



19



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 695 028 A5

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

51 Int. Cl.⁷: G 01 C 003/06
G 01 V 008/10
G 01 S 007/481
G 01 S 017/42

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 02377/99

22 Anmeldungsdatum: 24.12.1999

24 Patent erteilt: 15.11.2005

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.11.2005

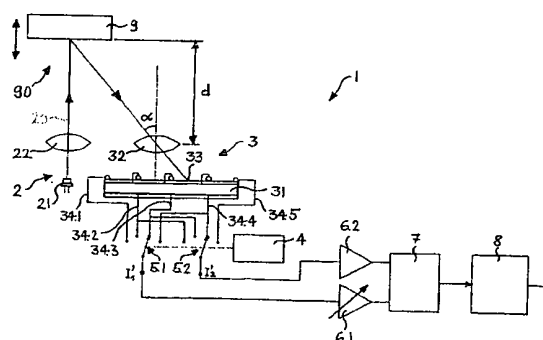
73 Inhaber:
HERA Rotterdam B.V., Max Euwelaan 61
3062 MA Rotterdam (NL)

72 Erfinder:
Daniel Müller, Wagenhauserstrasse 20
8260 Stein am Rhein (CH)

74 Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro, Postfach 768
8029 Zürich (CH)

54 Optoelektronischer Distanzsensor und Verfahren zur optoelektronischen Distanzmessung.

57 Der optoelektronische Sensor (1) zur Messung der Distanz (d) zu einem Objekt (9) bzw. zum Feststellen eines Objektes (9) in einem Überwachungsbereich (90) basiert auf Triangulationsmessung. Eine Lichtquelle (21) sendet Licht auf das Objekt (9) oder in den Überwachungsbereich (90) aus. Das vom Objekt (9) gestreute Licht (33) trifft in einem von der Distanz (d) zum Objekt (9) abhängigen Winkel (α) auf ein Empfangselement (31) auf. Letzteres weist über seine Länge verteilte Abgriffe (34.1–34.5) auf, um durch entsprechende Auswahl derselben den Messbereich des Sensors (1) auf den von einer Steuerschaltung (4) gewünschten Wert zu bringen und dadurch die Messauflösung entsprechend zu erhöhen. In variablen Verstärkern (6.1, 6.2) werden zwei oder mehrere Detektor-Signale (i_1 , i_2) mit jeweils mit einem von der Steuerschaltung (4) bestimmten, variablen Faktor multipliziert und anschliessend in einer Additions- oder Subtraktionsstufe (7) addiert bzw. subtrahiert. In einer Auswertereinheit (8) wird das gemeinsame Signal zur Erzeugung eines Gegenstandsfeststellungssignals weiterverarbeitet. Der Sensor (1) weist eine geringe rauschbedingte Messungenauigkeit auf und ermöglicht eine kontinuierliche Verstellbarkeit der Messdistanz (d).



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen optoelektronischen Sensor zur Distanzmessung und/oder distanzabhängigen Objekterkennung und ein Verfahren zur optoelektronischen Distanzmessung und/oder distanzabhängigen Objekterkennung, gemäss den unabhängigen Patentansprüchen. Der Sensor und das Verfahren basieren auf Triangulationsmessung.

Derartige Sensoren können einerseits zur Messung der Distanz zu einem Objekt eingesetzt werden, wobei die Ausgangssignale kontinuierliche Werte oder doch eine Vielzahl von diskreten Werten aus einem Intervall sind und ein Mass für die Distanz darstellen. Andererseits werden derartige Sensoren häufig bloss zur Feststellung bzw. Erkennung des Vorhandenseins eines Objektes in einem bestimmten Überwachungsbereich eingesetzt, wobei als Ausgangssignale nur zwei binäre Werte «1» («Objekt vorhanden») oder «0» («kein Objekt vorhanden») in Frage kommen. Wenn in dieser Schrift von «Distanzsensoren» die Rede ist, so sind damit immer Sensoren gemeint, welche sich für die eine und/oder für die andere Anwendung eignen.

Der Stand der Technik und die Erfindung werden anhand von Figuren detailliert erläutert. Dabei zeigen schematisch:

Fig. 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemässen Distanzsensors,

Fig. 2 Signalverhältnisse für einen Doppelpfänger gemäss Stand der Technik,

Fig. 3 Signalverhältnisse für ein nicht-unterteiltes PSD gemäss Stand der Technik,

Fig. 4 Signalverhältnisse für ein unterteiltes PSD gemäss Stand der Technik,

Fig. 5 ein durch eine Steuereinheit variabel unterteilbares PSD, und

Fig. 6 ein durch eine Steuerschaltung variabel unterteilbares Empfängerarray.

Bekannt sind optoelektronische Distanzsensoren auf Triangulationsbasis, welche mit zwei benachbarten Fotoempfängern arbeiten. Ein Beispiel für ein Lichtempfangselement 31, welches aus zwei Fotoempfängern 31.1, 31.2 zusammengesetzt ist und auf welches ein Empfangslichtfleck 33 auftrifft, ist für drei verschiedene Situationen schematisch in Fig. 2 dargestellt. Die Schaltdistanz hängt hier von der Position des Überganges der beiden Empfänger 31.1, 31.2 ab; in der Regel erfolgt die Distanzeinstellung durch mechanische Verschiebung der beiden Empfänger 31.1, 31.2 bzw. einer (nicht dargestellten) vorgeschalteten Empfängerlinse.

Die Auswertung der Positionsinformation erfolgt in der Regel durch Vergleich der beiden Fotoströme I_1 , I_2 entweder durch Subtraktion oder durch Division (vgl. DE-4 419 032). Im Fall der Subtraktion wird deren Resultat anschliessend mit einem Schwellwert verglichen. Dies ist notwendig, damit das Nutzsignal genügend Abstand vom systembedingten Rauschen erhält. Der Schwellwert hat somit eine Grösse, welche einem Vielfachen des Rauschpegels entspricht. Wird dieser Schwellwert überschritten, ist ein Gegenstand im Überwachungsbereich festgestellt worden.

Ebenfalls bekannt, bspw. aus der Patentschrift US-4 601 574, sind Triangulationssensoren, die mit einem positionsempfindlichen Element (position sensitive device, PSD) arbeiten. Ein solcher PSD-Lichtempfänger 31 mit einem darauf auftreffenden Lichtfleck 33 ist für zwei verschiedene Situationen schematisch in Fig. 3 dargestellt. Hier findet zwecks Einstellung eines gewünschten Schaltpunktes keine mechanische Verstellung des Empfangssystems statt; die Einstellung kann auf elektronischem Weg erreicht werden. Dazu wird ein Divisionsverfahren angewendet:

$$y = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$$

liefert die Position y des Flächenschwerpunktes des Empfangslichtflecks 33 aus den beiden Fotoströmen I_1 , I_2 . Daraus kann die Distanz zum Objekt abgeleitet werden; durch Vergleich mit entsprechenden Schwellwerten können binäre Gegenstandsstellungssignale gesetzt werden. Bei diesem Verfahren ist es Stand der Technik, die erwähnten Schwellwerte mittels dem Teach-in-Verfahren einzulernen und innerhalb des Sensorsystems nichtflüchtig abzuspeichern.

Der Hauptnachteil dieses Verfahrens, auf binäre Gegenstandsstellungssignale betrachtet, liegt darin, dass im Vergleich zum vorherigen Verfahren mit zwei benachbarten Fotoempfängern der Einfluss des Rauschens auf den ermittelten Distanzwert bedeutend grösser und somit die Messgenauigkeit des Systems bedeutend geringer ist. Dies lässt sich einfach erklären: Um von der Situation $I_1 = 100\%$, $I_2 = 0\%$ zur Situation $I_1 = 0\%$, $I_2 = 100\%$ zu wechseln, muss beim PSD-Verfahren (Fig. 3) der Empfangsfleck 33 von einem Ende des PSDs 31 zum andern wandern, also den gesamten Distanzmessbereich durchlaufen. Beim Doppelpfängersystem (Fig. 2) ist dazu hingegen nur die Länge bzw. der Durchmesser des Empfangslichtflecks 33 nötig: $I_1 = 100\%$, $I_2 = 0\%$ ist der Fall, wenn sich der Lichtfleck 33 komplett auf einem der Empfänger 31.1 befindet. Bewegt sich der Lichtfleck 33 nun zum anderen Empfänger 31.2, so nimmt I_1 ab und I_2 zu; bei $I_1 = 0\%$, $I_2 = 100\%$ ist der Lichtfleck 33 komplett auf dem anderen Empfänger 31.2. Wendet man dies auf die durch Rauschen verursachte Messungenauigkeit an, so sieht man, dass die Rauschspannung, die in beiden Fällen etwa gleich ist, im ersten Fall (Fig. 3) auf die gesamte Detektorlänge relativiert werden muss, im zweiten Fall (Fig. 2) lediglich auf die Länge des Empfangslichtflecks.

Deshalb versucht der Fachmann, für die Ermittlung eines binären Gegenstandsstellungssignals den Messbereich des PSDs 31 auf die tatsächlich benötigte Messzone 31.1 einzuschränken und dadurch die rauschbedingte Messungenauigkeit massiv zu reduzieren. Auf diese Weise wird der zu betrachtende Distanzbereich, welcher einem jeweiligen Fotoströmverhältnis des PSDs 31 entspricht, massiv verkleinert, wie etwa in Fig. 4 dargestellt. Dadurch entspricht eine bestimmte Rauschspannung nur noch einem Bruchteil der Ungenauigkeit bezüglich Distanz; die rauschäquivalente Distanz bezieht sich jetzt auf eine bedeutend kleinere Messzone. Die Fotoströme

der Messzone 31.1 werden in dieser Schrift mit I_1' , I_2' bezeichnet. Die Auswahl der Messzone 31.1 geschieht üblicherweise mittels einer (nicht dargestellten) Steuerschaltung.

Aus der Patentschrift US-4 849 781 ist ein Verfahren bekannt, welches schematisch in Fig. 5 dargestellt ist. Dabei wird ein positionsempfindliches Element 31 mit Abgriffen 34.1–34.5 versehen, welche von einer Steuerschaltung 4 mittels elektronischer Schalter 5.1, 5.2 ausgewählt werden können. So ist es möglich, den näher zu betrachtenden Distanzmessbereich rein elektronisch einzustellen.

Ein weiterer Nachteil des vom PSD bekannten Verfahrens gegenüber demjenigen mit Doppelempfänger ist die wesentlich aufwendigere Signalverarbeitung. Während man die Differenz zweier Signale praktisch ohne Aufwand vor dem Signalverstärker bilden kann und somit anschliessend nur einen Verstärkerkanal benötigt, kann man den Quotienten nur durch relativ grossen Aufwand und nur mit bereits auf genügende Signalgrössen verstärkten Signalen bilden. Dies setzt somit voraus, dass zwei Signalverstärker eingesetzt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen optoelektronischen Distanzsensoren zu schaffen und ein Verfahren zur optoelektronischen Distanzmessung anzugeben, welche die beiden obigen Hauptnachteile vermeidet. Die Aufgabe wird gelöst durch den Sensor und das Verfahren, wie sie in den unabhängigen Patentansprüchen definiert sind.

Die Erfindung beruht auf einer Kombination von zwei Massnahmen:

– Reduktion der betrachteten Empfängerzone auf die ungefähre Grössenordnung des Empfangslichtflecks durch die Steuerschaltung, um die rauschbedingte Messungenauigkeit zu reduzieren.

– Auswerteschaltung mit Additions- oder Subtraktionsstufe, welche zusätzlich um mindestens eine variable Verstärkerstufe erweitert ist. Auf diese Weise kann das System eine kontinuierliche Verstellbarkeit der Distanz gewährleisten.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer Ausführungsform des erfindungsgemässen Distanzsensors 1. Der Sensor 1 beinhaltet ein Triangulationssystem mit einer Sendeeinheit 2 und einer Empfangseinheit 3. Die Sendeeinheit 2 enthält eine Sendelichtquelle 21, welche z.B. durch eine erste Linse 22 ein Sendelichtbündel 20 in einen Überwachungsbereich 90 aussendet. (Unter «Licht» wird in dieser Schrift jegliche elektromagnetische Strahlung verstanden, insbesondere ultraviolette Strahlung (UV), sichtbares Licht oder infrarote Strahlung (IR).) Bei einem vorhandenen Objekt 9 im Überwachungsbereich 90 wird Licht am Objekt 9 reflektiert bzw. gestreut und läuft als Empfangslicht 30 durch eine zweite Linse 32 zur Empfangseinheit 3. Der Winkel α zwischen dem zurückgeworfenen Empfangslichtbündel 30 und der Empfangseinheit 3 ist abhängig vom Abstand d des Objektes 9 zur Empfangseinheit 3; deshalb trifft das Empfangslichtbündel 30 als Empfangslichtfleck 33 in einer von Abstand d abhängigen Stelle auf der Empfangseinheit 3 auf. Die Empfangseinheit 3 beinhaltet ein Empfängerelement 31, welches in der Regel ein positionsempfindliches Element (PSD) ist; es kann sich aber auch um eine Fotoempfängeranordnung

handeln, wo mehrere Empfänger zu zwei oder mehreren gewünschten Distanzbereichen entsprechenden Zonen zusammengefasst sind.

Das Empfängerelement 31 weist über seine Länge verteilte Abgriffe 34.1–34.5 auf, welche Distanzmesszonen entsprechen. Das PSD 31 kann bspw. von einer Steuerschaltung 4 durch elektronische Schalter 5.1, 5.2 in variable Zonen unterteilt werden. Diese Zonen werden von der Steuerschaltung abhängig von dem gewünschten Erfassungsbereich ausgewählt. Letzterer wird vorteilhaft durch ein vorgängiges Einlernen anhand der jeweiligen Messsituation ermittelt.

Das PSD 31 hat die Eigenschaft, die Position y des Empfangslichtflecks 33 mittels der Verteilung zweier Fotoströme I_1' , I_2' anzuzeigen:

– Wenn $I_1' = I_2' > 0$, dann befindet sich der Empfangslichtfleck 33 genau in der Mitte der betrachteten Zone ($y = 0$).

– Wenn $I_1' > 0$ und $I_2' = 0$, dann befindet sich der Empfangslichtfleck 33 gänzlich in Zone 1 ($y = +1$).

– Wenn $I_2' > 0$ und $I_1' = 0$, dann befindet sich der Empfangslichtfleck 33 gänzlich in Zone 2 ($y = -1$).

– Dazwischen gilt: $y = (I_1' - I_2') / (I_1' + I_2')$; $-1 < y < +1$.

Somit lässt sich die Position y des Empfangslichtflecks 33 exakt bestimmen, sofern man gewillt ist, die Fotoströme I_1' und I_2' getrennt zu verstärken und eine Divisionsstufe zu verwenden.

Dies stellt in der Praxis einen erheblichen Aufwand dar. Deshalb soll in der erfindungsgemässen Anordnung das Subtraktionsverfahren Verwendung finden, wie es von Sensoren bekannt ist, welche mehrere benachbarte Fotoempfänger, beispielsweise Fotodioden, aufweisen. Zwecks Subtraktion beinhaltet der erfindungsgemässe Sensor 1 eine Subtraktionsstufe 7, gefolgt von einer Auswerteeinheit 8. Da wegen der Remissionsabhängigkeit der Fotoströme ihr Differenzbetrag nicht mit einer Distanz gleichgesetzt werden kann, kann durch direkte Subtraktion beider Fotoströme lediglich die Erkennung der Gleichheit der beiden Fotoströme I_1' und I_2' sicher vorgenommen werden. Dies ist der Fall, wenn die Differenz gleich Null ist, bzw. näherungsweise sehr klein ist. Ist diese Situation gegeben, so befindet sich der Empfangslichtfleck 33 auf dem Mittelpunkt der Messzone.

Für eine PSD-Messzone gilt:

$$y = (I_1' - I_2') / (I_1' + I_2'); \quad -1 < y < +1.$$

Es ist $y = 0$ für den Fall $I_1' = I_2'$; für alle anderen Fälle ist $y \neq 0$. Der Fall $y = 0$ ist derjenige Fall, welcher von der Auswerteschaltung am leichtesten erkannt werden kann: Es wird detektiert, ob das gemessene Signal y unter einen gewissen Schwellwert abgefallen ist.

Um eine andere Position als die Mitte der Messzone erkennen zu können, wird die Gleichung wie folgt mit einem Faktor k erweitert:

$$y' = (k \cdot I_1' - I_2') / (k \cdot I_1' + I_2'); \quad -1 < y' < +1; \quad k > 0.$$

Hier ist $y' = 0$, wenn $I_2' = k \cdot I_1'$. Somit verschiebt sich die detektierbare Position auf Faktor $k/(1+k)$ der PSD-Länge. Deshalb beinhaltet der erfindungsge-

mässe Sensor 1 von der Steuerschaltung 4 beeinflussbare variable erste Verstärkungsmittel 6.1 sowie fixe oder variable zweite Verstärkungsmittel 6.2, welche in einem oder beiden Kanälen vor der Subtraktionsstufe 7 angebracht sind. Dadurch lässt sich also die Schaltdistanz innerhalb eines Messsegmentes stufenlos variieren. Die Verstärker 6.1, 6.2 können als Spannungs- und/oder als Stromverstärker ausgeführt sein; an ihrer Stelle können in diesem Sinne auch passive Abschwächer und/oder Strom-Spannungswandler stehen, welche fix bzw. variabel ausgeführt sein können. Generell betrachtet, handelt es sich hier um Mittel 6.1, 6.2 zur variablen Gewichtung der beiden Fotoströme I_1' , I_2' , somit um deren Interpolation, welche erfindungsgemäss vor deren Subtraktion stattfindet.

Vorteilhafterweise ist die optische Fläche des Empfängerelementes 31, die Steuerschaltung 4 der Abgriffe 34.1–34.5 sowie die variable Verstärkungsanordnung 6.1, 6.2 monolithisch in einer integrierten Schaltung, bspw. einem ASIC (Application Specific Integrated Circuit), untergebracht.

Fig. 6 zeigt einen Teil einer Ausführungsform des erfindungsgemässen Sensors 1, bei welchem das Empfängerelement 31 als Fotoempfängerarray (bspw. Diodenarray) ausgebildet ist. Die Steuerschaltung 4 wählt mittels elektronischer Schalter 5.1, 5.2 das dem gewünschten Distanzbereich entsprechende Empfängerpaar 31.1, 31.2 aus, so dass sich das Fotoempfängerarray 31 nach erfolgter Auswahl wie ein Doppelpfänger (vgl. Fig. 2) verhält.

Patentansprüche

1. Optoelektronischer Sensor (1) zur Distanzmessung und/oder distanzabhängigen Objekterkennung, beinhaltend eine Sendeeinheit (2) zum Aussenden von Licht in einen Überwachungsbereich (90), eine Empfangseinheit (3) mit mindestens einem Lichtempfänger (31) zum Empfangen von aus dem Überwachungsbereich (90) einfallendem Licht (33) und eine Steuer- und Auswerteinheit (4, 8) für die Empfangseinheit (3), wobei die Sendeeinheit (2) und die Empfangseinheit (3) derart gegenseitig angeordnet sind, dass die Ausbreitungsrichtung von Licht, welches von der Sendeeinheit (2) zu einem Objekt (9) im Überwachungsbereich (90) ausgesandt wird, und die Ausbreitungsrichtung von Licht, welches vom Objekt (9) zur Empfangseinheit (3) geworfen wird, einen Winkel einschliessen, welcher von der Distanz (d) des Objektes (9) zum Distanzsensord (1) abhängt, und die Steuer- und Auswerteinheit (4, 8) Mittel (34.1–34.5) zur Unterteilung des Lichtempfängers (31) in mindestens zwei Zonen aufweist, welche unterschiedlichen Distanzbereichen entsprechen und von denen je ein elektrisches Ausgangssignal (I_1' , I_2') erhältlich ist, wobei die Steuer- und Auswerteinheit (4, 8) Mittel (6.1, 6.2) zur Interpolation zwischen den Ausgangssignalen (I_1' , I_2') der mindestens zwei Zonen aufweist, und wobei die Mittel (6.1, 6.2) zur Interpolation als Mittel zur Verstärkung der Ausgangssignale (I_1' , I_2') der mindestens zwei Zonen ausgebildet sind, von denen Mittel (6.1) zur Verstärkung des Ausgangssignals (I_1') mindestens einer Zone einen variablen Verstärkungsfaktor (k) aufweisen.

2. Sensor (1) nach Anspruch 1, wobei Mittel (7) zur Bildung einer Summe oder Differenz von verstärkten Ausgangssignalen ($k \cdot I_1'$, I_2') der mindestens zwei Zonen den Mitteln (6.1, 6.2) zur Verstärkung nachgeschaltet sind.

3. Sensor (1) nach Anspruch 2, wobei die Steuer- und Auswerteinheit (4, 8) zusätzlich Mittel zum Vergleich der gebildeten Summe oder Differenz mit mindestens einem veränderlichen Schwellenwert aufweist.

4. Sensor (1) nach einem der Ansprüche 1–3, wobei die Mittel (34.1–34.5) zur Unterteilung des Lichtempfängers (31) Abgriffe beinhalten.

5. Sensor (1) nach Anspruch 4, wobei die Steuer- und Auswerteinheit (4, 8) zusätzlich Mittel zum Speichern der Auswahl der Abgriffe (34.1–34.5), des Verstärkungsfaktors (k) und/oder des veränderlichen Schwellenwertes aufweist.

6. Sensor (1) nach einem der Ansprüche 1–5, wobei der Lichtempfänger (31) ein positionsempfindliches Element (position sensitive device) ist.

7. Verfahren zum Betrieb eines optoelektronischen Sensors nach Anspruch 1 zur Distanzmessung und/oder distanzabhängigen Objekterkennung, bei welchem Licht in einen Überwachungsbereich (90) ausgesendet, zumindest ein Teil des ausgesandten Lichtes von einem Objekt (9) im Überwachungsbereich (90) zu einer einen Lichtempfänger (31) beinhaltenden Empfangseinheit (3) geworfen und zumindest ein Teil (33) dieses Lichtes vom Lichtempfänger (31) delektiert wird, wobei die Ausbreitungsrichtung von Licht, welches sich zum Objekt (9) hin ausbreitet, und die Ausbreitungsrichtung von Licht, welches vom Objekt (9) zur Empfangseinheit (3) geworfen wird, einen Winkel einschliessen, welcher von der Distanz (d) des Objektes (9) zur Empfangseinheit (3) abhängt, und der Lichtempfänger (31) in mindestens zwei Zonen unterteilt wird, welche unterschiedlichen Distanzbereichen entsprechen und von denen je ein elektrisches Ausgangssignal (I_1' , I_2') erhalten wird, die Ausgangssignale (I_1' , I_2') der mindestens zwei Zonen interpoliert werden, wobei die Ausgangssignale (I_1' , I_2') der mindestens zwei Zonen verstärkt werden und das Ausgangssignal (I_1') mindestens einer Zone mit einem variablen Verstärkungsfaktor (k) verstärkt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Summe oder Differenz von verstärkten Ausgangssignalen ($k \cdot I_1'$, I_2') der mindestens zwei Zonen gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die gebildete Summe oder Differenz mit mindestens einem veränderlichen Schwellenwert verglichen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7–9, wobei die Unterteilung des Lichtempfängers (31) in Abhängigkeit von einem gewünschten Messbereich vorgenommen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7–10, wobei die Auswahl der Zonen, der Verstärkungsfaktor (k) und/oder der veränderliche Schwellenwert durch Teach-in ermittelt und abgespeichert wird.

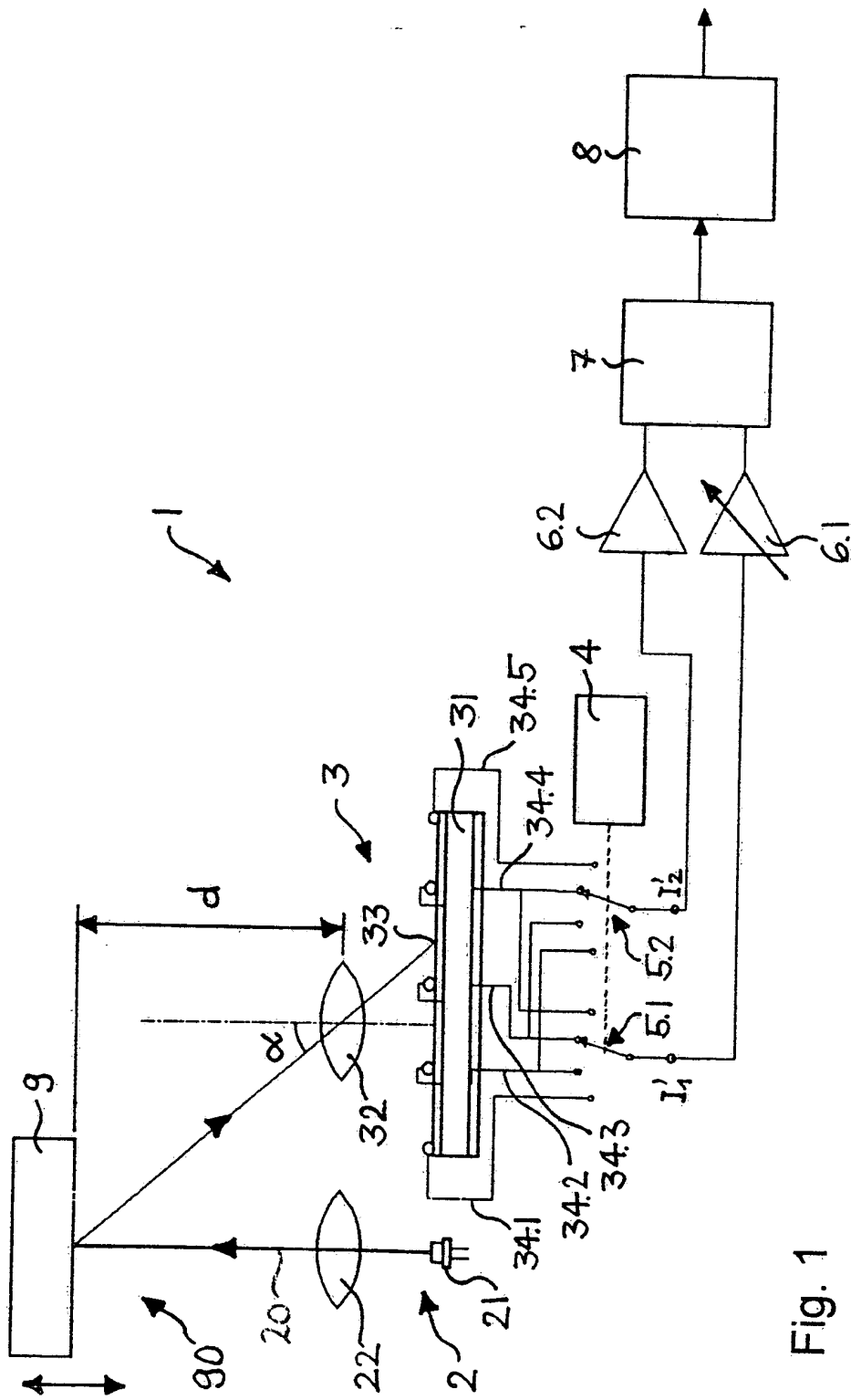


Fig. 1

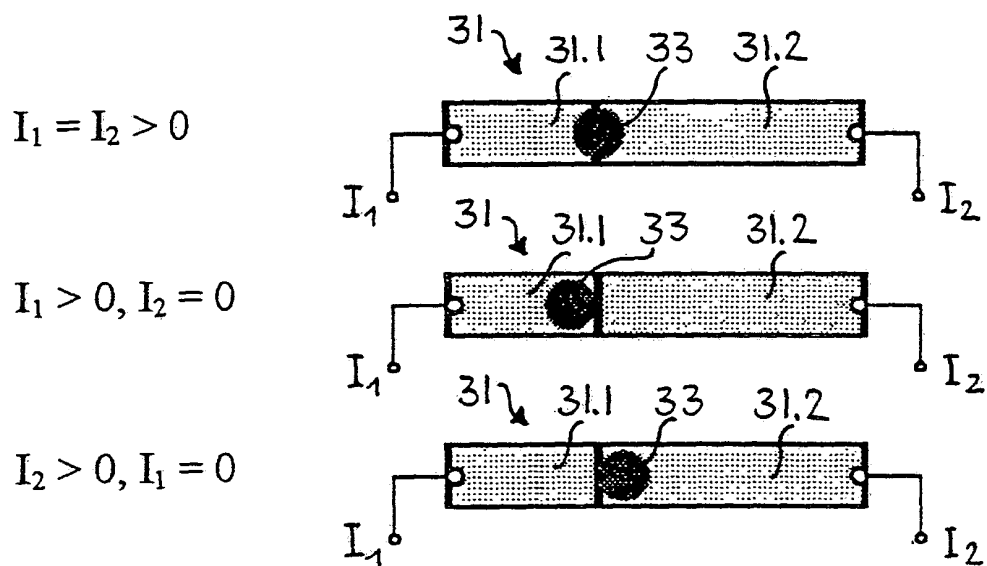


Fig. 2

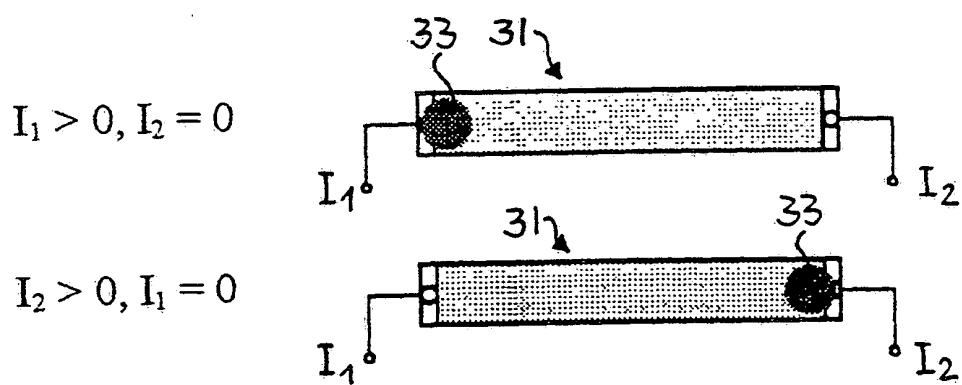


Fig. 3

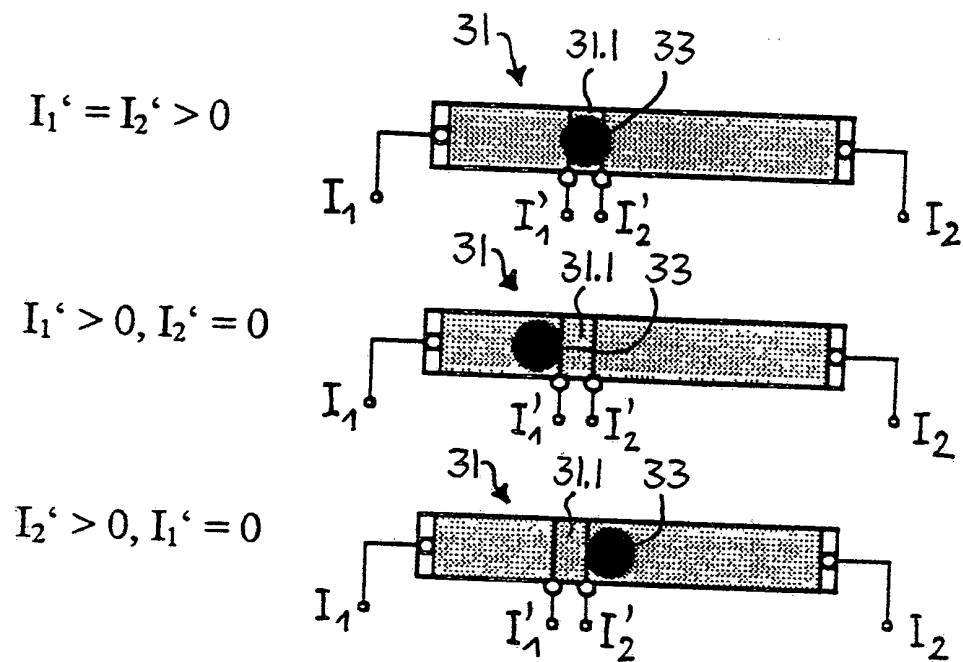


Fig. 4

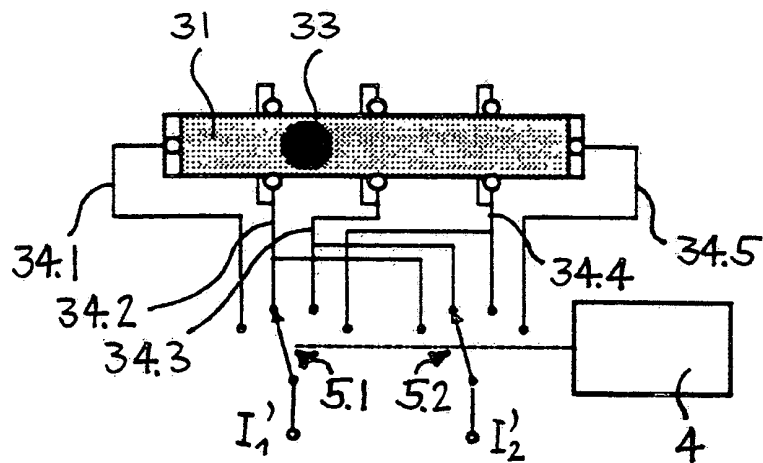
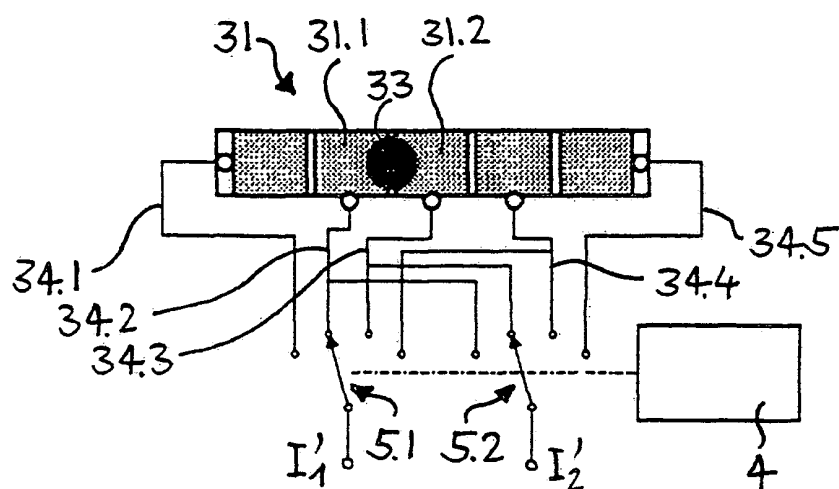
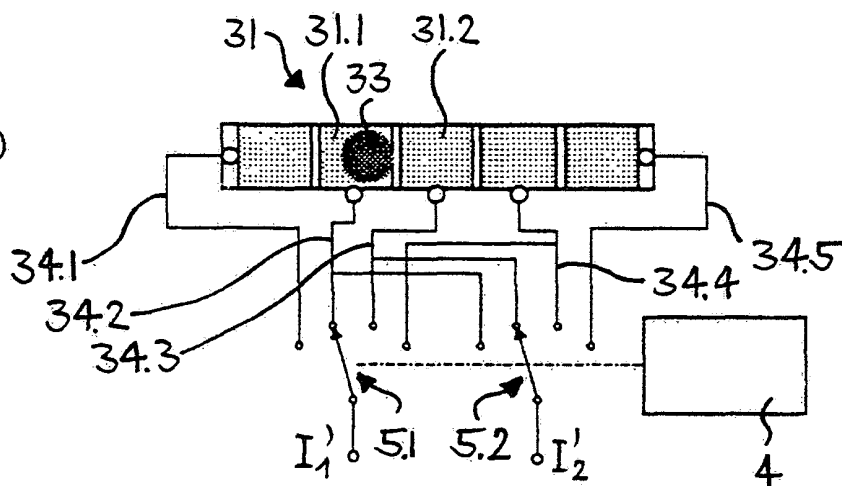


Fig. 5

$$I_1' = I_2' > 0$$



$$I_1' > 0, I_2' = 0$$



$$I_2' > 0, I_1' = 0$$

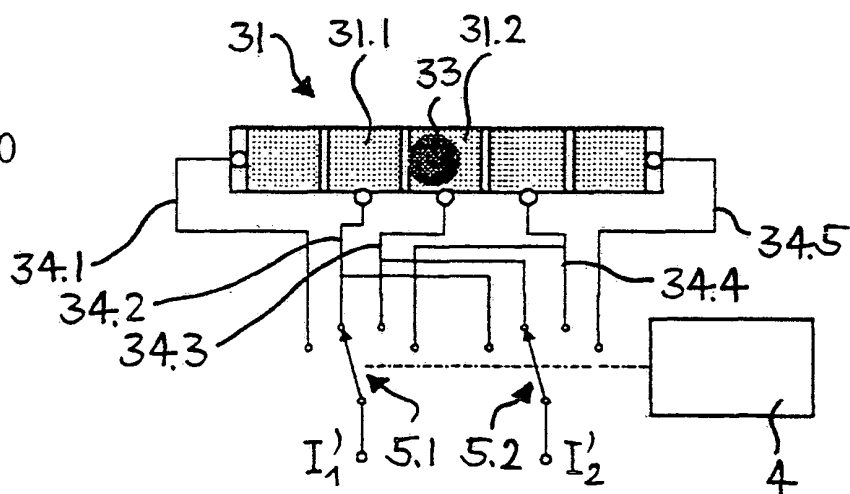


Fig. 6