

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

PATENT A5

11

641 279

21 Gesuchsnummer: 6510/79

73 Inhaber:
Kern & Co. AG Werke für Präzisionsmechanik,
Optik und Elektronik, Aarau

22 Anmeldungsdatum: 13.07.1979

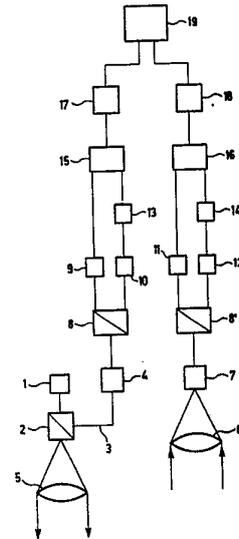
24 Patent erteilt: 15.02.1984

72 Erfinder:
Dr.sc.nat. Beat Balmer, Unterkulm
Dr.phil.nat. Dietrich Meier, Untererlinsbach
René Nünlist, Aarau

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.02.1984

54 Verfahren zur Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und einem Bezugspunkt, sowie Vorrichtung zu dessen Durchführung.

57 Zur Messung der Entfernung zu einem Objekt wird die Laufzeitdifferenz von Lichtimpulsen zwischen dem Messweg und einem Referenzweg bestimmt. Dabei werden die, die Laufzeiten definierenden Empfangszeitpunkte für die Lichtimpulse dadurch bestimmt, dass jeder Impuls in zwei Impulskomponenten geteilt wird (8, 8'), deren Pulsform durch Integration (9 - 12) aufbereitet wird. Nach einer Laufzeitverschiebung (13, 14) zwischen den Impulskomponenten werden deren Differenzen gebildet, die für die Bestimmung der Empfangszeitpunkte geeignete Nullstellen aufweisen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und einem Bezugspunkt, bei dem Lichtimpulse von einem Sender zum Objekt und vom Objekt zurück zu einem Empfänger in der Nähe des Senders übertragen werden und bei dem zur Gewinnung der Laufzeit der Lichtimpulse mittels fotoelektrischer Empfänger Sende- und Empfangszeitpunkte der Lichtimpulse definierende elektrische Signalimpulse erzeugt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Licht- oder Signal-Impulse zur Bestimmung der Sende- und Empfangszeitpunkte in jeweils zwei Impulskomponenten mit definierter Phasenlage geteilt werden, dass die Signal-Impulse zur Unterdrückung von Störanteilen über mindestens eine Pulsformerstufe (9, 9', 10, 11, 11', 12) geführt werden, dass die eine Impulskomponente gegenüber der anderen um eine definierte Zeitdauer verzögert wird, dass die Differenz zwischen verzögerter und unverzögerter Impulskomponente gebildet wird und dass das Auftreten eines bestimmten Pegels im Differenzsignal zur Bestimmung des Empfangszeitpunktes des jeweiligen Impulses verwendet wird.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch 1 zur Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und einem Bezugspunkt, mit einem Sender und einem Empfänger für Lichtimpulse in der Nähe des Bezugspunktes, wobei der Empfänger Sende- und Empfangszeitpunkte der Lichtimpulse definierende elektrische Signalimpulse erzeugt, gekennzeichnet durch Mittel (8, 8') zur Teilung eines jeden, vom Empfänger aufgenommenen Licht- oder Signalimpulses in zwei Impulskomponenten mit definierter Phasenlage, mindestens eine Impulsformerstufe (9, 9', 10, 11, 11', 12) für jede Impulskomponente, Mittel (13, 14) zur definierten Verzögerung einer Komponente jedes Impulskomponentenpaares, Mittel (15, 15', 16, 16') zur Bildung der Differenz zwischen den Komponenten jedes Impulspaares, sowie durch einen Komparator (17, 18), der ein zeitsignifikantes Messsignal abgibt, wenn das Differenzsignal den Pegel Null durchläuft.

3. Vorrichtung nach Patentanspruch 2, bei der die vom Objekt zurückkommenden Lichtimpulse direkt auf einen fotoelektrischen Empfänger fallen, gekennzeichnet durch eine Integrationsschaltung (9', 11') zur Pulsformung der Ausgangssignale des fotoelektrischen Empfängers (4, 7), durch eine Verzögerungsschaltung (13, 14) zur definierten Verzögerung der Ausgangssignale der Integrationsschaltung, ferner durch eine Differenzstufe (15, 16) zur Bildung der Differenz zwischen unverzögertem und verzögertem Ausgangssignal der Integrationsschaltung.

4. Vorrichtung nach Patentanspruch 2, gekennzeichnet durch einen optischen Strahlenteiler (8, 8') zur Teilung der Lichtimpulse, durch eine optische Verzögerungsleitung (13, 14) zur definierten Verzögerung einer Komponente der geteilten Lichtimpulse, durch je einen fotoelektrischen Empfänger (4, 4', 7, 7') zur Umsetzung der unverzögerten und der verzögerten Komponenten, ferner durch eine invertierende (10, 12) und eine nichtinvertierende (9, 11) Integrationsschaltung zur Pulsformung der verzögerten bzw. unverzögerten Ausgangssignale der fotoelektrischen Empfänger und eine Summierstufe (15', 16') zur Bildung der Summe des verzögerten Ausgangssignales der einen und des unverzögerten Ausgangssignales der anderen Integrationsschaltung.

5. Vorrichtung nach einem der Patentansprüche 3 oder 4, bei der die Lichtimpulse am Sender geteilt werden und gleichzeitig über das Objekt und über einen Referenzweg zum Empfänger übertragen werden, dadurch gekennzeichnet, dass eine und dieselbe Empfängerschaltung (33) die Referenzimpulse und die Messimpulse vom Objekt her verarbeitet und dass die Messimpulse zusätzlich eine optische Verzögerungsleitung (34) durchlaufen.

6. Vorrichtung nach Patentanspruch 5, gekennzeichnet durch Mittel (35, 36, 37, 38, 39, 40, 41) zur optischen Strahlführung, welche die Messlichtimpulse nach deren Aussendung zum Objekt und vor deren Empfang vom Objekt über die gleiche optische Verzögerungsleitung (34) führen.

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Entfernung zwischen einem Objekt und einem Bezugspunkt, bei dem Lichtimpulse von einem Sender zum Objekt und vom Objekt zurück zu einem Empfänger in der Nähe des Senders übertragen werden und bei dem zur Gewinnung der Laufzeit der Lichtimpulse mittels fotoelektrischer Empfänger Sende- und Empfangszeitpunkte der Lichtimpulse definierende elektrische Signalimpulse erzeugt werden, sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung.

Bei bekannten elektrooptischen Entfernungsmessgeräten wird die Laufzeit von Lichtimpulsen über die Messstrecke vom Puls laser zum Zielobjekt und zurück bis zur Empfänger-Fotodiode dadurch gemessen, dass die Impulse am Sender optisch geteilt werden. Es läuft dann gleichzeitig ein Teil des Lichtpulses über die Messstrecke und der andere Teil über einen kurzen Referenzweg, z.B. eine Glasfaser zum fotoelektrischen Empfänger. Als Empfänger ist meist für den Referenzweg und den Messweg je eine separate Fotodiode vorgesehen, in denen die Lichtpulse in elektrische Messsignale umgesetzt werden. Die Laufzeit des optischen Messimpulses wird als Zeitdifferenz zwischen dem elektrischen Referenzimpuls und dem elektrischen Messimpuls gemessen. Aus der Laufzeit und der bekannten Lichtgeschwindigkeit berechnet man die Länge der Messstrecke.

Bei diesen bekannten Verfahren ergibt sich eine beschränkte Messgenauigkeit durch Fehler in der Bestimmung der Zeitpunkte, in denen die Lichtimpulse, insbesondere der Messimpuls vom Fotoempfänger aufgenommen wird. Dabei wird entweder die steigende Flanke des Empfänger- Ausgangssignales oder die fallende Flanke des differenzierten Signales zur Bestimmung der Zeitpunkte verwendet. Beim erstgenannten Verfahren hängt das Messergebnis stark von der Pulshöhe des empfangenen Lichtpulses ab, bei der anderen Methode dagegen von der Form des Detektor-Pulssignales. Sowohl Pulshöhe als auch Pulsform der Messlichtimpulse hängen ihrerseits stark von den Messbedingungen ab, z.B. Messdistanz, Sichtweite, Art des Zielobjektes, Fokussierung des Messlichtes usw.

Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten wurde schon vorgeschlagen, in der Diodenempfangsschaltung als Arbeitswiderstand einen Parallelresonanzkreis zu schalten, der aus einer Spule und der Sperrschichtkapazität der Empfängerdiode sowie einer zusätzlichen parallelgeschalteten externen Kapazität besteht (DI-OS 2634627 (MITEC)). Die Nullstellen der resultierenden Ausgangssignale weisen eine verminderte Empfindlichkeit gegenüber Pulshöhenschwankungen der eintreffenden Lichtimpulse auf.

Ferner ist es zur Lösung dieser Aufgabe auch schon bekannt, die Zeit zwischen dem Referenzimpuls und der genauen Mitte des Messimpulses zu messen (US-PS 4 111 552 [Siemens]). Diese Mitte ist weitgehend unabhängig von der Pulshöhe, jedoch wirken sich Formstörungen der Messpulse immer noch nachteilig aus.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, bei denen die Wirkungen der oben genannten Fehlerquellen reduziert sind.

Gelöst wird diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch, dass die Licht- oder Signalimpulse zur Bestimmung der Sende- und Empfangszeit-

punkte in jeweils zwei Impulskomponenten mit definierter Phasenlage geteilt werden, dass die Signal-Impulse zur Unterdrückung von Störanteilen über mindestens eine Pulsformerstufe geführt werden, dass die eine Impulskomponente gegenüber der anderen um eine definierte Zeitdauer verzögert wird, dass die Differenz zwischen verzögerter und unverzögerter Impulskomponente gebildet wird und dass das Auftreten eines bestimmten Pegels im Differenzsignal zur Bestimmung des Empfangszeitpunktes des jeweiligen Impulses verwendet wird.

Eine erfindungsgemässe Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens mit einem Sender und einem Empfänger für Lichtimpulse in der Nähe des Bezugspunktes, wobei der Empfänger Sende- und Empfangszeitpunkte der Lichtimpulse definierende elektrische Sinalimpulse erzeugt, zeichnet sich aus durch Mittel zur Teilung eines jeden, vom Empfänger aufgenommenen Licht- oder Signalimpulses in zwei Impulskomponenten mit definierter Phasenlage, mindestens eine Pulsformerstufe für jede Impulskomponente, Mittel zur definierten Verzögerung einer Komponente jedes Impulskomponentenpaars, Mittel zur Bildung der Differenz zwischen den Komponenten jedes Impulspaares, sowie durch einen Komparator, der ein zeitsignifikantes Messsignal abgibt, wenn das Differenzsignal den Pegel Null durchläuft.

Eine Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung, bei der die vom Objekt zurückkommenden Lichtimpulse direkt auf einen fotoelektrischen Empfänger fallen, ist gekennzeichnet durch eine Integrationsschaltung zur Pulsformung der Ausgangssignale des fotoelektrischen Empfängers durch eine Verzögerungsschaltung zur definierten Verzögerung der Ausgangssignale der Integrationsschaltung, ferner durch eine Differenzstufe zur Bildung der Differenz zwischen unverzögertem und verzögertem Ausgangssignal der Integrationsschaltung.

Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist gekennzeichnet durch einen optischen Strahlenteiler zur Teilung der Lichtimpulse, durch eine optische Verzögerungsleitung zur definierten Verzögerung einer Komponente der geteilten Lichtimpulse, durch je einen fotoelektrischen Empfänger zur Umsetzung der unverzögerten und der verzögerten Komponenten, ferner durch eine invertierende und eine nichtinvertierende Integrationsschaltung zur Pulsformung der verzögerten bzw. unverzögerten Ausgangssignale der fotoelektrischen Empfänger und eine Summierstufe zur Bildung der Summe des verzögerten Ausgangssignales der einen und des unverzögerten Ausgangssignales der anderen Integrationsschaltung.

Weitere Varianten von erfindungsgemässen Vorrichtungen zur Entfernungsmessung sind in den Ansprüchen 5 und 6 gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in Figuren der Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschema einer erfindungsgemässen Vorrichtung zur elektrooptischen Entfernungsmessung,

Fig. 2 eine Empfängerschaltung für die Vorrichtung gemäss Fig. 1, mit elektrischem Signalverzögerer,

Fig. 3 eine weitere Empfängerschaltung mit optischem Signalverzögerer,

Fig. 4 eine Empfängerschaltung mit kombinierter elektrischer Impulsformung und Impulsverzögerung,

Fig. 5 das Schema einer Entfernungsmessvorrichtung mit nur einem elektrischen Empfängerkanal,

Fig. 5 das Schema einer Entfernungsmessvorrichtung mit nur einem elektrischen Empfängerkanal,

Fig. 6 das Schema einer Entfernungsmessvorrichtung mit nur einem optischen Kanal für Sender, Empfänger und

Signalverzögerer und Fig. 6a eine Variante gemäss Fig. 6 mit Wellenleiterverzweigungen.

In Fig. 1 ist mit 1 ein optischer Sender an sich bekannter Art für Lichtimpulse bezeichnet. Derartige Sender arbeiten mit Lasern, welche kurze Blitze von einigen ns Dauer aussenden. Diese Impulse werden kollimiert und an einem Strahlenteiler 2 in eine Messkomponenten und eine Referenzkomponente geteilt. Die Referenzkomponente gelangt über einen vorrichtung-internen Referenzlichtweg 3 auf einen Referenzempfänger 4. Die Messkomponente wird über eine Sendeoptik 5 auf den Messweg abgestrahlt und gelangt nach Reflexion an einem Zielobjekt und nochmaligem Durchlaufen des Messweges auf eine Empfängeroptik 6, die das Messlicht auf einen Messempfänger 7 sammelt. Im Mess- bzw. Referenzempfänger 7 bzw. 4 werden Mess- bzw. Referenzkomponente entweder lichtelektrisch gewandelt oder optisch weiterverarbeitet.

Jede Komponente wird in einem Impulsteiler 8 bzw. 8' nochmals in zwei Komponenten geteilt, von denen jeweils die eine gegenüber der anderen erfindungsgemäss um eine bestimmte Zeit verzögert wird. Liegen die Komponenten nach der Teilung an den Teilern 8, 8' bereits in elektrischer Form vor, so werden sie vor der Verzögerung je einer elektrischen Pulsformerstufe 9, 10 bzw. 11, 12 zugeführt, in der sie durch Integration von Störanteilen befreit werden. Am Ausgang der Stufen 9 und 10 treten also die integrierten elektrischen Referenzimpulse auf und am Ausgang der Stufen 11 und 12 die integrierten elektrischen Messimpulse. Die Referenzimpulse aus Stufe 10 bzw. die Messimpulse aus Stufe 12 durchlaufen dann je eine Verzögerungsstufe 13 bzw. 14 in denen sie um eine geeignete Zeitdauer in der Grössenordnung der Breite der integrierten Impulse gegenüber den Impulsen aus Stufe 9 bzw. 11 verzögert werden.

Für die Verzögerungsstufen 13, 14 können elektrische oder auch optische Ausführungsformen gemäss dem Stand der Technik verwendet werden. Verwendet man elektrische Impulsformerstufen 9, 10, 11, 12, so wird man die optischen Verzögerungsstufen 13, 14 im Signalweg zweckmässig vor den Stufen 10 bzw. 12 anordnen und die lichtelektrischen Wandler aus den Empfängern 4 und 7 nach den Stufen 13, 14 antsetzen.

Elektrische Differenzstufen 15 bzw. 16 bilden nun die Differenzen zwischen dem verzögerten und unverzögerten elektrischen Referenz- bzw. Messsignal. Die Differenzsignale weisen Nullstellen auf, deren zeitliche Lage nur wenig von Störungen beeinflusst wird, wie sie insbesondere an den optischen Messimpulsen auftreten. Diese Nullstellen werden durch Pegelkomparatoren 17, 18 detektiert. Der Komparator 17 erzeugt ein dem Referenzimpuls entsprechendes Startsignal und der Komparator 18 ein dem Messimpuls zugeordnetes Stoppsignal für einen nachgeschalteten Zeitintervallzähler 19 an sich bekannter Art. Das gemessene Zeitintervall ist gleich der Differenz der Laufzeiten von Referenzimpuls und Messimpuls, d.h. gleich der Laufzeit des optischen Messimpulses über die doppelte Messentfernung. Bei Kenntnis der mittleren Geschwindigkeit der Lichtimpulse über die Messentfernung ist die ermittelte Laufzeit ein direktes Mass für die zweifach zu messende Entfernung. Die Genauigkeit des Messergebnisses kann dann in an sich bekannter Weise noch durch Wiederholungsmessungen verbessert werden. Die Funktion der soweit beschriebenen Vorrichtung zur Distanzmessung ist damit beschrieben.

In der in Fig. 2 dargestellten Empfängerschaltung sind der Fig. 1 entsprechende Bauelemente mit entsprechenden Bezugszeichen bezeichnet. Als Referenz- bzw. Messempfänger für die Lichtimpulse sind Fotodioden 4 bzw. 7 vorgesehen, denen über Widerstände 20 bzw. 21 der Betriebsstrom zugeführt ist. Den Fotodioden 4 bzw. 7 nachgeschaltet sind

als Impulsformerstufen Integratoren 9' bzw. 11', die aus je zwei Kondensatoren 22, 23 bzw. 24, 25 sowie einem Widerstand 26 bzw. 27 aufgebaut sind. Gegenüber der Breite der ungestört ausgesendeten Lichtimpulse von einigen ns ist die Breite der Ausgangssignale der Integrationschaltung 9', 11' etwa 100 mal grösser, nämlich einige 100 ns. Diese elektrischen Signale werden an Verzweigungen 8 bzw. 8' geteilt, und jeweils eine Komponente wird in je einer Verzögerungsschaltung 13 bzw. 14 in passender Weise verzögert.

Die Grösse der Verzögerung ist so gewählt, dass die in nachfolgenden Differenzverstärkern 15 bzw. 16 gebildeten Differenzsignale möglichst steile Nulldurchgänge aufweisen. Die nachfolgenden Nullpegelkomparatoren 17, 18 und der Zeitintervallzähler 19 an sich bekannter Art verarbeiten die erfindungsgemässen gewonnenen Zählsignale in der zu Fig. 1 beschriebenen Art.

In der Empfängerschaltung gemäss Fig. 3 sind im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 2 die Impulsteiler 8, 8' für Referenz- und Messimpulse der übrigen Schaltung vorangestellt und als optische Teiler ausgeführt. Die nachfolgenden Verzögerungsstufen sind als optische Verzögerungsleitungen 13, 14, z.B. als Lichtleiter ausgebildet. Demgemäss sind für die vier optischen Referenz- und Messimpulse als Empfänger nun vier Fotodioden 4, 4', 7, 7' mit den zugehörigen Speiseschaltungen vorgesehen. Die Speiseschaltungen für die lichtelektrischen Empfängerdioden 4', 7' für die verzögerten Lichtimpulse bewirken gegenüber den Fotodioden 4, 7 gleichzeitig eine Polarisationsumkehr der elektrischen Ausgangsimpulse, so dass an Stelle der Differenzstufen 15, 16 gemäss Fig. 2 einfache Summierknoten 15', 16' treten. Zwischen diese Knoten 15', 16' und die Fotodioden 4, 4', 7, 7' eingefügte Impulsformerstufen 9, 10, 11, 12 entsprechen den zu Fig. 2 beschriebenen Integratoren 9', 11', ebenso die Nullpegelkomparatoren 17, 18 und der Zeitintervallzähler 19 den entsprechenden Elementen gemäss Fig. 2.

Impulsformung und Impulsverzögerung können also, wie die Ausführungsbeispiele der Fig. 1 bis Fig. 3 zeigen, je nach Bedarf in ihrer Reihenfolge vertauscht sein. Es ist sogar möglich, beide Schritte in einer einzigen Schaltungsstufe zu kombinieren. Ein Ausführungsbeispiel hierfür ist in Fig. 4 dargestellt. Die optischen Referenz- bzw. Messlichtimpulse werden in Fotodioden 4 bzw. 7 in elektrische Impulse umgesetzt. Jeder Fotodiode 4, 7 ist nun eine Brücke nachgeschaltet, welche aus einem ersten Kondensator 28, 28', einem Verstärker 29, 29' einem zweiten Kondensator 30, 30', sowie einer Induktivität 31, 31' besteht. Durch diese Brückenschaltung werden die elektrischen Ausgangsimpulse der Fotodioden in je einen gedämpften Schwingungszug umgeformt, dessen Nulldurchgänge von Störungen der optischen Eingangsimpulse weitgehend unabhängig sind. Ähnlich wie schon zu Fig. 1 beschrieben, detektieren die Pegelkomparatoren 17 bzw. 18 nun die Zeitpunkte der ersten abfallenden Nulldurchgänge der Schwingungszüge durch Erzeugung je eines zeitsignifikanten Start- bzw. Stoppsignales für den nachgeschalteten Zeitintervallzähler 19.

In den Figuren 2 bis 4 sind Empfängerschaltungen zur Verwendung in erfindungsgemässen Vorrichtungen zur Entfernungsmessung dargestellt. Fig. 5 zeigt nun ein Schema einer derartigen Vorrichtung, bei der für die Referenz- und

Messimpulse ein einziger gemeinsamer elektrischer Empfängerkanal vorgesehen ist. Dabei entsprechen optischer Sender 1, Strahlenteiler 2, Referenzlichtweg 3, Sendeoptik 5 und Empfängeroptik 6 den mit den gleichen Bezugszeichen versehenen Elementen gemäss Fig. 1. Der Empfängeroptik 6 nachgeschaltet ist eine optische Verzögerungsleitung 34 für die Messlichtimpulse. Mess- und Referenzweg sind nun mittels eines Strahlsummierers 32 vereinigt und einem demselben fotoelektrischen Empfänger mit Auswertelektronik 33 zugeführt.

Die Verzögerungsleitung 34 bewirkt im Gegensatz zur Verzögerungsleitung 14 gemäss Fig. 3 nicht, dass sich zwei Impulse teilweise überdecken, sondern dass der Messimpuls sicher vom Referenzimpuls getrennt verarbeitet wird. Die Verzögerung der Leitung 34 muss deshalb gross gegen die Breite der vorkommenden Impulse sein. Diese Verzögerung wird dann bei der Messung des Zeitintervalles zwischen Mess- und Referenzimpuls als Additionskonstante berücksichtigt. In der Empfängerstufe 33 kann ein fotoelektrischer Empfänger 7 mit elektrischem Empfängerkanal beispielsweise gemäss Fig. 2 oder Fig. 4 eingesetzt werden. Dabei ist nur zu beobachten, dass ein Zeitintervallzähler 19 an sich bekannter Art verwendet wird, der den Referenzpuls vom Messpuls unterscheiden kann, indem er bei Einlauf des ersteren startet und bei Einlauf des zweiten die Zeitintervallzählung beendet («stoppt»).

Die Verzögerungsleitung 34 benötigt zur sicheren Impulstrennung eine nicht unbedeutende Länge. Diese Länge wird doppelt ausgenutzt, wenn man gemäss Fig. 6 einen für Sender 30 und Empfänger gemeinsamen optischen Kanal benutzt. Die Lichtimpulse vom Sender 1 werden in diesem Fall durch einen Kollimator 35 über den Strahlenteiler 2 auf den Referenzlichtweg 3 gesammelt und über einen geometrischen Strahlenteiler 36 auf die Verzögerungsleitung 34. Die Optik 37 dient nun gleichzeitig zum Aussenden der Lichtimpulse von der Leitung 34 auf den Messweg und zum Empfänger dieser Impulse vom Messweg her. Die empfangenen Impulse durchlaufen dann die Verzögerungsleitung 34 ein zweites Mal bevor sie über den Strahlenteiler 36 und Strahlsummierer 32 mittels eines zweiten Kollimators 38 auf einen Empfänger mit Auswertelektronik 33 geleitet werden. Strahlsummierer 32 für Mess- und Referenzimpulse sowie Empfängerstufe 33 entsprechen also den Bauelementen der Fig. 5.

Verwendet man Lichtwellenleiter mit Verzweigungen 39, 40, 41 an sich bekannter Art, wie dies in Fig. 6a dargestellt ist, so kann man die Strahlenteiler 2, 32, 36 einsparen und benötigt nur noch die Optiken 35, 37, 38 und die Verzögerungsleitung 34.

Variationen der in den Figuren 1 bis 6a dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele können zweckmässig sein. So kann auf eine optische Impulsteilung gemäss Fig. 3 auch direkt eine fotoelektrische Umsetzung jeder Komponente mit nachfolgender elektrischer Verzögerung und anschliessender Pulsformung folgen, oder man ordnet die Pulsformer vor dem Verzögerer an. Teilt man die Impulse nach fotoelektrischer Umsetzung elektrisch wie in Fig. 2, so liegen die genannten Möglichkeiten: Pulsformung-Pulsverzögerung und Pulsverzögerung-Pulsformung ebenfalls mit im Bereich der Erfindung.

Fig. 1

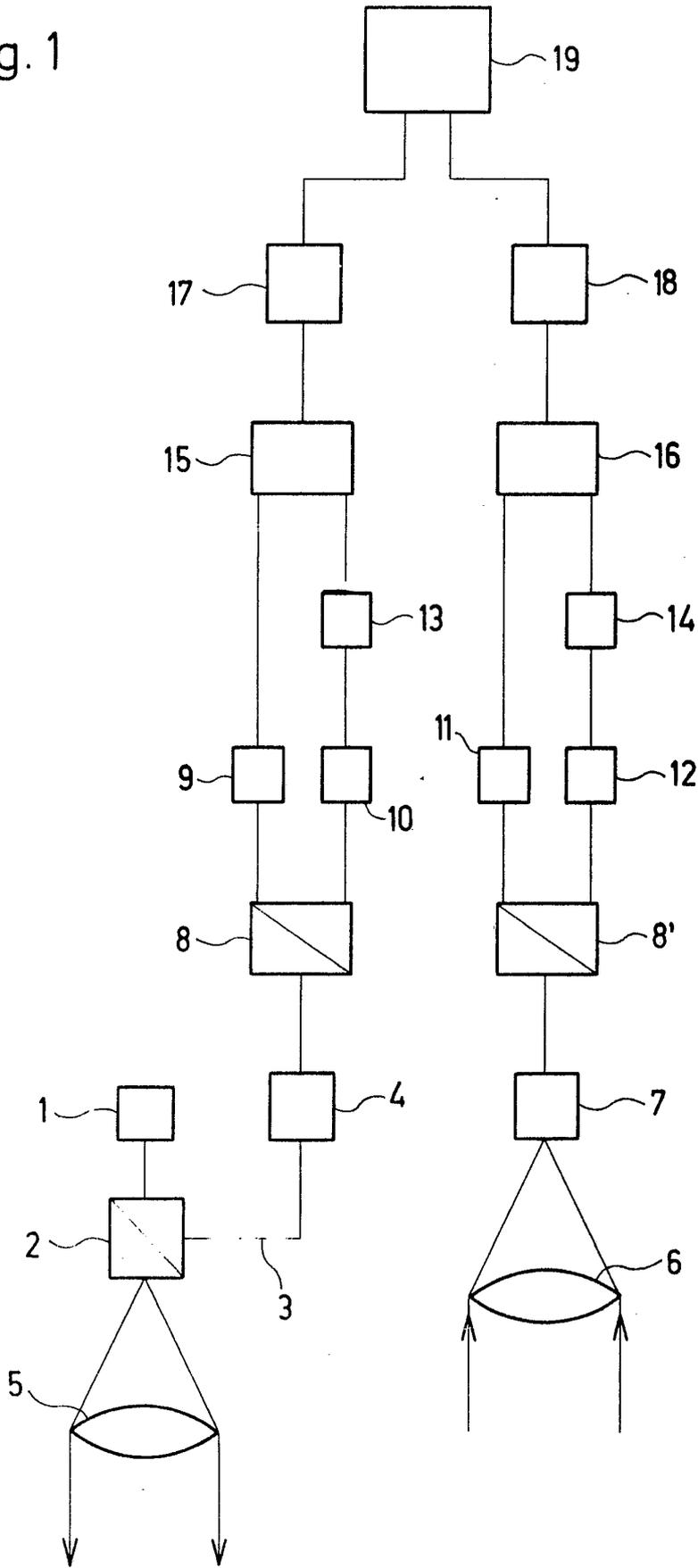


Fig. 2

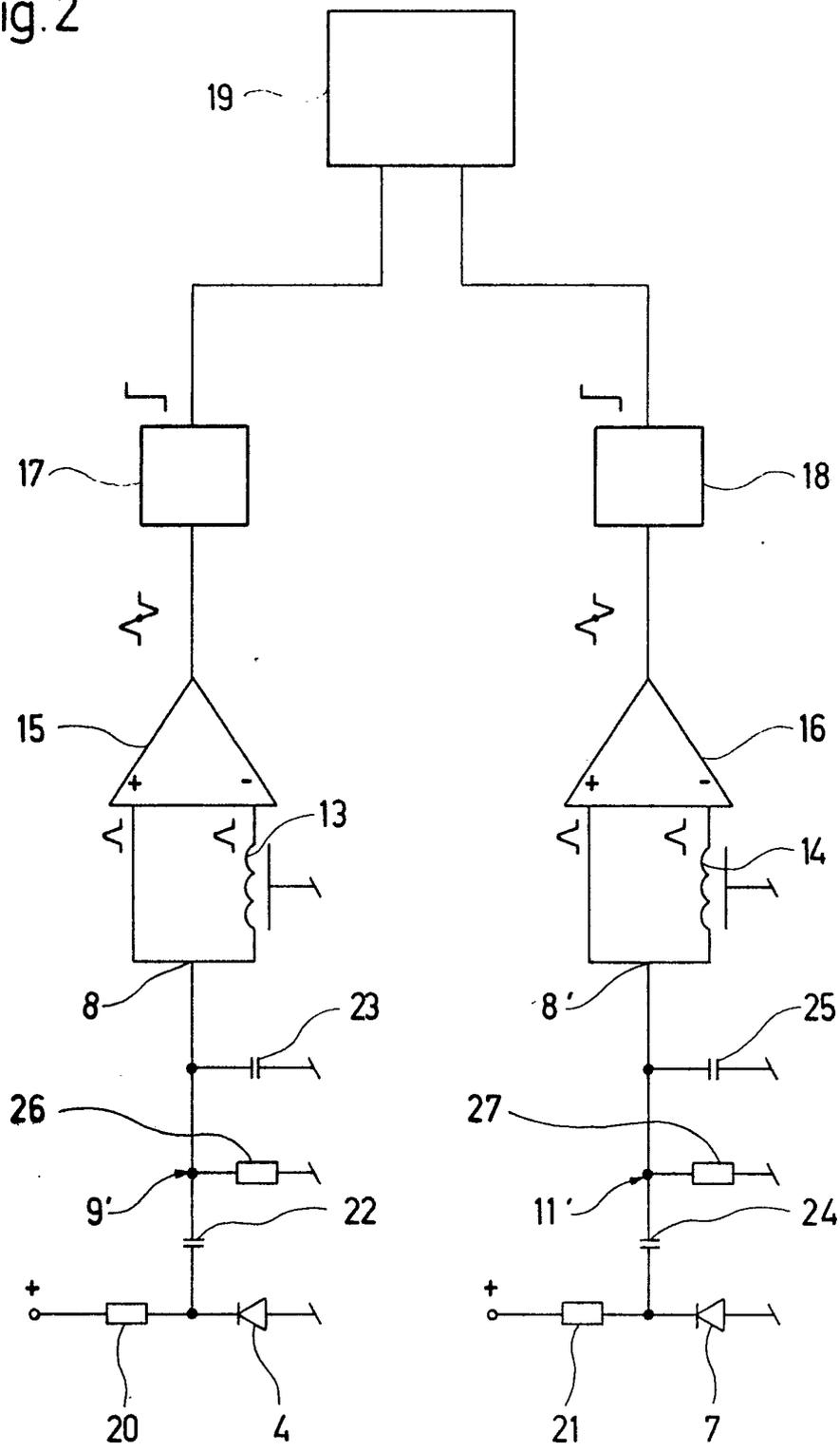


Fig. 3

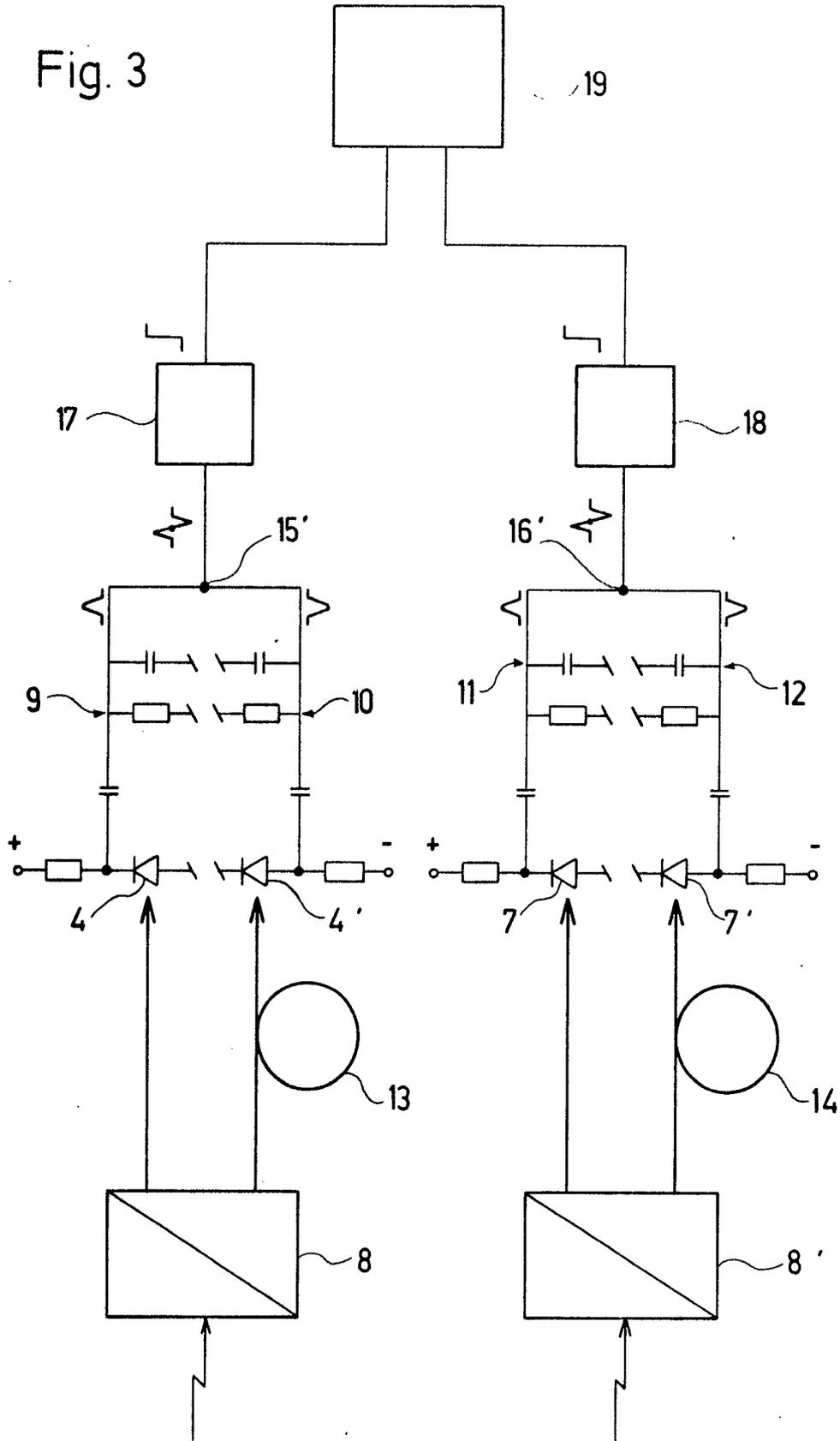


Fig. 4

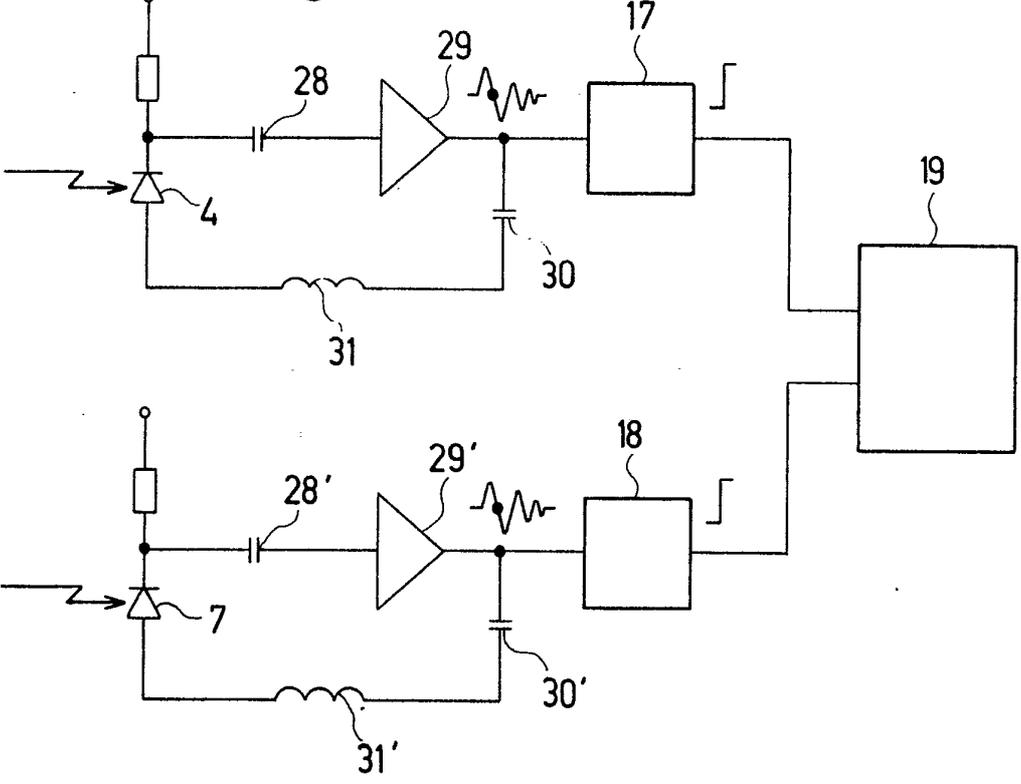


Fig. 5

