079]** Kurz gesagt, erfindungsgemäß sind die Arten, die Größen, die Formen, der Befestigungswinkel  $\alpha$ , das Aspektverhältnis und dergleichen der Verschiebungs-Detektionselemente entsprechend zu der Form des Taststiftes **1** und gemäß anderen beliebigen Bedingungen festgelegt.

**[0080]** Des Weiteren kann erfindungsgemäß die folgende Ausgestaltung angewendet werden: wie in **Fig. 10** gezeigt, wird das Signal  $(V_{\max} \times \cos\beta)^2$ , das von einer Additionsschaltung **8** ausgegeben wird, mit einem Referenzwert mittels einer Vergleicherschaltung **12** verglichen, und wenn das Signal den Referenzwert übersteigt, wird ein Kontaktsignal durch eine ODER-Schaltung **13** erzeugt. Wenn andererseits das von einer Additionsschaltung **5** gelieferte Summensignal  $V_{1234}$  mit einem Referenzwert mittels einer Vergleicherschaltung **14** verglichen wird, und wenn das Signal den Referenzwert übersteigt, wird dieses um eine vorbestimmte Zeitdauer mittels einer Verzögerungsschaltung **15** verzögert und es wird ein Kontaktsignal mittels der ODER-Schaltung **13** erzeugt.

**[0081]** Des Weiteren ist entsprechend den **Fig. 3** und **Fig. 10** die Kontaktsignal-Erzeugungsschaltung als eine analoge Schaltung ausgeführt, aber diese kann auch als eine digitale Schaltung ausgeführt sein.

**[0082]** Ferner sind bei der Beschreibung der Ausführungsformen vier piezoelektrische Elemente **21-24**, **220**, **230** beschrieben; erfindungsgemäß können jedoch zwei piezoelektrische Elemente an den zwei zusammenhängenden Seiten des Detektionselement-Halteteil **1E** befestigt sein.

**[0083]** Erfindungsgemäß können die Flanschteile **1F** mit einem Querschnitt eines gleichseitigen Dreiecks ausgebildet sein und es können insgesamt drei piezoelektrische Elemente an den Seiten der Flanschteile **1F** angebracht sein. Des Weiteren können die Flanschteile **1F** mit regelmäßigen fünfeckigen, regelmäßigen sechseckigen, etc. Querschnitt ausgebildet sein.

**[0084]** Des Weiteren beträgt die Anzahl der Flanschteile **1F** zwei; erfindungsgemäß kann diese jedoch drei oder mehr betragen.

**[0085]** Wie zuvor beschrieben ist, ist erfindungsgemäß in einer Berührungssignalsonde ein Verschiebungs-Detektionselement zum Detektieren der Berührung einer Kontaktkugel mit einem Messobjekt an einem Taststift angeordnet, an dem die Kontaktkugel zur Kontaktierung eines Messobjekts an einem Ende angeordnet ist. Der Taststift besitzt ein Detektionselement-Halteteil zum Halten und Fixieren des Verschiebungs-Detektionselementes und einen an dem Detektionselement-Halteteil angeordneten Stab. Das Detektionselement-Halteteil umfasst mehrere Flanschteile, die jeweils im Querschnitt senkrecht zu einer Achse des Stabes die Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen. Das Verschiebungs-Detektionselement ist an den Seiten der Flanschteile so angebracht, dass dieses unter einem vorbestimmten Winkel relativ zu der Achse des Stabes geneigt ist. Anschließend wird ein Kontakterfassungssignal auf der Grundlage eines Signals, das von dem Verschiebungs-Detektionselement ausgegeben wird, erzeugt. Wenn daher eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auf den Stab mittels der Kontaktkugel einwirkt, wird die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungs-Detektionselements übertragen und die Empfindlichkeit des Verschiebungs-Detektionselements wird verbessert. Wenn im Gegensatz dazu eine gemessene Kraft in der Biegerichtung auf den Stab mittels der Kontaktkugel einwirkt, wird die gemessene Kraft entlang im Wesentlichen der Längsrichtung des Verschiebungs-Detektionselements übertragen, und somit ist die Empfindlichkeit des Verschiebungs-Detektionselements verbessert.

**[0086]** Ferner kann ein Kontakterfassungssignal, sowohl wenn eine gemessene Kraft in der Biegerichtung auf den Stab einwirkt, als auch wenn eine gemessene Kraft in der Torsionsrichtung auftritt, entsprechend der Schaltungsanordnung erzeugt werden, die die Differenzverstärkungsschaltung jeweils

zum Berechnen der Differenz zwischen den von den sich gegenüberliegenden (Vorderseite und Rückseite) Verschiebungs-Detektionselementen ausgegebenen Signale, die Additionsschaltung zum Berechnen der Summe der von allen Verschiebungs-Detektionselementen ausgegebenen Signalen, und die Kontaktsignal-Erfassungsschaltung zum Erzeugen eines Erfassungssignals aus den von den Differenzverstärkerschaltungen erzeugten Kontaktsignalen und dem von der Additionsschaltung erzeugten Kontaktsignal umfasst. Somit kann die Schaltungsanordnung gemeinsam verwendbar ausgeführt werden und der Aufbau der Berührungssignalsonde kann vereinfacht werden.

### Patentansprüche

1. Berührungssignalsonde mit:  
 einem Taststift mit einem Kontaktelement an einem Ende zur Kontaktierung eines Messobjekts; und mehreren an dem Taststift angebrachten Verschiebungs-Detektionselementen zum Detektieren des in Kontaktkommens des Kontaktelements und des Messobjekts, so dass ein Kontakterfassungssignal auf der Grundlage eines von den Verschiebungs-detektionselementen ausgegebenen Signals erzeugt ist,  
 wobei der Taststift ein Detektionselement-Halteteil zum Halten und Fixieren der Verschiebungs-Detektionselemente und einen an dem Detektionselement-Halteteil angeordneten Stab aufweist, wobei das Detektionselement-Halteteil mehrere Flanschteile, die jeweils einen Querschnitt senkrecht zu einer Längsachse des Stabes in Form eines regelmäßigen Vielecks aufweisen, umfasst, und wobei die Verschiebungs-Detektionselemente zumindest an zwei Seiten der Flanschteile derart befestigt sind, dass diese unter einem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Längsachse des Stabes geneigt sind,  
 wobei die Berührungssignalsonde konfiguriert ist folgendes zu erzeugen:  
 ein Signal, das einer Biegeverzerrungskomponente, die auf die Achse des Taststifts wirkt, entspricht und ein Signal, das einer longitudinalen Verzerrungskomponente, die in einer axialen Richtung des Taststifts wirkt, entspricht durch Berechnen der Summe, Differenz und quadratischen Summe der Signale, die von den Verschiebungs-Detektionselementen ausgegeben werden,  
 ein erstes Kontaktsignal von dem Signal, das der Biegeverzerrungskomponente entspricht,  
 ein zweites Kontaktsignal von dem Signal, das der longitudinalen Verzerrungskomponente entspricht,  
 wobei man das Kontakterfassungssignal basierend auf einem logischen Addieren des ersten Kontaktsignals und einem Signal erhält, das man aus einer Verzögerung des zweiten Kontaktsignals erhält.

2. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 1, wobei der Querschnitt jedes der Flanschteile senk-

recht zu der Längsachse des Stabes quadratisch ist und wobei insgesamt vier Verschiebungs-Detektionselemente an den Seiten der Flanschteile so angeordnet sind, dass die Verschiebungs-Detektionselemente unter 90 Grad zueinander beabstandet sind.

3. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 1, wobei jedes der Verschiebungs-Detektionselemente eine Ebene aufweist, die wie ein Parallelogramm geformt ist.

4. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 1, wobei das Verschiebungs-Detektionselement ein piezoelektrisches Element ist.

5. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 4, wobei das Verschiebungs-Detektionselement an dem Taststift derart angebracht ist, dass eine das Verschiebungs-Detektionselement bildende Elektrode unter dem vorbestimmten Winkel  $\alpha$  relativ zu der Längsachse des Stabs geneigt ist.

6. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 1, wobei das Verschiebungs-Detektionselement ein Verformungsmesselement ist.

7. Die Berührungssignalsonde nach Anspruch 1, wobei der vorbestimmte Winkel  $\alpha$  im Bereich von  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  liegt.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

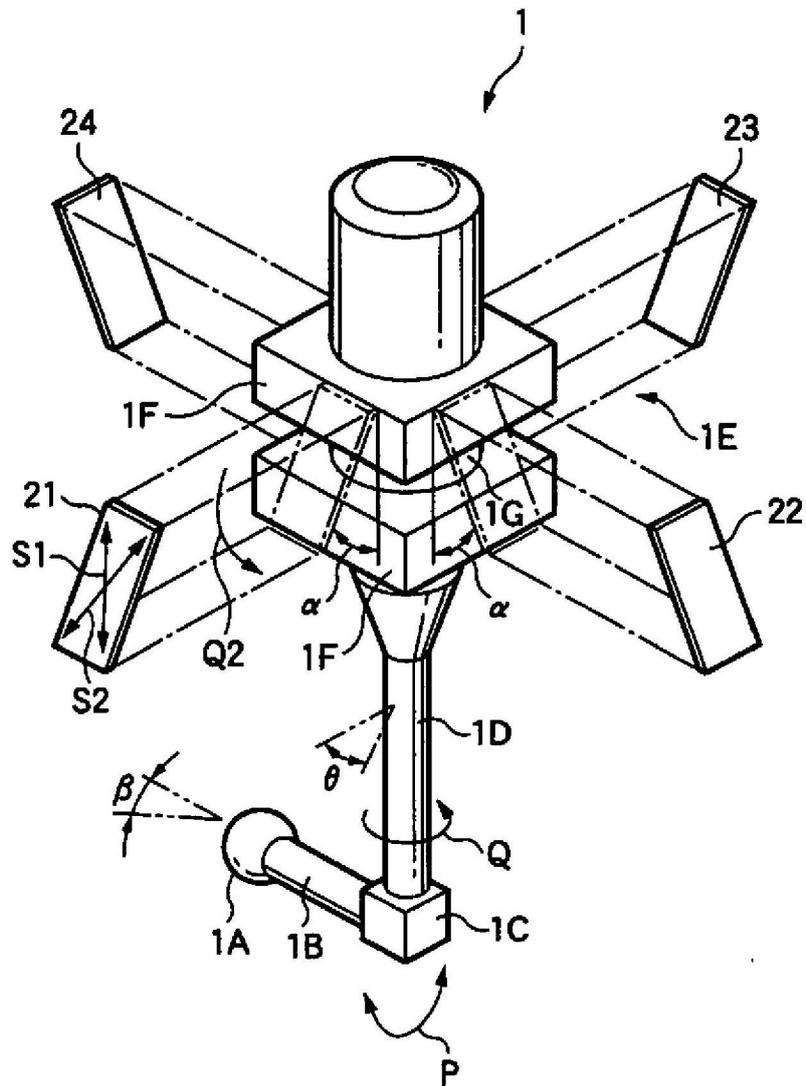


FIG.2

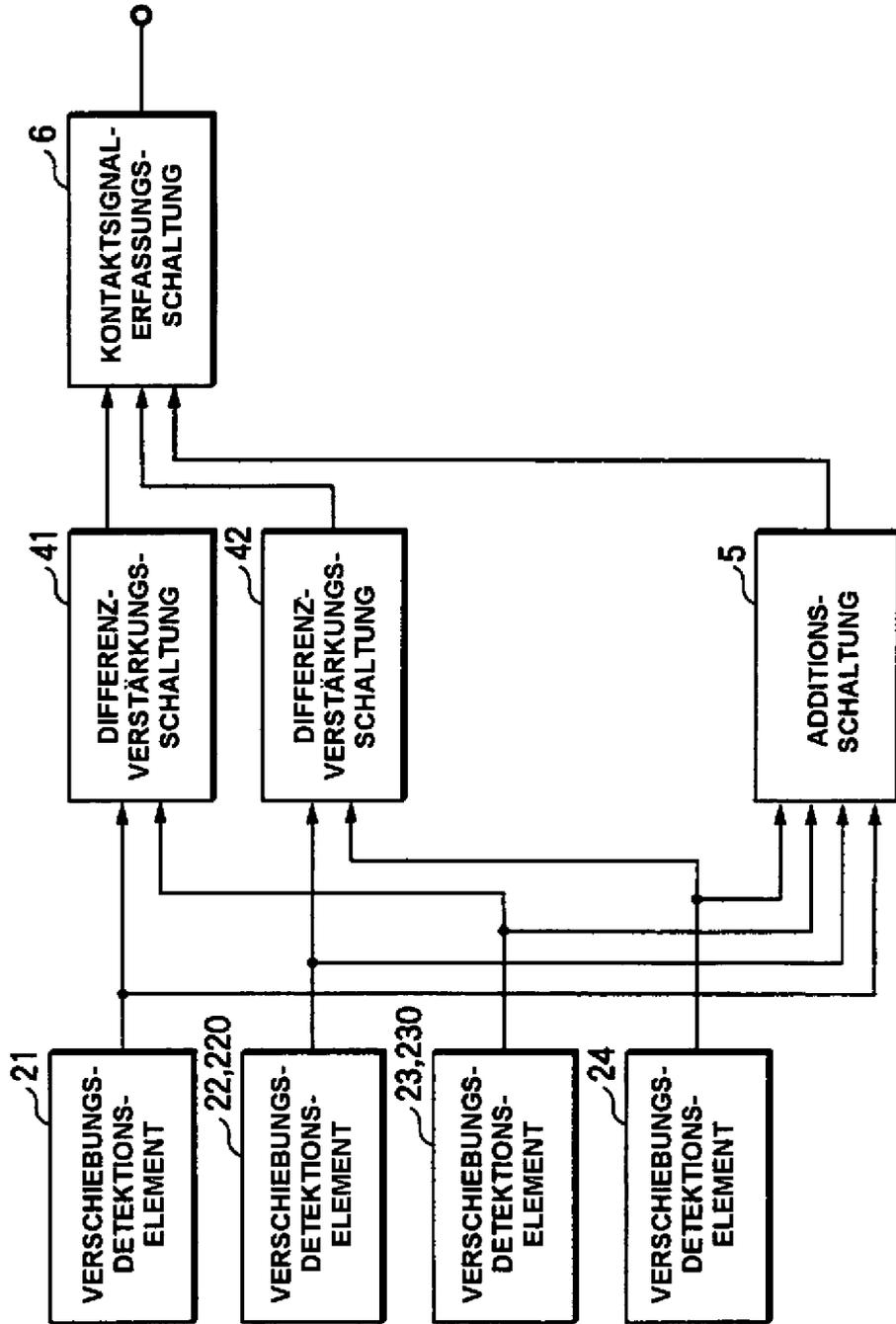


FIG.3

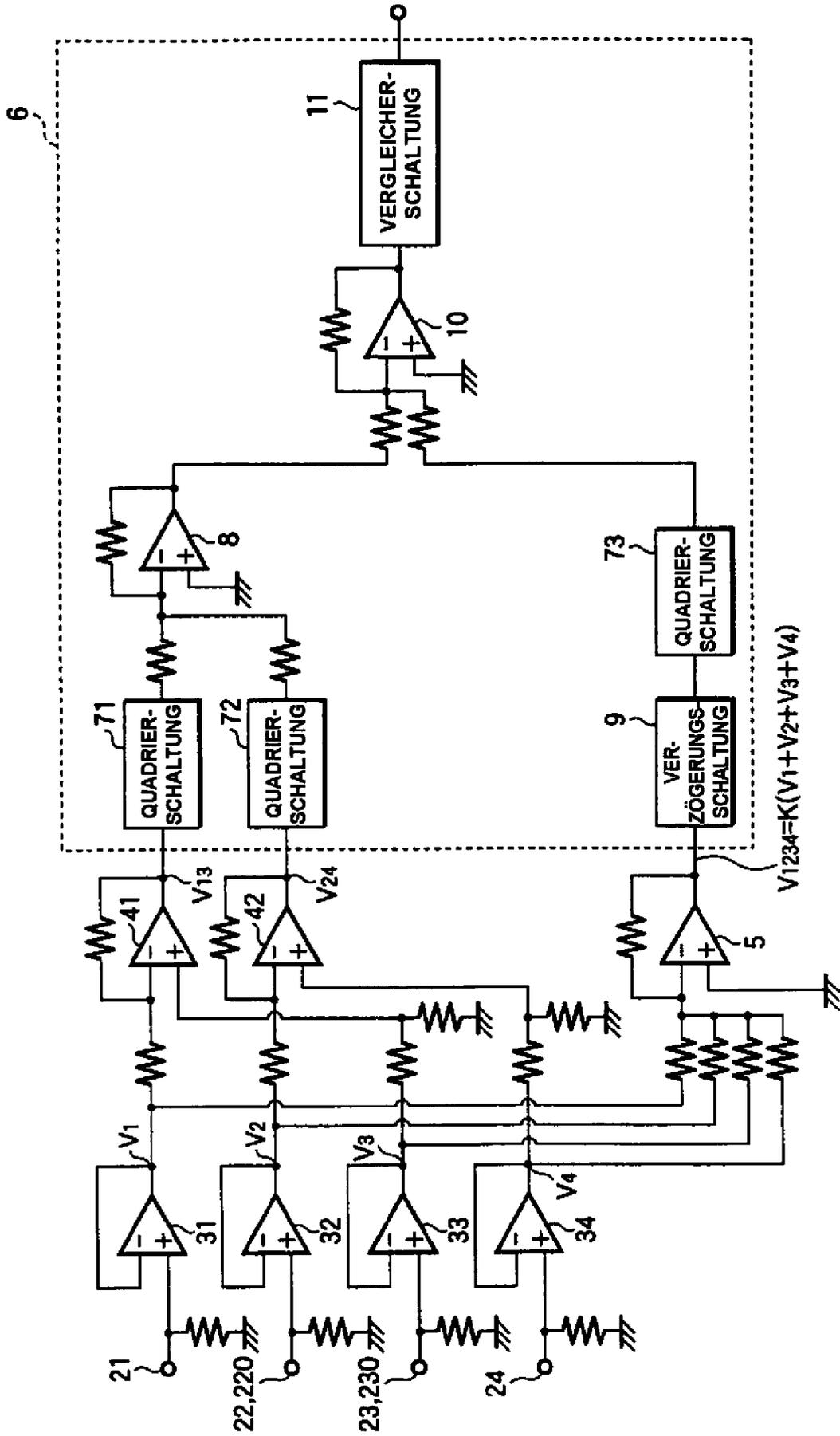


FIG.4A

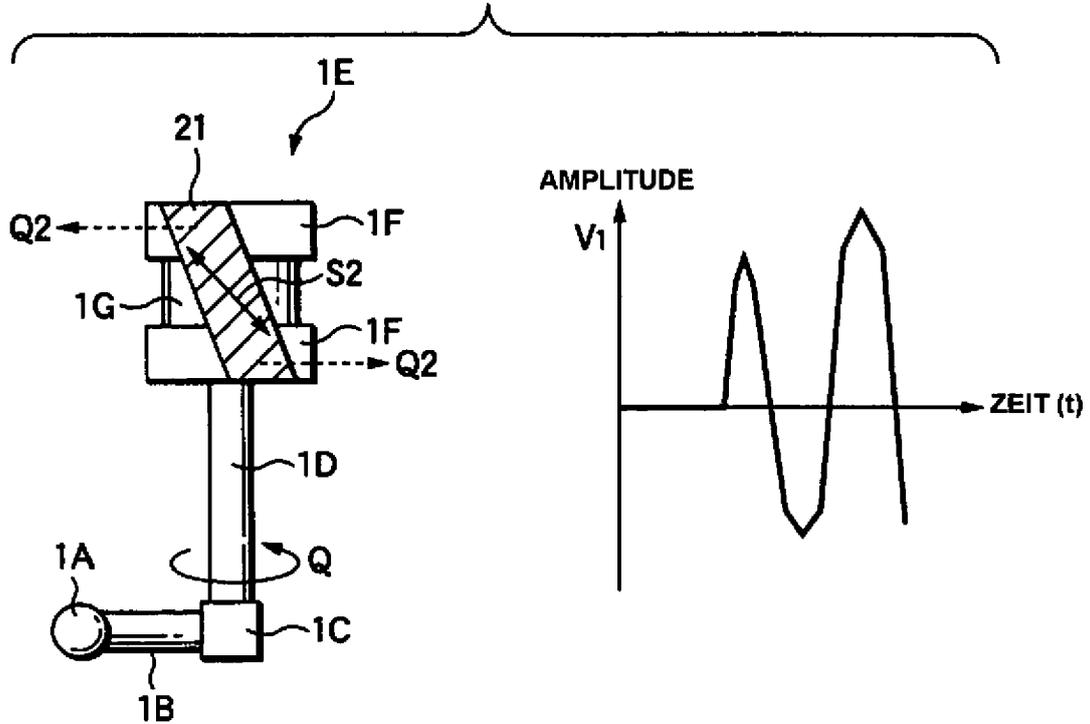


FIG.4B

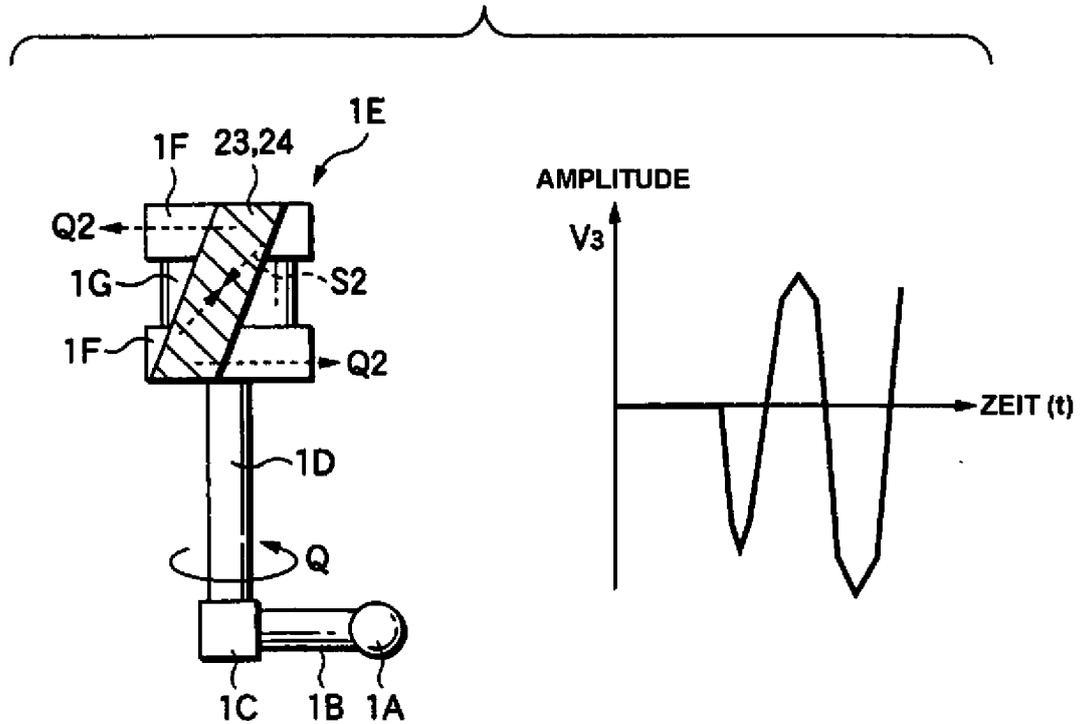


FIG.5

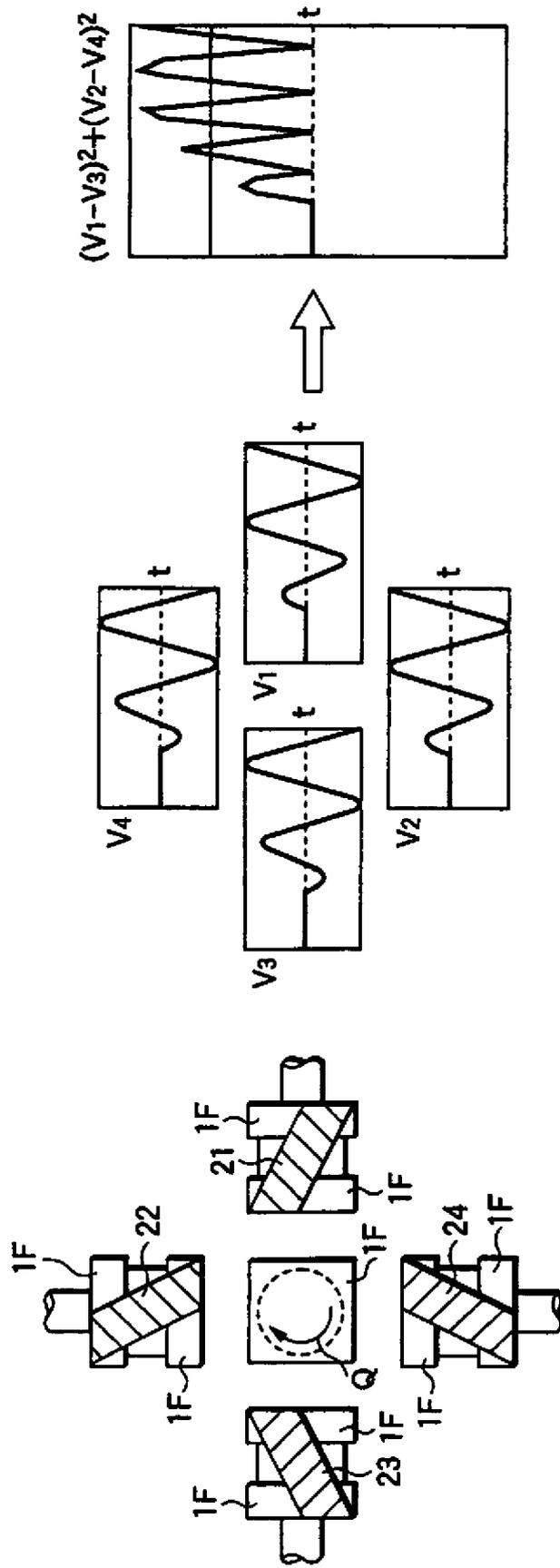


FIG.6

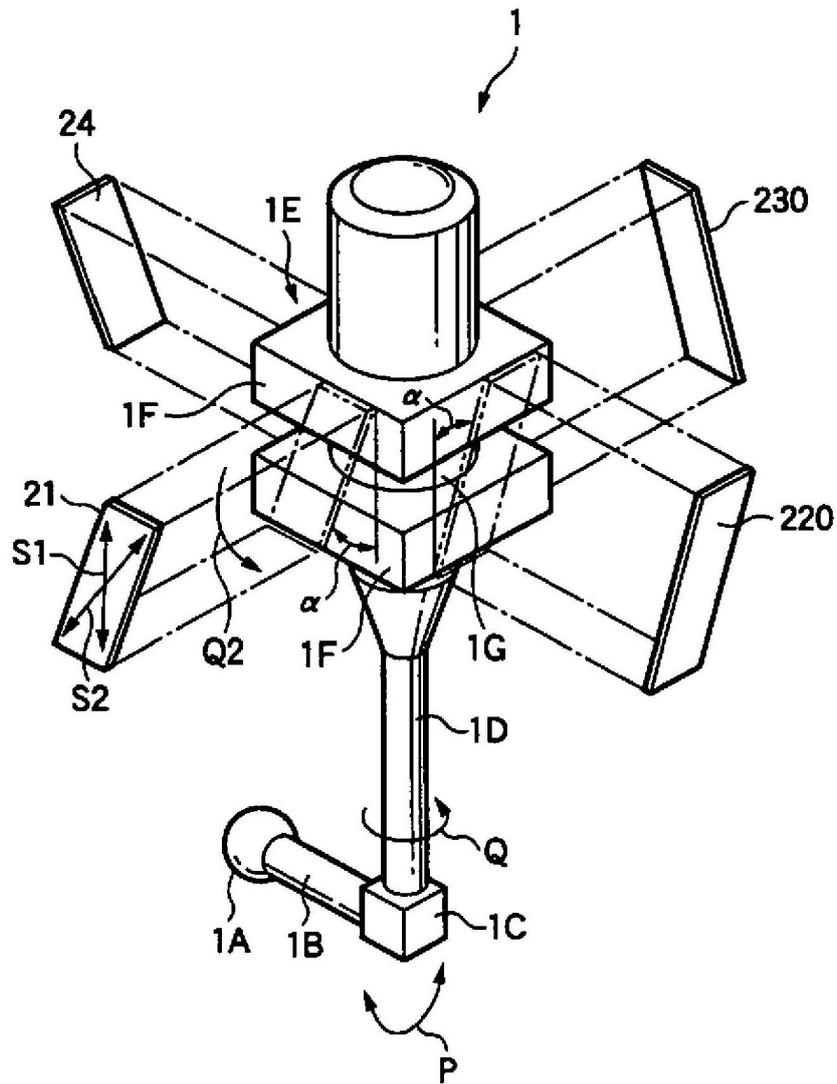


FIG.7

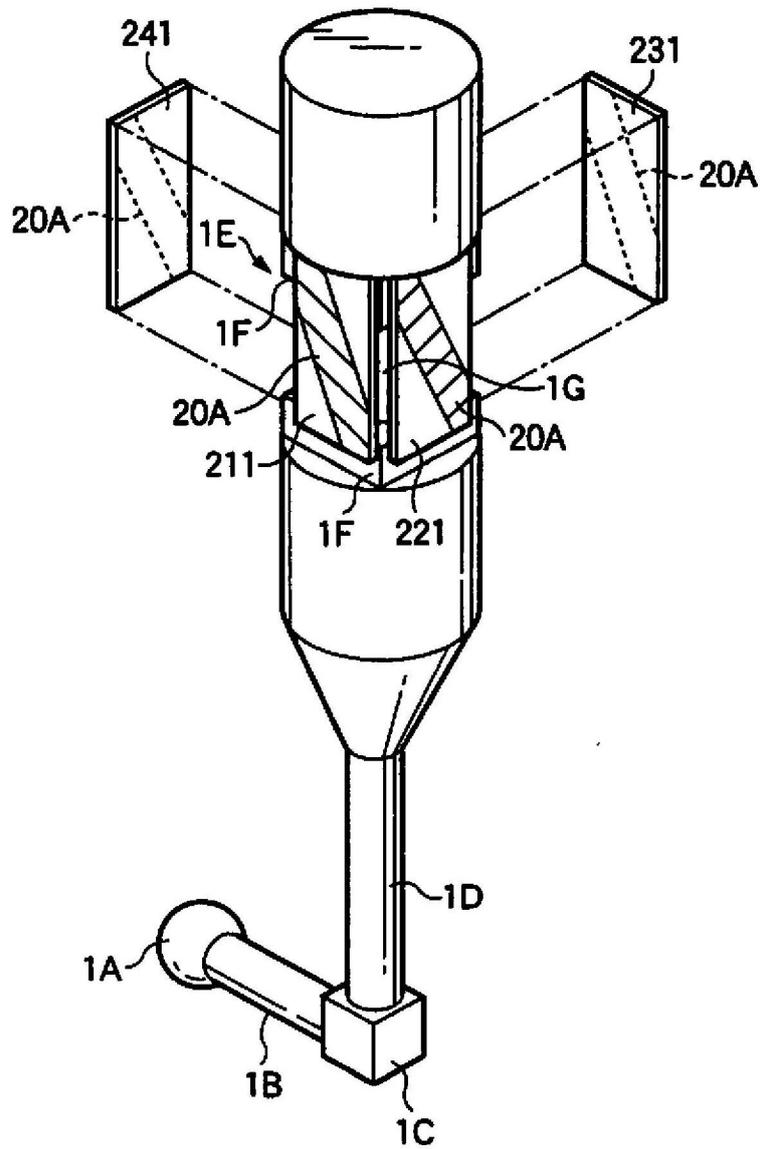


FIG.8

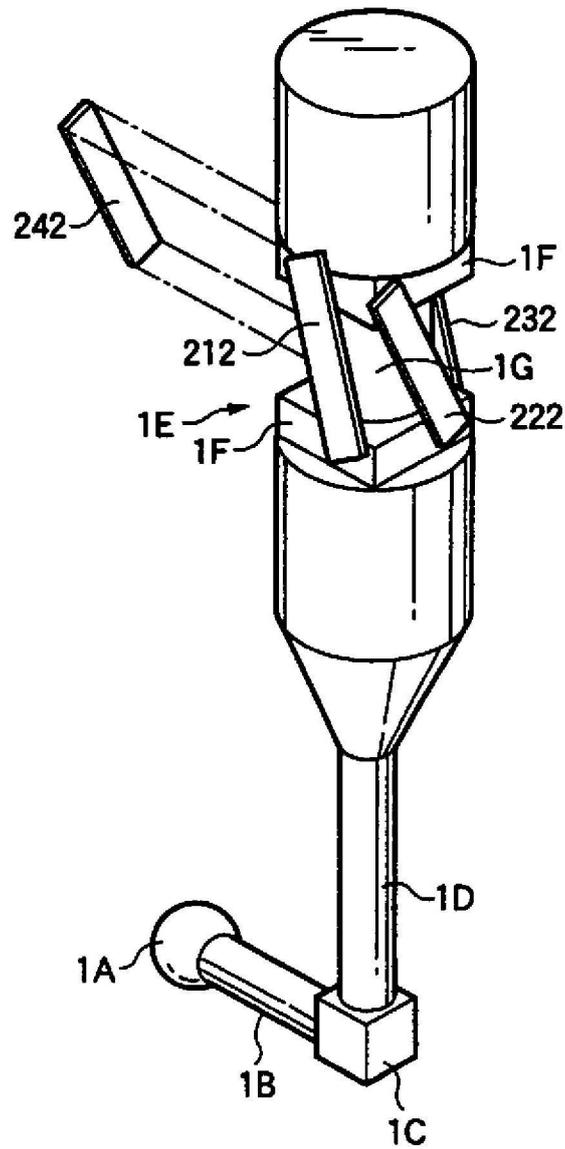


FIG.9

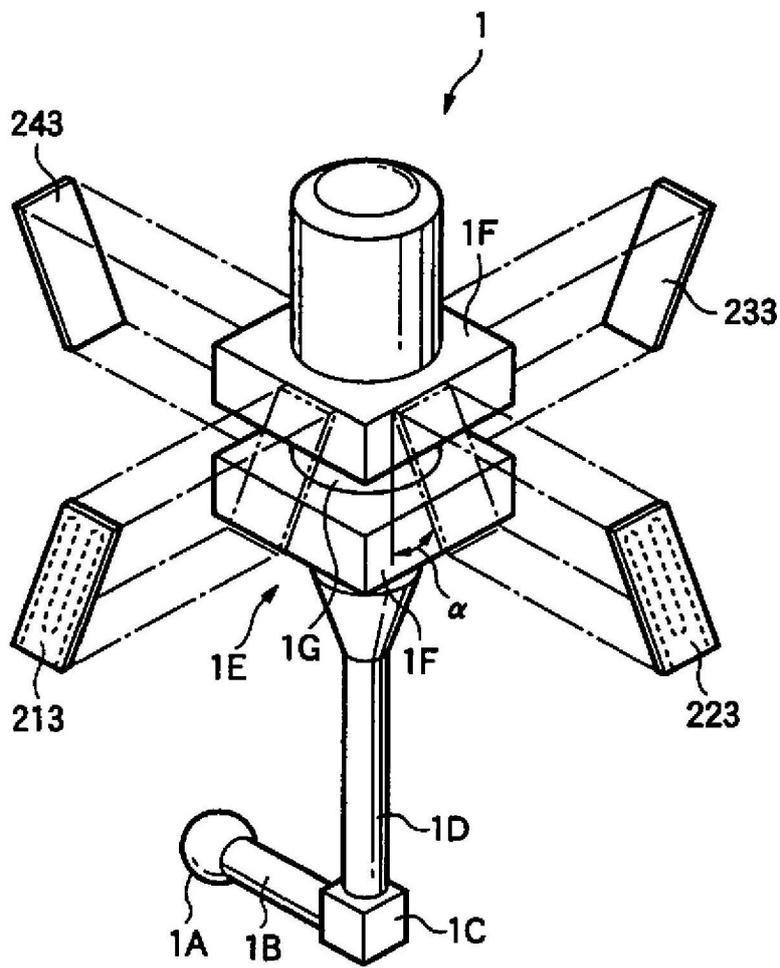


FIG.10

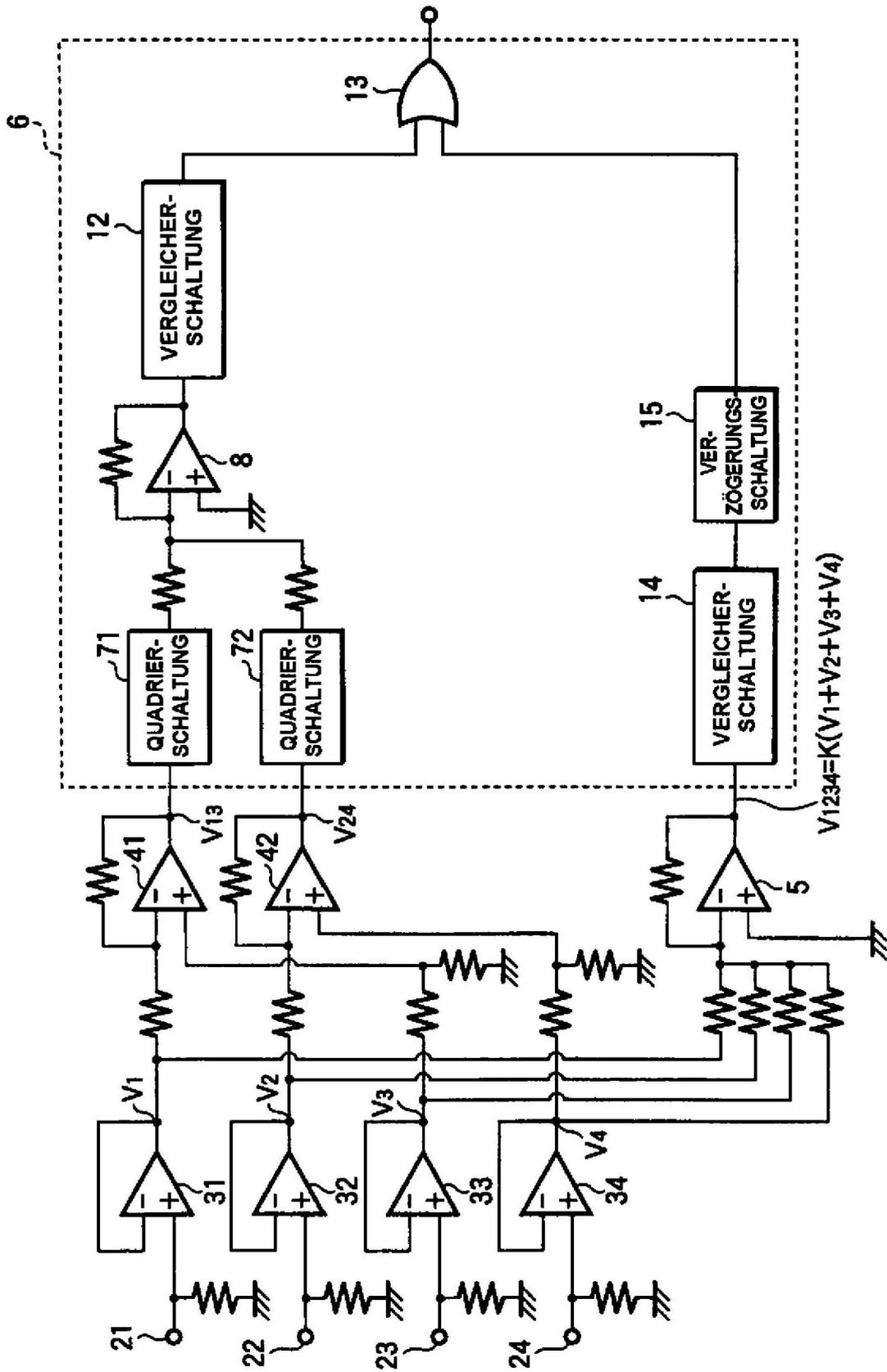


FIG.11A

Stand der Technik

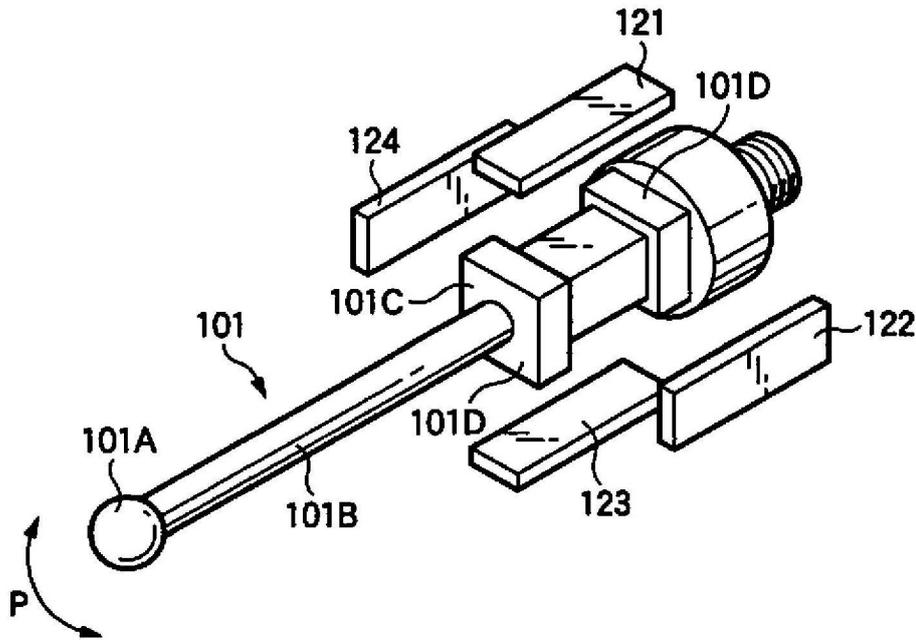


FIG.11B

Stand der Technik

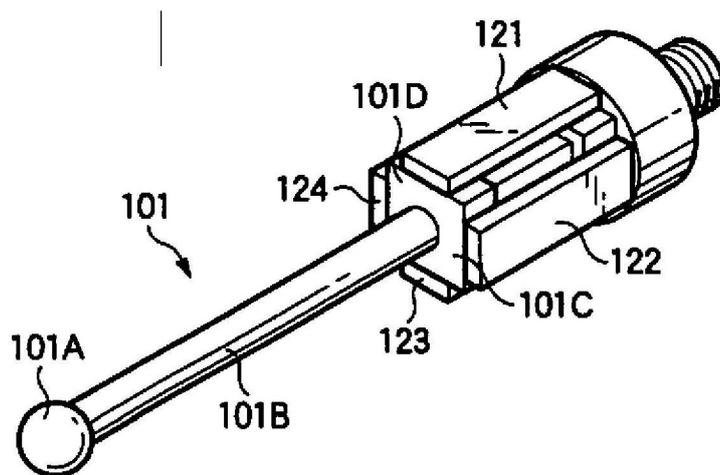


FIG.12

Stand der Technik

