



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 290 783 A7

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 B 11/26

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD G 01 B / 233 852 4 (22) 05.10.81 (45) 13.06.91

- (71) siehe (73)
(72) Reinhold, Bernd, Dipl.-Phys.; Seifert, Helmut; Voelckel, Hermann, Dipl.-Phys., DE
(73) Jenoptik Carl Zeiss JENA GmbH, Carl-Zeiss-Straße 1, O - 6900 Jena, DE
(74) Jenoptik Carl Zeiss JENA GmbH, Werk Entwicklung wissenschaftlich-technischer Ausrüstungen Göschwitz, Patentbüro, Göschwitzer Straße 33, O - 6905 Jena, DE

(54) Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte

(57) Die Erfindung betrifft eine Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte um die Verbindungsachse. Die Meßanordnung ist auf dem Gebiet der Raumfahrttechnik, beispielsweise bei Kopplungs- und Navigationssystemen, anwendbar. Ziel der Erfindung ist die Messung des Verdrehungswinkels von freibeweglichen Objekten mit einer hohen Genauigkeit und ohne mechanische Kopplung. Dabei besteht die Aufgabe darin, eine Lösungsmöglichkeit zur Messung der Verdrehung ohne Fixierung der Objekte in einer Bewegungsrichtung zu finden. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß auf den Objekten eine optische Sendeeinrichtung zur Projektion einer Strichstruktur auf zwei basisbildende Elemente und eine Empfangseinrichtung vorhanden sind. Aus der Positionsänderung der Strichstruktur auf den basisbildenden Elementen kann auf den Verdrehungswinkel geschlossen werden. Die basisbildenden Elemente können von im definierten Abstand zueinander befindlichen optoelektronischen Empfängerzeilen, beispielsweise CCD-Zeilensensoren oder von Tripelspiegeln gebildet werden. Fig. 2

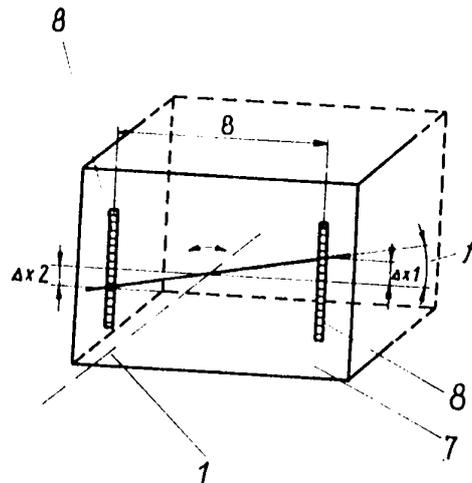


Fig. 2

Erfindungsanspruch:

1. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte mit einer Meßbasis, einer Sende-Empfangseinrichtung, deren Sendeebene in bezug auf die Meßbasis definiert ist und einer Auswerteeinheit, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine optische Sende-Empfangseinrichtung an den freibeweglichen Objekten angeordnet ist, wobei die Empfangseinrichtung positionsempfindliche Sensoren enthält und daß an einem der freibeweglichen Objekte im optischen Strahlengang zwischen der optischen Sendeeinrichtung und der optischen Empfangseinrichtung eine strukturerzeugende und abbildende Einheit sowie zwei im definierten Abstand zueinander befindliche basisbildende Elemente angeordnet sind.
2. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die strukturerzeugende und abbildende Einheit einen Linienstrukturerzeuger darstellt, der der optischen Sendeeinrichtung nachgeordnet ist.
3. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Linienstrukturerzeuger aus einer Linienmaske und einer Fokussiereinrichtung besteht.
4. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die strukturerzeugende und abbildende Einheit eine Zylinderlinse darstellt, die der optischen Sendeeinrichtung nachgeordnet ist.
5. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 3 oder 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die optische Sendeeinrichtung und die strukturerzeugende und abbildende Einheit an einem ersten freibeweglichen Objekt und die zwei basisbildenden Elemente sowie die optische Empfangseinrichtung an einem zweiten freibeweglichen Objekt angeordnet sind, wobei die basisbildenden Elemente zwei im definierten Abstand, parallel zueinander angeordnete opto-elektronische Empfängerzeilen darstellen, die auf die optische Sendeeinrichtung ausgerichtet sind und deren Verbindungslinie im Tiefenschärfebereich der Abbildung der Linienstruktur der Sendeeinrichtung liegt.
6. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die optische Sendeeinrichtung und die basisbildenden Elemente und die optische Empfangseinrichtung an einem ersten freibeweglichen Objekt angeordnet sind, wobei die basisbildenden Elemente zwei im definierten Abstand, parallel zueinander angeordnete opto-elektronische Empfängerzeilen darstellen, die auf die optische Sendeeinrichtung ausgerichtet sind und deren Verbindungslinie im Tiefenschärfebereich der Abbildung der Linienstruktur liegt, und daß die strukturerzeugende und abbildende optische Einheit an einem zweiten freibeweglichen Objekt angeordnet ist.
7. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 6, **gekennzeichnet dadurch**, daß das strukturerzeugende und abbildende Element von einer Zylinderlinse und einem totalreflektierenden 90°-Prisma gebildet wird.
8. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 3 oder 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die optische Sende- und Empfangseinrichtung an einem ersten freibeweglichen Objekt und die basisbildenden Elemente an einem zweiten freibeweglichen Objekt angeordnet sind, wobei die basisbildenden Elemente von zwei im definierten Abstand zueinander befindlichen Tripelspiegeln gebildet werden.
9. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 8, **gekennzeichnet dadurch**, daß der optischen Empfangseinrichtung eine auf die Tripelspiegel ausgerichtete, senkrecht zur Verbindungslinie der Tripelspiegel verlaufende opto-elektronische Empfängerzeile zugeordnet ist.
10. Meßanordnung für den Verdrehungswinkel nach Punkt 1, 5, 6 und 8, **gekennzeichnet dadurch**, daß die opto-elektronischen Empfängerzeilen von CCD-Zeilensensoren gebildet werden.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine optische Meßanordnung für die Verdrehung um die Verbindungsachse freibeweglicher Objekte. Die Anordnung kann überall dort vorteilhaft angewendet werden, wo die gegenseitige Verdrehung von freibeweglichen Objekten in einem kleinen Winkelbereich ohne mechanische Kopplung dieser Objekte mit hoher Genauigkeit gemessen werden soll. Die Meßanordnung ist besonders in der Raumfahrttechnik zur Komplettierung eines Drei-Koordinaten-Meßsystems und in Kopplungs- bzw. Navigationssystemen anwendbar.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Jede Messung der Verdrehung von zwei Objekten gegeneinander benötigt eine entsprechende Meßbasis der gegenüber die Verdrehung festgestellt werden kann. Diese Basis für die Messung der Verdrehung ist in bekannter Weise auf einem Objekt angeordnet, welches stets an ein „festes“ Koordinatensystem gebunden ist.

Das Meßprinzip besteht nun darin, mittels der Bestimmung des Winkels, den eine Markierung auf dem Objekt gegenüber der Meßbasis einnimmt, auf die Größe der Verdrehung zu schließen.

Anordnungen, wie sie in der amerikanischen Patentschrift US-PS 3932039 und in der sowjetischen Schrift SU-PS 587325 offenbart werden, arbeiten beispielsweise unter Ausnutzung der Polarisationssebene von elektromagnetischen Wellen nach dem Polarimeterprinzip. Dabei sendet eine Strahlungsquelle ein elektromagnetisches Strahlenbündel aus, dessen Polarisationssebene definiert ist. Aus der Veränderung dieser Polarisationssebene bei einer Verdrehung der Objekte kann auf den Winkel der Verdrehung, beispielsweise durch Nachstellen eines Analysators, geschlossen werden.

Hierbei wird zwar eine relativ hohe Genauigkeit erzielt, jedoch ist die technische Realisierung schwierig bzw. die Durchführung der Messung unmöglich, wenn beispielsweise die zwischen den Meßstellen befindliche Strecke nicht abgeschlossen von Staub, Luftschlieren o. ä. gehalten werden kann. Die Notwendigkeit zum Nachstellen des Analysators erfordert zusätzlichen apparativen Aufwand.

Eine große Zahl von weiteren Lösungsvorschlägen verwendet bei der Messung der Verdrehung in verschiedenen Variationen, speziell gestaltete geometrische Figuren o. ä., wobei die Verdrehung der Objekte in eine Intensitätsänderung von Licht umgewandelt wird.

Solche Anordnungen offenbaren z. B. die Schriften US-PS 3241430, US-PS 3957377, SU-PS 574606, SU-PS 444053 und DE-AS 1274357. So werden beispielsweise in der letztgenannten Schrift durch eine geometrische Figur erzeugte Lichtzeiger über Fotoelemente geführt.

Aus der Veränderung des entstehenden Fotostromes kann der Verdrehungswinkel des zu messenden Objektes errechnet werden. Nachteil all dieser vorgeschlagenen Methoden ist die geringe Genauigkeit und die außerordentliche Abhängigkeit der Meßwerte von der Stabilität der Lichtquelle bzw. der Strahlführung.

Alle vorgeschlagenen Lösungsmethoden sind nicht für eine Messung des Verdrehungswinkels bei freibeweglichen Objekten geeignet. Bestimmte Bewegungsmöglichkeiten der zu messenden Objekte sind ausgeschlossen bzw. führen zu mehr oder weniger großen Meßfehlern.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist eine Messung des Verdrehungswinkels von freibeweglichen, mechanisch nicht miteinander gekoppelter Objekte im Weltraum mit einer hohen Genauigkeit. Dabei soll Wert auf eine ökonomisch günstige und technologisch einfach realisierbare Lösung gelegt werden.

Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur Messung der Verdrehung von freibeweglichen Objekten zu finden, bei der eine feste Anbindung der Objekte an ein äußeres Koordinatensystem nicht erforderlich ist. Die Aufgabe wird bei einer Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte mit einer Meßbasis, einer Sendempfangseinrichtung, deren Sendeebene in Bezug auf die Meßbasis definiert ist und einer Auswerteeinheit dadurch gelöst, daß eine optische Sendempfangseinrichtung an den freibeweglichen Objekten angeordnet ist, wobei die Empfangseinrichtung positionsempfindliche Sensoren enthält, und daß an einem der freibeweglichen Objekte im optischen Strahlengang zwischen der optischen Sendeeinrichtung und der optischen Empfangseinrichtung eine struktur erzeugende und abbildende Einheit sowie zwei im definierten Abstand zueinander befindliche basisbildende Elemente angeordnet sind. Die struktur erzeugende und abbildende Einheit kann von einem Linienstrukturzeuger gebildet werden, welcher im einfachsten Fall aus einer Linienmaske und einer Fokussiereinrichtung besteht.

Weiterhin ist es möglich, als struktur erzeugende und abbildende Einheit eine Zylinderlinse zu wählen, die der optischen Sendeeinrichtung nachgeordnet ist. Die Elemente der Meßanordnung können auf unterschiedliche Art und Weise auf die freibeweglichen Objekte verteilt angeordnet werden:

Bei einer ersten Variante befindet sich die optische Sendeeinrichtung und die struktur erzeugende und abbildende Einheit an einem ersten freibeweglichen Objekt. Die basisbildenden Elemente und die optische Empfangseinrichtung werden an einem zweiten freibeweglichen Objekt angebracht. Die basisbildenden Elemente werden von zwei in definierten Abstand, parallel zueinander befindlichen optoelektronischen Empfängerzellen gebildet. Diese sind auf die optische Sendeeinrichtung ausgerichtet und ihre Verbindungslinie liegt im Tiefenschärfenbereich der Abbildung der Linienstruktur vom Linienstrukturzeuger.

Bei einer zweiten Variante befinden sich die optische Sendeeinrichtung und die optische Empfangseinrichtung sowie die basisbildenden Elemente am ersten freibeweglichen Objekt. Das zweite freibewegliche Objekt trägt die struktur erzeugende und abbildende Einheit, welche von einer Zylinderlinse und einem totalreflektierenden 90°-Prisma gebildet wird. Die optischen Elemente sind analog der oben geschilderten Variante aufgebaut und angeordnet.

In einer dritten Variante befinden sich die optische Sendeeinrichtung und die struktur erzeugende und abbildende Einheit an dem ersten freibeweglichen Objekt.

Die basisbildenden Elemente sind am zweiten freibeweglichen Objekt r angeordnet. Als basisbildende Elemente werden in diesem Fall zwei im definierten Abstand zueinander befindliche Tripelspiegel verwendet. Der Empfangseinrichtung ist eine auf die Tripelspiegel ausgerichtete, senkrecht zur Verbindungslinie der Tripelspiegel verlaufende optoelektronische Empfängerzelle zugeordnet. Als opto-elektronische Empfängerzelle können in allen Fällen CCD-Zellensensoren verwendet werden. Die erfindungsgemäße Anordnung erlaubt eine hochgenaue automatische und digitale Messung des Verdrehungswinkels freibeweglicher Objekte mit einer hohen Genauigkeit, ohne mechanische Kopplung und unabhängig von einem äußeren Bezugssystem. Die Messung ist weiterhin unabhängig von der Entfernung und der Art des Mediums zwischen den Meßstellen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll an Hand von Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1: die schematische Darstellung einer Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte,
 Fig. 2: die basisbildenden Elemente der Meßanordnung an einem der freibeweglichen Objekte,
 Fig. 3: die schematische Darstellung einer weiteren Meßanordnung und
 Fig. 4: die schematische Darstellung einer dritten Variante der Meßanordnung.

Gemäß Fig. 1 enthält eine Meßanordnung für den Verdrehungswinkel freibeweglicher Objekte um die Verbindungsachse 1 eine optische Sende- 2 und Empfangseinrichtung 3. Im Strahlengang 9 zwischen der optischen Sendeinrichtung 2 und der optischen Empfangseinrichtung 3 befindet sich eine strukturerzeugende und abbildende Einheit 5. Diese kann in unterschiedlicher Form realisiert werden. Es ist möglich hierfür eine Zylinderlinse oder auch einen Linienstrukturerzeuger, beispielsweise aus einer Linienmaske und einer Fokussiereinrichtung bestehend, zu verwenden.

Die optische Empfangseinrichtung 3 besitzt positionsempfindliche Sensoren, welche gleichzeitig die basisbildenden Elemente 8 darstellen. Ihre Ausgestaltung wird weiter unten noch näher erläutert werden.

Die optische Sendeinrichtung 2, die optische Empfangseinrichtung 3 sowie die strukturerzeugende und abbildende Einheit 5 sind fest mit den Objekten verbunden, wobei in dieser Ausführungsform die optische Sendeinrichtung 2 und gleichfalls das strukturerzeugende und abbildende Element 5 am ersten freibeweglichen Objekt 6 angeordnet sind. Die optische Empfangseinrichtung 3 sowie die basisbildenden Elemente 8 befinden sich an einem zweiten freibeweglichen Objekt 7. Die basisbildenden Elemente 8 werden von zwei im definierten Abstand B, parallel zueinander angeordneten, opto-elektronischen Empfängerzellen gebildet. Diese sind auf die optische Sendeinrichtung 2 ausgerichtet und ihre Verbindungslinie befindet sich im Tiefenschärfbereich der Abbildung der von dem strukturerzeugenden und abbildenden Element 5 projizierten Linienstruktur.

Diese optischen Elemente 8 bilden die zur Bestimmung der Verdrehung notwendige geometrische Basis B.

Der optischen Empfangseinrichtung 3 ist eine elektronische Auswerteeinheit 10 nachgeordnet. Die von der Strahlungsquelle 4 der optischen Sendeinrichtung 2 ausgesandte elektromagnetische Strahlung bildet nach dem Durchgang durch die strukturerzeugende und abbildende Einheit 5 eine gleichmäßige Strichstruktur auf die basisbildenden Elemente 8 ab. Diese Abbildung wird von der Empfängereinrichtung 3 registriert. Bei einer Drehung des Objektes 7 um die gemeinsame Verbindungsachse 1 ändert sich die Position der projizierten Strichstruktur auf den basisbildenden Elementen 8 um den Betrag Δx_1 bzw. Δx_2 . Dieser Sachverhalt ist in Fig. 2 dargestellt.

Auch diese Positionsveränderung wird von der Empfangseinrichtung 3 registriert. Nach Weitergabe dieser Positionsinformationen bzw. deren Veränderung kann mit Hilfe einer der Empfangseinrichtung 3 nachgeordneten Auswerteeinheit 10 der Verdrehungswinkel φ nach der Formel

$$\varphi = \arctan \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{B}$$

bestimmt werden.

In einigen speziellen Fällen kann es sich als notwendig erweisen, alle zur Bestimmung der Verdrehung notwendigen Elemente an einem einzigen Objekt gemeinsam anzuordnen. Eine Ausführungsform, die diesem Erfordernis entspricht, ist in Fig. 3 schematisch dargestellt.

Die optische Sendeinrichtung 2, die optische Empfangseinrichtung 3, deren positionsempfindliche Sensoren die basisbildenden Elemente 8 bilden, und die Auswerteeinheit 10 sind gemeinsam an dem ersten freibeweglichen Objekt 6 angeordnet.

Das zweite Objekt 7 enthält nur die strukturerzeugende und abbildende Einheit 5 beispielsweise bestehend aus einer Zylinderlinse und einem totalreflektierenden 90°-Prisma.

Die Ausgestaltung der optischen Elemente 8 erfolgt analog der in Fig. 1 geschilderten Bedingungen.

Im Unterschied zu dem bei Fig. 1 beschriebenen Meßvorgang sendet die Strahlungsquelle 4 der optischen Sendeinrichtung 2 ein divergentes elektromagnetisches Strahlenbündel in Richtung des zweiten Objektes 7. Dieses wird in Folge des Aufbaus der strukturerzeugenden und abbildenden Einheit 5 von dieser in Form einer gleichmäßigen Strichstruktur in Richtung der Empfangseinrichtung 3 reflektiert.

Bei einer entsprechenden Verdrehung des zweiten Objektes 7 um die Verbindungsachse 1 kann der Verdrehungswinkel analog zu den in Fig. 2 geschilderten Sachverhalten ermittelt werden.

Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ergibt sich gemäß Fig. 4. Die Sendeinrichtung 2 mit Lichtquelle 4, die strukturerzeugende und abbildende Einheit 5 sowie die Empfangseinrichtung 3 befinden sich am ersten Objekt 6. Der Empfangseinrichtung 3 ist wiederum die Auswerteeinheit 10 nachgeordnet. Als basisbildende Elemente 8 werden in diesem Fall nun nicht die Positionssensoren der Empfangseinrichtung 3 selbst verwendet, sondern zwei im definierten Abstand B voneinander befindliche Tripelspiegel 11. Diese Tripelspiegel 11 sind auf dem zweiten Objekt 7 im Strahlengang 9

der Sendeeinrichtung 2 angeordnet. Die Tripelspiegel 11 reflektieren die von der optischen Sendeeinrichtung 2 und der strukturerzeugenden und abbildenden Einheit 5 ausgestrahlte Strichstruktur zurück in Richtung der Empfangseinrichtung 3. Auf Grund der Reflexionseigenschaften der Tripelspiegel 11 wird bei einer Verdrehung des zweiten Objektes 7 eine doppelte Strichstruktur auf den Sensoren der Empfangseinrichtung 3 abgebildet.

Aus diesem Grunde ist es ausreichend die positionsempfindlichen Sensoren nur in einer Zeile senkrecht zur Verbindungslinie der Tripelspiegel 11 verlaufend und auf diese ausgerichtet anzuordnen. Aus dem Abstand $\Delta x'$ der Strichstrukturen kann von der nachgeordneten Auswerteeinheit 10 der Verdrehungswinkel φ nach der Formel

$$\varphi = \arctan \frac{\Delta x'}{2B}$$

ermittelt werden.

Bei allen drei in den Figuren 1, 3 und 4 beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung ist es möglich, die positionsempfindlichen Sensor-n der optischen Empfangseinrichtung 3 als CCD-Zeilensensoren auszubilden.

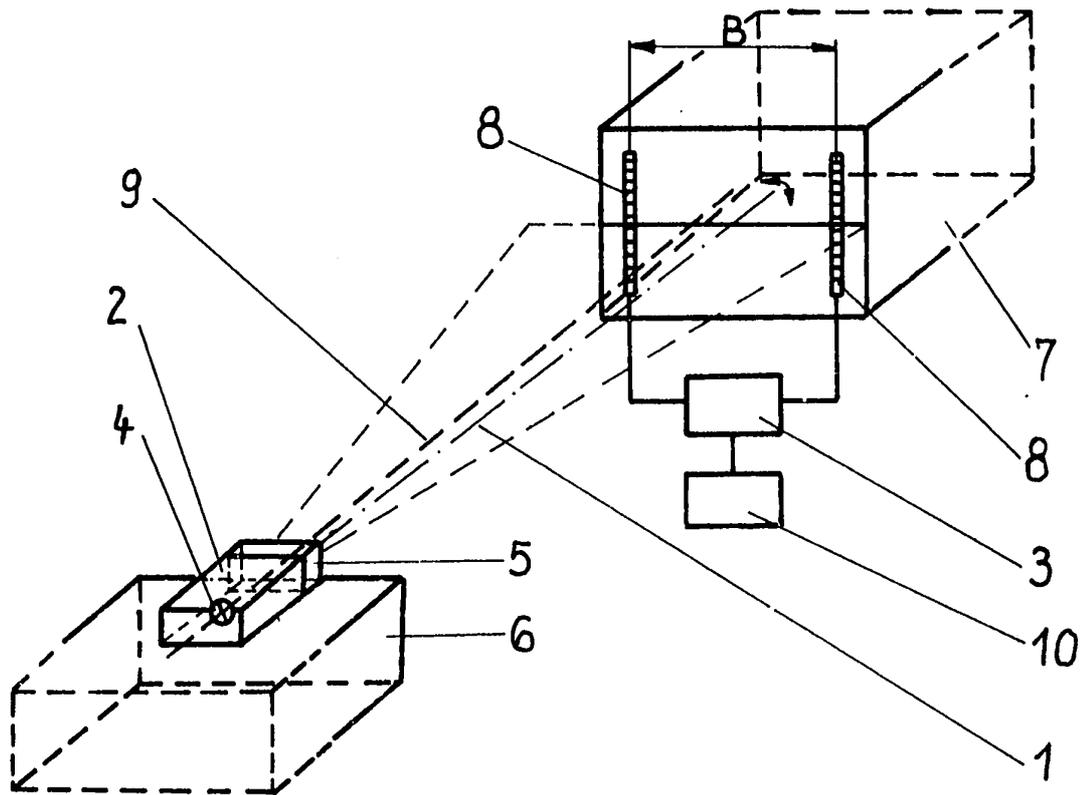


Fig. 1

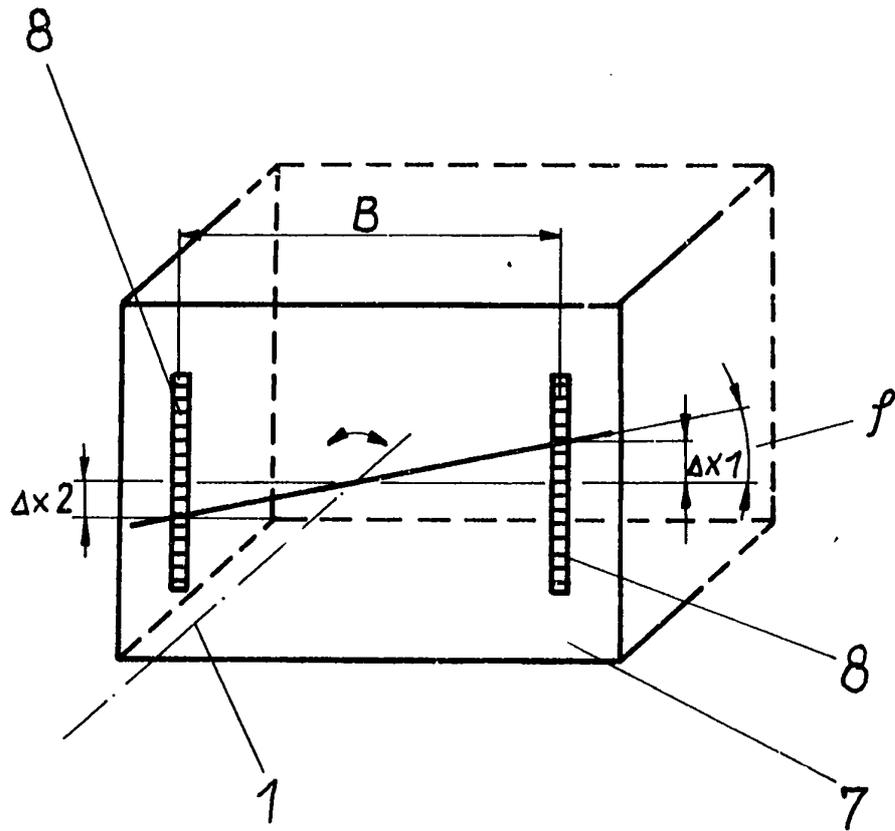


Fig. 2

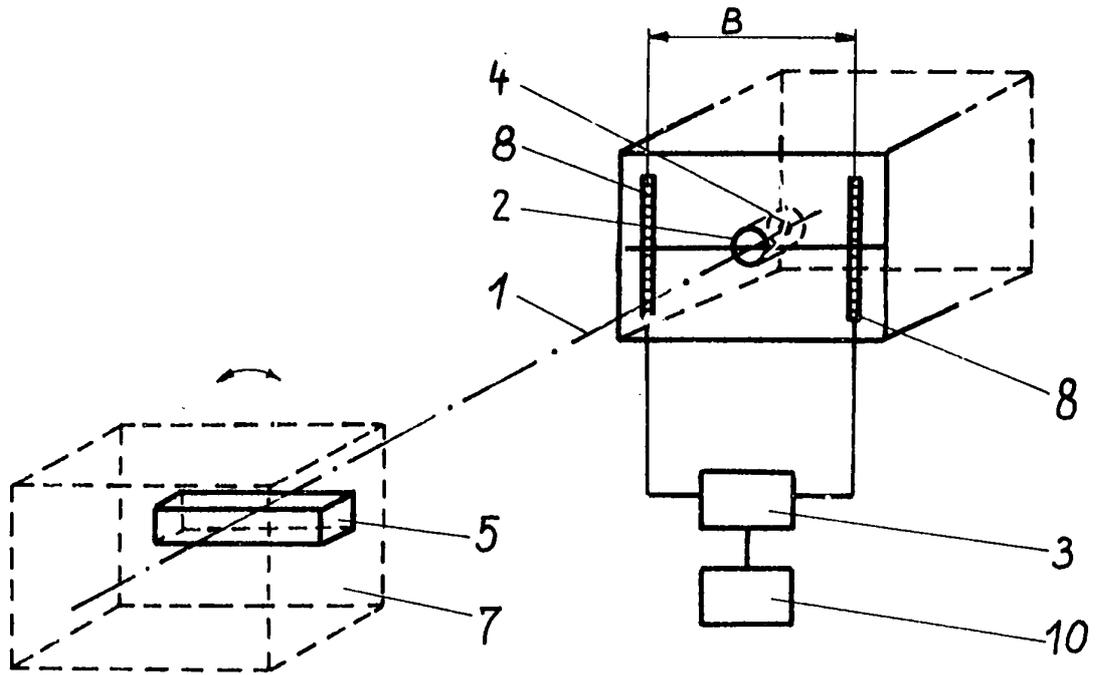


Fig. 3

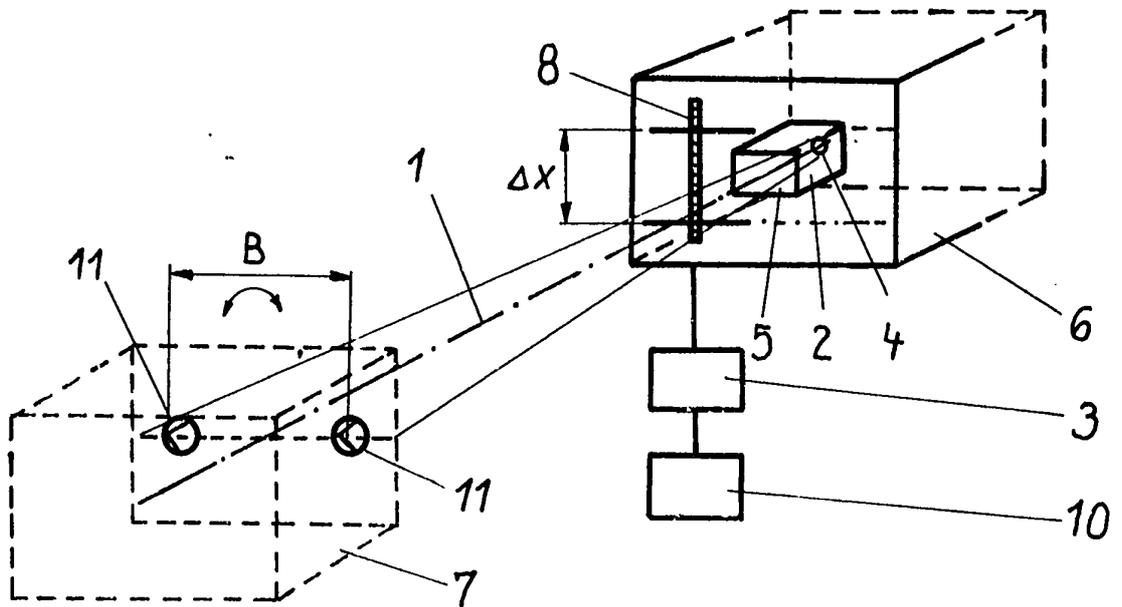


Fig. 4