



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 692 638 A5

51 Int. Cl.⁷: G 02 B 026/08
H 04 B 010/105

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02972/97

22 Anmeldungsdatum: 24.12.1997

30 Priorität: 15.01.1997 DE 197 01 155.1

24 Patent erteilt: 30.08.2002

45 Patentschrift
veröffentlicht: 30.08.2002

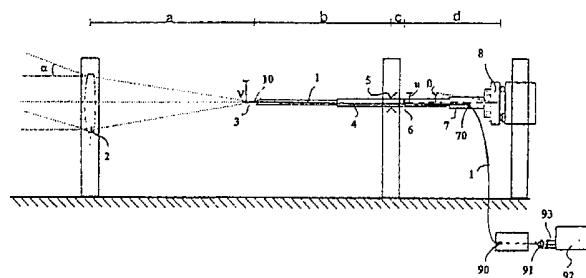
73 Inhaber:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
53111 Bonn (DE)

72 Erfinder:
Dirk Giggenbach, Rosenstrasse 2,
82205 Gilching (DE)

74 Vertreter:
Ritscher & Seifert Patentanwälte VSP,
Kreuzstrasse 82, 8032 Zürich (CH)

54 Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls.

57 Bei einer Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls ist ein mit einer Strahlungsquelle verbundener Lichtleiter (1) mittels eines lateral bewegbaren Hebelmechanismus (4 bis 7) versetzbar. Hierbei wird vorzugsweise Laserlicht verwendet. Der damit beaufschlagte Lichtleiter (1) ist vorzugsweise eine Glasfaser. Ferner ist das dem freien Ende des Lichtleiters (1) abgewandte Ende des Hebelmechanismus mit einer steuerbaren Kippvorrichtung (8) verbunden.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Eine solche Vorrichtung ist aus DE 3 716 896 A1 bekannt.

In optischen Freistrah-Übertragungssystemen, wie sie in Zukunft beispielsweise in der Inter-Satelliten-Kommunikation eingesetzt werden, werden hohe Anforderungen an die Zielgenauigkeit der als «Antennen» eingesetzten Teleskope gestellt.

Ein Problem besteht jedoch darin, einen Laserstrahl ununterbrochen auf das Partnerterminal zu richten und dabei die Vibrationen auf einer Satellitenplattform (oder bei terrestrischer Übertragung den Strahlversatz auf Grund der Brechungsindex-Schwankungen der Luft) auszugleichen. Umgekehrt muss ebenso die Ausrichtung des Empfangsteleskops auf den Sender geregelt werden.

Auf einem Kommunikationssatelliten verhält sich das Leistungsdichtespektrum ($S(f)$ in μrad^2) der auszugleichenden gaussverteilten Winkelstörungen einer Achse, das so genannte mechanische Rauschen, nach einem Modell der ESA nach folgender Formel:

$$S(f) = \frac{160 \frac{\mu\text{rad}^2}{\text{Hz}}}{1 + \left(\frac{f}{1\text{Hz}} \right)^2}$$

wobei mit f eine Frequenz in Hz bezeichnet ist.

Hieraus ergibt sich, dass für ein Strahlkorrektursystem eine Regelbandbreite von null bis zu einigen hundert Hertz wünschenswert ist. Die Rauschleistungsdichte nimmt oberhalb einem Hertz mit 20 dB pro Dekade ab. So ist beispielsweise bekannt, dass bei einer 25 mm grossen Teleskop-Apertur die Anteile der Rauschleistungsdichte oberhalb von 160 Hz bei Verwendung eines PI-Reglers zu einer Standardabweichung des Restfehlers von etwa einem Zwanzigstel des Strahldivergenzwinkels führen. Dieser Restfehler während einer bestehenden Kommunikationsverbindung wird als akzeptabel erachtet.

Daneben sind noch langsamere Korrekturbewegungen mit grösserer Amplitude (in der Grössenordnung von einigen Millirad) nötig, um einen Offset der Grobpositionierung und der Relativbewegung der beiden Satelliten auszugleichen. Die Grobpositionierung zur Abdeckung des gesamten Sichtfeldes wiederum wird von einer übergeordneten Mechanik, beispielsweise in Form eines Periskops oder Gimbal, übernommen.

Die Strahlkorrekturbewegungen sind symmetrisch sowohl im Sender als auch im Empfänger nötig, da an die Ausrichtung der Empfängeroptik prinzipiell ähnliche Anforderungen wie an die Zielgenauigkeit des Senders gestellt werden.

Bisher wurden verschiedene – teils rein mechanische, teils auf elektromagnetischen Effekten beruhende – Verfahren eingesetzt. Beispielsweise verkippen mehrere Piezokristalle durch ihre Längenänderung eine Plattform, auf der ein oder mehrere Piezo-Kippspiegel montiert sind. Mit einer solchen Vorrichtung lassen sich hohe Stellkräfte und schnelle Auslenkungen erzielen; allerdings sind die erzielbaren Verkippwinkel nur auf wenige Millirad beschränkt. Mithilfe von durch elektrische Spulen bewegte Spiegel, so genannte Spulen-Kippspiegel, können je nach Bauart Verkippungen bis zu einigen Grad erreicht werden.

Die vorstehend verwendeten Gimbal-Mechaniken oder Periskope eignen sich nur für langsame Grobpositionierungen des Teleskops, da Grenzfrequenzen von ein paar Hertz kaum überschritten werden können; obendrein ist die absolute Stellgenauigkeit dieser mechanischen Vorrichtung zu gering. Da sich bei bestimmten Kristallen beim Anlegen von hochfrequenten Schwingungen an das Material deren Brechungsindex ändert, kann durch Ausnützen dieses akusto-optischen Effekts ein schräg einfallender Lichtstrahl abgelenkt werden. Ferner lässt sich der Brechungsindex bestimmter Kristalle für eine Polarisationsrichtung des durchtretenden Lichts durch Anlegen einer elektrischen Spannung beeinflussen, so dass dieser elektro-optische Effekt ebenfalls ausgenutzt werden kann.

Ferner ist ein so genannter elektrostatischer Fasermutator bekannt, bei welchem ein metallisch beschichtetes Faserende in einem veränderbaren elektrischen Feld schwebt. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung verbiegen sich ferner als Röhrchen geformte Piezokristalle, so genannte Piezo-Röhrchen, wodurch eine Faserspitze ausgelenkt werden kann.

Ferner ist auch die von Laserdruckern her bekannte Methode, bei welcher Polygonspiegel eingesetzt werden, zur Lösung der eingangs geschilderten Problematik nicht geeignet, da sich die Polygonspiegel schnell drehen und somit den Laserstrahl pro Umdrehung mehrmals unterbrechen. Derartige Unterbrechungen sind aus nahe liegenden Gründen bei Kommunikationsverbindungen unerwünscht.

Im Hinblick auf die eingangs geschilderte Problematik ergeben sich ferner Schwierigkeiten dadurch, dass ein verhältnismässig grosser Winkelbereich mit einer gleichzeitig geforderten hohen Stellgeschwindigkeit erreicht werden muss. Beim Ablenken eines Strahls über einen Spiegel ist die Möglichkeit, eine Winkelkorrektur vorzunehmen, auf das Doppelte des Spiegelauslenkwinkels beschränkt. Hierzu muss in

einem divergierenden Strahlengang, wie in Fig. 2 schematisch angedeutet, ein Kippspiegel nahe bei einer Linse, beispielsweise einer Kollimatorlinse, angeordnet sein, da der effektive Korrekturwinkel bei gleichem Spiegel-Kippwinkel mit dem Abstand der Linse von dem Kippspiegel abnimmt.

Da der von einem in Fig. 2 schematisch angedeuteten Fokussierungspunkt ausgehende Strahl bei Auftreffen auf den Spiegel bereits einen grossen Durchmesser hat, muss zwangsläufig der Spiegel entsprechend gross und schwer ausgeführt sein, wodurch wiederum die Resonanzfrequenz und damit die Geschwindigkeit des Regelkreises stark herabgesetzt wird. Ferner ist die dem Kippspiegel nachgeordnete Linse dem weiteren Strahlengang im Weg, weshalb der Spiegel unter einem bestimmten Winkel zu der Linse angeordnet werden muss. Dies wiederum hat zusätzliche Abbildungsfehler und obendrein eine ellipsenförmige Verbreiterung des Strahls zur Folge, weshalb wiederum ein grösserer Spiegel und damit ein Spiegel mit höherem Gewicht erforderlich ist.

Wird beispielsweise ein so genannter Piezo-Kipptisch eingesetzt, so ist dessen maximale Auslenkungsamplitude auf Grund des geringen Ausdehnungskoeffizienten der Piezokristalle begrenzt. (Die Ausdehnung beträgt bei maximaler Spannung (150 V) 0,13% der Kristalllänge.) Werden grössere Winkel gefordert, so müssen entsprechend längere Piezo-Kristallstäbe eingesetzt werden. Diese weisen dann wiederum eine proportional zu der Länge abnehmende Steifigkeit und eine höhere Masse auf, beides Faktoren, welche die Resonanzfrequenz verringern. Obendrein ergeben sich inakzeptable Baugrössen.

Mit Spulen betriebene Kippspiegel, die so genannten Spulen-Kippspiegel, ermöglichen grosse Winkel bis zu einigen Grad, dies jedoch nur über eine Kippachse, weswegen zum Abscannen eines Sichtkegels zwei dieser Komponenten notwendig sind. Daneben lassen sich mit Spulen erheblich geringere Kräfte erzeugen als mit Piezokristallen, was wiederum die Bandbreite des Systems drückt oder eine höhere elektrische Leistungsaufnahme erfordert. Um einen Auslenkwinkel statisch zu halten, müssen die Spulen ständig Strom führen; dies hat auf Grund des endlichen Spulenwiderstands wieder einen verhältnismässig grossen, elektrischen Leistungsverbrauch zur Folge.

Beim Stand der Technik ergeben sich daher zusammenfassend die folgenden Nachteile:

Die bisher bekannt gewordenen Ausführungen sind entweder zu langsam oder sie erzeugen störende Eigenresonanzen, insbesondere auf Grund des Verwendens von grossen Spiegeln. Andere der bekannten Ausführungen haben wegen des Einsatzes kleiner Spiegel, von Piezoröhrchen oder auf Grund des elektrooptischen Effekts einen zu geringen Dynamikbereich. Ferner haben einige Ausführungen eine untere Grenzfrequenz, sodass ein statischer Sichtwinkelfehler (Pointing-Offset) beispielsweise bei einem elektrostatischen Fasermutator nicht ausgeglichen werden kann. Auf Grund des akusto-optischen Effekts wird die Signalfrequenz beeinflusst und dadurch wird ein kohärentes Signal, wie es beim Überlagerungsempfang nötig ist, verzerrt.

Ferner sind die vorstehend geschilderten Methoden, bei welchen beispielsweise ein elektrooptischer Effekt auftritt, mit hohen optischen Verlusten verbunden. Auch sind häufig grosse und schwere Komponenten erforderlich, sodass diese Ausführungen für eine Anwendung im Weltraum auf Grund des dadurch bedingten hohen Gewichts im Grunde genommen von vorneherein ausscheiden. Neben einem oft grossen Energieaufwand ist auch ein hoher technischer Aufwand, beispielsweise bei einem akusto-optischen Modulator, erforderlich. Oder aber die Lösungen sind zu empfindlich, um zuverlässig in Satelliten eingesetzt werden zu können.

Generell muss bei einer Bewertung von Strahlablesystemen im Allgemeinen darauf geachtet werden, dass als Resonanzfrequenz eine erste deutliche Amplitudenresonanz angegeben wird. Nach Untersuchungen der Anmelderin hat sich jedoch gezeigt, dass viele dieser Strahlablesysteme schon bei viel niedrigeren Frequenzen, etwa bei einem Fünftel der Amplituden-Resonanzfrequenz, eine Phasennacheilung von über 180° aufweisen. Hierdurch wird jedoch die erreichbare Regelbandbreite deutlich herabgesetzt. Aus diesem Grund muss bei einer konsequenten Beurteilung einer Strahlregelmechanik in erster Linie der Phasengang berücksichtigt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls gemäss dem Anspruch 1 zu schaffen, welche einen grossen Dynamikbereich und einen hohen Resonanzfrequenzbereich aufweist. Gemäss der Erfindung ist diese Aufgabe durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 4.

Gemäss der Erfindung ist dies bei einer Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls dadurch erreicht, dass das dem freien Ende eines Lichtleiters abgewandte Ende eines Mechanismus mit einer steuerbaren Kippvorrichtung verbunden ist.

Gegenüber den eingangs beschriebenen und bisher bekannt gewordenen Verfahren weist die erfindungsgemässe Vorrichtung in vorteilhafter Weise besonders kleine Abmessungen, wenig Bauteile, eine robuste Mechanik und somit insgesamt ein geringes Gewicht auf. Dies sind Vorteile, die insbesondere bei einer Anwendung in der Raumfahrt von grosser Bedeutung sind.

Obendrein sind bei der erfindungsgemässen Vorrichtung keine zusätzlichen optischen Flächen erforderlich. Dadurch sind die bei den bekannten Ausführungen problematischen Spiegelflächen entfallen, die zu Verlusten und einer ungerichteten Steuerung eines Anteils des auftreffenden Lichts geführt haben. Ferner kann ein gestreuter Anteil in einer Sende-/Empfangeinheit (Transceiver) mit kombinierter Sende- und Empfangsoptik den Empfangsteil in beachtlicher Weise beeinflussen.

Gemäss einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung steht bei Verwenden einer Glasfaser zum Führen des Lichts eine grosse Anzahl fasergekoppelter Laser bzw. Detektoren zur Verfügung. Bei kohärentem Empfang ist dann auch noch eine Überlagerung in einem Faser-Kreuzkoppler möglich. Darüber hinaus sind bei der erfindungsgemässen Vorrichtung grosse statische Auslenkwinkel gegeben. Da ferner nur mechanische Standardkomponenten Verwendung finden, handelt es sich bei der erfindungsgemässen Lösung um eine ausgesprochen kostengünstige Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in einer schematisierten Darstellung eine bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls gemäss der Erfindung, und
Fig. 2 eine prinzipielle Darstellung einer herkömmlichen Anordnung zum Auslenken eines Lichtstrahls.

In Fig. 1 weist eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls eine Linse 2, vorzugsweise in Form einer Kollimatorlinse mit einer Brennweite a auf. Im Fokussierungspunkt 3 der Linse 2 ist schematisch ein freies Ende 10 eines Lichtleiters 1 in Form einer Glasfaser angedeutet. Das aus dem Glasfaserende austretende Licht divergiert auf Grund elementarer optischer Zusammenhänge unter einem genau bestimmbar Winkel; Durchmesser und Brennweite der Linse 2 sind so gewählt, dass diese gerade ausgeleuchtet wird. Der an das freie Ende 10 angrenzende Teil des Lichtleiters 1 ist mittels eines Halteteils 4, beispielsweise in Form eines sich zum Glasfaserende 10 verjüngenden Röhrchens, in einer durch Dreiecke angedeuteten, scharnierartigen Aufhängung 5 fixiert.

In Fig. 1 ist rechts von der scharnierartigen Aufhängung 5 ein nicht näher dargestelltes, durch einen Pfeil gekennzeichnetes, als Gelenk wirkendes Element 6 vorgesehen, durch welches der Lichtleiter 1 in Form der Glasfaser hindurchgeführt ist. Anschliessend an das Gelenkelement 6 ist der Lichtleiter 1 in einem zweiten Halteteil 7 aufgenommen, der ebenfalls wieder als ein Röhrchen ausgeführt sein kann. An einer Stelle 70 ist der Lichtleiter 1 in Form der Glasfaser aus dem röhrchenförmigen Halteteil 7 herausgeführt und über einen Datensignalmodulator 90 mit einer schematisiert und stark vergrössert wiedergegebenen Linse 91 verbunden. Der Linse 91 ist ein Sendelaser 92 zugeordnet, von dem in der durch Pfeile 93 angegebenen Richtung Lichtsignale auf die Linse 91 abgegeben werden.

Das in Fig. 1 rechte Ende des zweiten Halteteils 7 ist an einem ebenfalls nur schematisch angedeuteten Kipptisch 8 befestigt, welcher durch einen geeigneten Mechanismus gekippt werden kann. Vorzugsweise erfolgt ein Verkippen des durch einen eingangs angeführten Piezo-Kipptisch. Zum Verkippen kann jedoch auch ein Mechanismus mit Spulen oder auch mit anderen schnell wirkenden, entsprechend starken Aktuatoren eingesetzt werden.

In Fig. 1 ist ein lateraler Versatz der Strahlungsquelle, welche in der wiedergegebenen Ausführungsform durch das freie Ende 10 des Lichtleiters 1 gebildet ist, mit v bezeichnet. Ein Ausfallwinkel α auf der in Fig. 1 linken Seite der Linse 2 mit der Brennweite a ändert sich dann um $\alpha = \arctan(v/a)$. Bei den hier in Betracht gezogenen Anwendungen liegen die maximal auftretenden Winkel üblicherweise unterhalb einem Grad (1°), was 17 mrad entspricht. Der Ausfallwinkel α ist mit der Näherung $x = \arctan(x)$ für die hier betrachteten, kleinen Winkel, die üblicherweise unter einem Grad (1°) liegen, etwa proportional dem lateralen Versatz v .

Wie vorstehend ausgeführt, ist die Strahlungsquelle vorzugsweise das Ende 10 eines Lichtleiters 1 in Form einer Glasfaser, da solche Lichtleiter sehr dünn (etwa 0,25 mm) und leicht sind und damit auch schnell zu bewegen sind.

Wie in Fig. 1 oberhalb der schematischen Darstellung angegeben, ist der Abstand von dem freien Ende 10 des Lichtleiters 1 bis zu der durch Dreiecke gekennzeichneten, scharnierartigen Aufhängung 5 mit b bezeichnet, während der Abstand von der scharnierartigen Aufhängung 5 bis zu dem schematisch angedeuteten Gelenk 6 mit c bezeichnet ist. Schliesslich ist der Abstand von dem Gelenk 6 bis zu dem Ende des Kipptisches 8 mit d bezeichnet.

Auf Grund des Hebels zwischen dem Gelenk 6 und der scharnierartigen Aufhängung 5 wird ein Verkippen des ersten Halteteils 4, in Form beispielsweise eines Röhrchens, in welchem der Lichtleiter 1 verklebt ist, entsprechend verstärkt. In der nachstehenden Herleitung sind der an dem Kipptisch 8 erzielbare Kippwinkel mit β und der am Gelenk 7 erreichbare Versatz mit u bezeichnet.

Ein Verkippen des Kipptisches 8 wirkt sich auf den Ausfallwinkel α des Lichtstrahls aus der Linse 2 folgendermassen aus:

$$\tan(\beta) = \frac{u}{d} ; \quad v = \frac{u \cdot b}{c} ; \quad \tan(\alpha) = \frac{v}{a} . \quad \Rightarrow \quad \text{Übersetzungsverhältnis: } \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\beta)} = \frac{d \cdot b}{a \cdot c}$$

Für kleine Winkel kann der Tangens durch sein Argument in rad angenähert werden:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{d \cdot b}{a \cdot c}$$

5 Das durch die Hebelbewegung hervorgerufene Verkippen kann in beiden Winkelrichtungen, und zwar parallel und senkrecht zur Schnittebene der Fig. 1, ausgeführt werden.

Die maximal mögliche Auslenkung kann bei Verwenden beispielsweise des gleichen Piezo-Kipptisches durch Verändern der Längenverhältnisse, insbesondere durch Verkürzen des Abstandes c zwischen der Aufhängung 5 und dem Gelenk 6, eingestellt werden. Die Grösse a ist normalerweise durch die geforderte Abmessung der Linse 2 und durch die Divergenz des Strahls aus dem Lichtleiter 1 vorgegeben.

10 Um eine ungünstige Verteilung der Trägheitsmomente zu vermeiden, da dies die Phasenverschiebung negativ beeinflussen würde, sollten der Abstand d und insbesondere der Abstand b nicht zu gross gewählt werden. Prinzipiell sind hinsichtlich des einstellbaren Hebelverhältnisses keine Grenzen gesetzt. Zu beachten ist jedoch, dass bezüglich der scharnierartigen Aufhängung 5 und des Gelenks 6 eine stabile, spielfreie Mechanik eingesetzt werden muss.

Wie vorstehend bereits ausgeführt, kann statt des Lichtleiterendes auch eine weitere Linse an dem Ende des Hebels in etwa im Fokussierungspunkt 3 vorgesehen werden. Ein von rechts kommender und durch die weitere Linse hindurchtretender freier paralleler Lichtstrahl wird dann durch diese Linse aufgeweitet, und zwar je nach Wahl der Brennweite, beispielsweise auch mit dem gleichen Divergenzwinkel wie das aus dem Glasfaserende 10 austretende Licht; der durch die weitere Linse aufgeweitete Lichtstrahl beleuchtet dann die Sendelinse 2 aus. Eine seitliche Bewegung der weiteren Linse (durch die aus den röhrenförmigen Halteteilen 4 und 7 gebildete Hebelmechanik) führt dann ebenfalls zu einem Winkelversatz des sich aufweitenden Lichtstrahls.

20 Um Gewicht einzusparen und um dadurch eine höhere Resonanzfrequenz zu erreichen, sollte die weitere, am linken Ende des Halteteils 4 vorgesehene weitere Linse klein ausgeführt sein; dadurch kann ein enger kollimierter Laserstrahl verwendet werden. Ferner können durch entsprechende Abstimmung der Brennweite der am linken Ende des Halteteils 4 vorgesehenen Linse sowie der eigentlichen Sendelinse 2 andere Hebelverhältnisse eingestellt werden. Entsprechende Mechanismen sind aus der Optik, beispielsweise aus der Auslegung und Bemessung von Fernrohren, bekannt. Eine derart gegenüber der Ausführungsform in Fig. 1 abgewandelte Vorrichtung ist beispielsweise für Anwendungen von Interesse, bei welchen keine fasergebundene Strahlung eingesetzt wird bzw. eine solche vermieden werden soll und statt dessen mit frei strahlenden Optiken gearbeitet wird.

30 In Fig. 1 ist ein einsatzfähiges Labormuster der Anmelderin wiedergegeben, welches von dieser als Transmitterstrahl-Regler in einem optischen Freistrah-Experiment eingesetzt wird. Hierbei besteht die durch die zwei Dreiecke angedeutete scharnierartige Aufhängung 5 aus einem Gummiring, und das Gelenk 6 ist durch einen kurzen Schrumpfschlauch gebildet.

Obwohl die bei dem Labormuster verwendeten Elemente wegen ihrer Elastizität die Resonanzfrequenz heruntersetzen und seitliche Abweichbewegungen hervorrufen, wurden dennoch mit dem Labormuster zufrieden stellende Ergebnisse erzielt. Durch Verwenden anderer Gelenkmechanismen kann davon ausgegangen werden, dass die Resonanzfrequenz noch beträchtlich erhöht werden kann. Der bei dem Labormuster als Aktuator verwendete Piezo-Kipptisch hat einen maximalen Kippwinkel von 2 mrad pro Achse bei einer angelegten Spannung von 150 V.

45 Die Piezotechnik ist bei dem Labormuster beispielsweise gegenüber Spulen bevorzugt worden, da eine besonders kleine Baugrösse möglich ist und bei einer statischen Auslenkung kein Leistungsbedarf vorliegt. Bei dem Labormuster wurde eine Hebelübersetzung von 1:5 erreicht und damit eine Auslenkung von 10 mrad erzielt.

50 In Abhängigkeit von optischen Systemparametern, wie beispielsweise Konvergenzwinkel und Qualität der Linse, treten bei grösseren Auslenkamplituden Abbildungsfehler, beispielsweise Aberrationen, auf Grund einer Dezentrierung auf; dadurch wird beispielsweise bei einem Sender die Aufweitung des Strahls im Fernfeld vergrössert. Bei den üblicherweise eingesetzten Teleskopausführungen für die Freiraum-Kommunikation, welche einen Winkel in der Grössenordnung von einigen Millirad aufweisen, sind diese jedoch unkritisch, und je nach Anwendungsfall können Aberrationen bis zu Winkeln von einigen Grad vernachlässigt werden.

55 Durch Umkehr des Strahlengangs kann das vorstehend beschriebene Prinzip auch in einem Empfänger eingesetzt werden. In diesem Fall würde dann das auf eine der Linse 2 in Fig. 1 entsprechende Linse auftreffende Licht in das Lichtleiter bzw. Glasfaserende eingekoppelt. Diese Möglichkeit ist insbesondere für einen optischen Überlagerungsempfang von besonderem Interesse, da das empfangene Licht auf einfache Weise in einem Faser-Kreuzkoppler mit Licht eines lokalen Oszillators gemischt werden kann.

60 Der mit der erfindungsgemässen Vorrichtung gewonnene Dynamikbereich kann auch nur zu einem Bruchteil ausgenutzt werden, wobei dann die hohen Spannungen für die piezoelektrischen Elemente herabgesetzt werden können. Dann können die gleichen Auslenkungsamplituden, wie sie mit den eingangs beschriebenen Piezo-Kippspiegeln erreicht worden sind, statt mit einer Spannung von 150 V (die

üblicherweise bei Niedervolt-Piezoelementen erforderlich ist), mit niedrigeren Spannungen erzielt werden, die auf Satelliten üblich sind.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum unterbrechungsfreien Auslenken eines Lichtstrahls, mit einem mit einer Strahlungsquelle verbundenen Lichtleiter (1), mindestens einer Linse (2) und einem lateral bewegbaren Mechanismus (4 bis 7), mittels welchem ein aus der Strahlungsquelle (1) austretender Lichtstrahl versetzbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass das dem freien Ende (10) des Lichtleiters (1) abgewandte Ende des Mechanismus (4 bis 7) mit einer steuerbaren Kippvorrichtung (8) verbunden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlungsquelle ein mit Laserlicht beaufschlagter Lichtleiter (1) in Form einer Glasfaser verwendet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlungsquelle ein paralleler frei strahlender Lichtstrahl vorgesehen ist, welcher durch eine an dem der Kippvorrichtung (8) abgewandten Ende des Mechanismus (4 bis 7) angebrachte und dadurch bewegbare Linse lateral versetzbar ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Mechanismus (4 bis 7) ein Übersetzungsverhältnis von

$$\frac{\tan(\alpha)}{\tan(\beta)} = \frac{d \cdot b}{a \cdot c}$$

aufweist, wobei

mit α der Austrittswinkel aus der Linse (2),

mit β der Kippwinkel der Kippvorrichtung (8), mit a die Linsenbrennweite,

mit b der Abstand vom freien Ende (10) des Lichtleiters (1) und einer Aufhängung (5),

mit c der Abstand von der Aufhängung (5) und einem Gelenk (6) eines Hebelmechanismus und

mit d der Abstand zwischen dem Gelenk (6) und der Kippvorrichtung (8) bezeichnet sind.

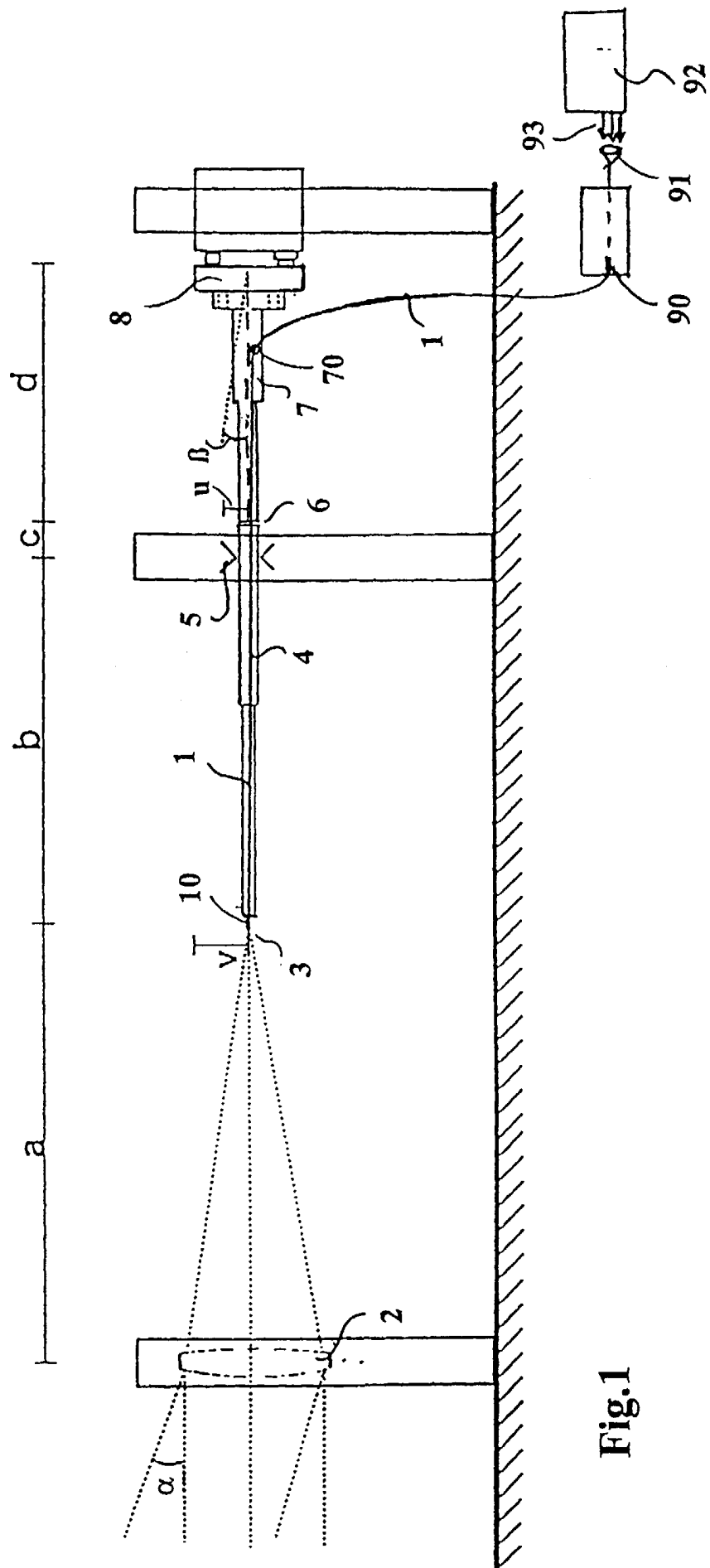


Fig.1

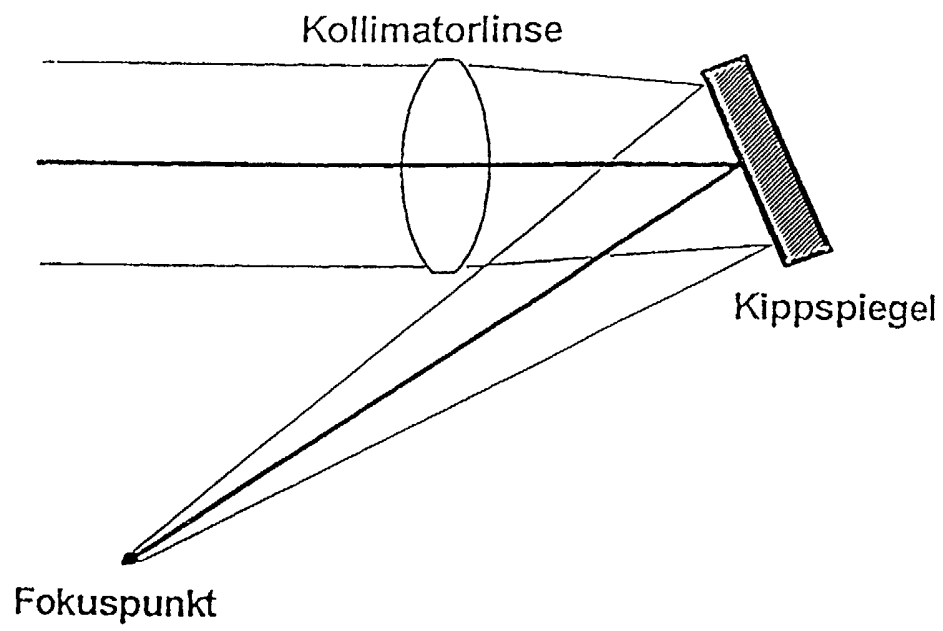


Fig.2