



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 674 675 A5

⑤ Int. Cl.⁵: G 01 C 3/08
G 01 S 17/32

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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 4163/87

㉓ Inhaber:
Kern & Co. AG, Aarau

㉒ Anmeldungsdatum: 23.10.1987

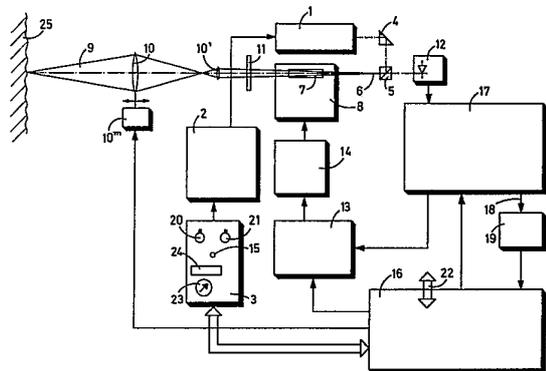
㉔ Patent erteilt: 29.06.1990

㉕ Patentschrift
veröffentlicht: 29.06.1990

㉗ Erfinder:
Meier, Dietrich, Dr., Niedererlinsbach

⑤④ Verfahren zur elektrooptischen Distanzmessung.

⑤⑦ Zur Vereinfachung der Reflektoren bei der elektrooptischen Distanzmessung mit einem Distanzmessgerät mit Lichtmodulation ausserhalb der Lichtquelle (1) wird vorgeschlagen, den Distanzmesstrahl (9) auf den Zielgegenstand (25) zu fokussieren. Dadurch werden Distanzmessungen auf unpräparierte ("nicht kooperative") oder lediglich mit einfachen Reflexfolien markierte Objekte (25) möglich.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur elektrooptischen Distanzmessung unter Verwendung eines Distanzmessgerätes, in welchem ein elektromagnetischer Strahl (6) erzeugt, mittels eines elektrooptischen Modulators (8) ein erstes Mal moduliert und auf einen Zielgegenstand (25) gerichtet wird und mit welchem am Zielgegenstand reflektierte Strahlanteile aufgenommen, erneut moduliert und in ihrer Stärke gemessen werden, dadurch gekennzeichnet, dass der moduliert elektromagnetische Strahl (9) auf den Zielgegenstand (25) fokussiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zielgegenstand (25) im Auftreffbereich des elektromagnetischen Strahles (9) mit einer Vielzahl reflektierender Elemente versehen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vielzahl reflektierender Elemente auf einer Reflexfolie angeordnet ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Modulator (8) einen elektrooptischen Kristall (7) umfasst, mit dem die Polarisierung des elektromagnetischen Strahles (6) moduliert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromagnetische Strahl (6) kohärent ist und das erste und zweite Mal mit demselben elektrooptischen Kristall (7) moduliert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der kohärente elektromagnetische Strahl linear polarisiert und nacheinander durch einen polarisierenden Strahlenteiler (5) den elektrooptischen Kristall (7), eine an die Wellenlänge des Strahles angepasste Viertelwellenplatte (11) den Zielgegenstand (25) und erneut durch die Viertelwellenplatte (11), den elektrooptischen Kristall (7) und den polarisierenden Strahlenteiler (5) auf einen Strahlendetektor (12) geführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Kriterium für die Fokussierung des elektromagnetischen Strahles (9) auf den Zielgegenstand (25) ein Auftreten von Interferenzen zwischen den am Zielgegenstand reflektierten und im Distanzmessgerät gestreuten Strahlanteilen auf dem Strahlendetektor (12) verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromagnetische Strahl (6) mit einer sich ändernden Frequenz moduliert wird und dass als Kriterium für die Strahlfokussierung den Frequenzänderungen entsprechende Änderungen der am Zielgegenstand (25) reflektierten Strahlanteile auf dem Strahlendetektor (12) verwendet werden.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektrooptischen Distanzmessung unter Verwendung eines Distanzmessgerätes, in welchem ein elektromagnetischer Strahl erzeugt, mittels eines elektrooptischen Modulators ein erstes Mal moduliert und auf einen Zielgegenstand gerichtet wird und mit welchem am Zielgegenstand reflektierte Strahlanteile aufgenommen, erneut moduliert und in ihrer Stärke gemessen werden.

Elektrooptische Distanzmessgeräte unter Ausnutzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Raum, bzw. in der Luft sind in verschiedenen Formen bekannt. In der Praxis am meisten durchgesetzt haben sich Geräte, bei denen die Helligkeit eines Lichtstrahles sinusförmig moduliert wird. Bei zweimaligem Durchlaufen der Messstrecke bis zu einem Reflektor und wieder zurück erfährt die Modulation

eine Phasenverzögerung, die mit optischen und elektrischen Mitteln gemessen wird und distanzabhängig ist. Im Zuge der Entwicklung der elektrischen Zeitmesstechnik hat man auch schon die Laufzeit einzelner Lichtimpulse oder Blitze

einmalig oder wiederholt zur Distanzbestimmung gemessen. Weniger verbreitet sind Messgeräte, die nach der sogenannten Zahnradmethode (A.H.L. Fizeau, 1846) arbeiten. Dabei wurde ursprünglich ein Lichtstrahl durch ein Zahnrad periodisch unterbrochen, dann zu einem Reflektor gesendet und schliesslich wieder am gleichen Zahnrad ein zweites Mal periodisch unterbrochen. Aus der Drehzahl des Zahnrades im Falle einer Auslöschung des rückkehrenden Lichtstrahles lässt sich dessen Laufzeit durch Vergleich mit der Laufzeit eines Zahnradzahnes bis zur nächsten Zahnücke

bestimmen. Moderne Messgeräte nach der Zahnradmethode verwenden anstelle des Zahnrades elektrooptische Kristalle als Modulator (US-Patentschrift 3424531, P.L. Bender et al.). Dabei wird der Messstrahl nicht mehr periodisch unterbrochen, sondern die elliptische Polarisierung wird periodisch verändert. Moduliert man im Kristall einen linear polarisierten Lichtstrahl mit bezüglich der Kristallachsen geeigneter Lage der Polarisierungsebene mit einem Sinussignal von einigen 100 MHz und treffen reflektierte Strahlanteile beim zweiten Kristalldurchgang in umgekehrter Richtung die gleiche Modulationsphase an, wie beim ersten Durchgang, so erhält man die ursprüngliche zeitlich konstante Linearpolarisation wieder zurück und beobachtet an einem geeigneten Polarisations-Analysatorfilter Helligkeitsauslöschung. In diesem Fall befindet sich in jedem Moment gerade eine ganze Anzahl von Modulationswellenlängen auf der doppelten Messdistanz zwischen Modulatorkristall und Reflektor. Beobachtet man kein Helligkeitsminimum, so kann man ein solches herbeiführen, indem man die Messdistanz oder die Modulationswellenlänge ändert. Beides ist gemäss dem Stand der Technik bekannt (vgl. auch GB-Patentschrift 919368, K.D. Froome et al.). Bekannte Distanzmessgeräte mit elektrooptischen Kristallmodulatoren arbeiten mit einem oder mehreren Würfecken-Reflektoren als Zielobjekt, welche einen auftreffenden Messstrahl weitgehend auf den Weg umlenken, auf dem er vom Distanzmessgerät her gekommen war. Dieser Weg schliesst auch den Modulationskristall ein, sodass eine weitgehende Rückmodulation möglich ist, die zur Beobachtung des oben genannten Helligkeitsminimums führt. Zu diesem Zweck müssen die Würfeckenreflektoren eine hohe Präzision aufweisen und auch beibehalten, sie sind daher teuer und unhandlich. Versucht man, mit Distanzmessgeräten bekannter Art mit elektrooptischen Kristallmodulatoren auf natürliche Objekte oder Reflexfolien anstelle der Würfeckenreflektoren zu messen, so zeigt sich, dass keines der genannten Helligkeitsminima mehr auftritt, also keine Messung möglich ist, obwohl genügend intensive Strahlanteile vom Zielgegenstand her aufgenommen werden.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur elektrooptischen Distanzmessung mit einem Distanzmessgerät mit einem Modulator nach der Zahnradmethode anzugeben, welches auch Messungen auf natürliche Objekte oder Reflexfolien usw. erlaubt.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass der moduliert elektromagnetische Strahl auf den Zielgegenstand fokussiert wird. Diese Lösung geht von der Erkenntnis aus, dass bei einem ausgedehnten Strahlfleck auf einem Zielgegenstand mit einer breiten Streucharakteristik zuviele zurückkommende Strahlanteile bei der Demodulation im Kristall neue und schräge Wege mit unterschiedlicher Modulationswirkung durchlaufen. In diesem Fall kann keine einheitliche Linearpolarisierung für ein Helligkeitsminimum erreicht werden.

Arbeitet man hingegen infolge der Fokussierung mit einem sehr kleinen Strahlfleck, so gehen vom ursprünglichen Strahlweg weggestreute Strahlanteile einfach verloren, ohne im Messgerät das gesuchte Minimum zu verdecken.

Das genannte Lösungsverfahren ermöglicht nun, weitere zweckmässige Ausführungsformen, welche in den Patentansprüchen 2 bis 8 gekennzeichnet sind.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Es zeigt die Fig. ein Schema eines elektrooptischen Distanzmessgerätes zur Verwendung beim erfindungsgemässen Verfahren.

Ein He-Ne-Laser 1 gemäss Fig. wird von einer Stromversorgungsstufe 2 gespeist, welche von einem Bedienpult 3 gesteuert wird. Der Strahl des Lasers 1 gelangt über ein Umlenkprisma 4 auf einen polarisierenden Strahlenteiler 5, an dem er linear polarisiert wird. Der linear polarisierte Strahl 6 durchsetzt dann einen elektrooptischen Modulatorkristall 7, der sich im Hohlraumresonator eines Modulators 8 befindet. Der in seiner elliptischen Polarisation modulierte Laserstrahl 9 gelangt über eine Optik 10, 10' auf die Messstrecke, deren Länge gemessen werden soll und typisch zwischen einigen m und einigen km liegt.

Die Optik umfasst zwei Glieder 10, 10', von denen das Glied 10 zur Fokussierung längs der optischen Achse über eine Antriebseinheit 10'' verschieblich ist. Der in der Optik 10, 10' aufgeweitete Laserstrahl 9 wird beim Betrieb des Distanzmessgerätes auf einen Zielgegenstand 25 fokussiert. Als Einstellkriterium dient die Modulation von am Zielgegenstand 25 reflektierten Strahlanteilen, welche von einem Photoempfänger 12 aufgenommen werden, wie nachfolgend näher beschrieben. Am Zielgegenstand 25 reflektierte Strahlanteile des modulierten Laserstrahles 9 gelangen also über die Optik 10, 10' zum Modulatorkristall 7 zurück. Auf seinem Weg vom Modulatorkristall 7 zur Optik 10 und zurück durchläuft der Laserstrahl 9 zweimal eine Viertelwellenplatte 11. Ohne die Wirkung des Modulators 8 weist deshalb der zurückkehrende linear polarisierte Laserstrahl 6 gegenüber dem ausgesendeten Strahl eine 90 Grad gedrehte Polarisationsebene auf, sodass er den polarisierenden Strahlenteiler 5 gradlinig durchläuft und auf den Photoempfänger 12 trifft.

Der Modulatorkristall 7 ist ein Lithium-Niobat-Kristall, der von einer Mikrowellenquelle 13 über einen Treiber-Verstärker 14 mit einem Modulationssignal variabler und einstellbarer Frequenz beaufschlagt wird. Hat das periodische Modulationssignal z.B. eine Frequenz von 500 MHz, so läuft nach je 2 ns eine Modulationswelle von 60 cm Länge auf die Messstrecke. Beträgt die doppelte Länge der Messstrecke gerade ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationswellenlänge 60 cm, so haben am messstreckenseitigen Ende des Modulationskristalles 7 der auslaufende und der zurückkehrende Laserstrahl 9 zu jedem Zeitpunkt die gleichen Modulationszustände. Der rückkehrende Strahl wird dann vom Kristall 7 gerade vollständig demoduliert und erhält seine lineare Polarisation zurück, wegen der $\lambda/4$ -Platte 11 allerdings mit um 90 Grad gedrehter Polarisationsebene, sodass am Photoempfänger 12 ein Helligkeitsmaximum auftritt. Weil die Modulationswirkung insbesondere beim verwendeten LiNbO_3 -Kristall stark temperaturabhängig ist, sind beim Messgerät Modulation und Demodulation an ein und demselben Kristall 7 im sog. «round-trip-mode» vorgesehen, wobei infolge der $\lambda/4$ -Platte 11 eine Polarisationsdrehung erfolgt, damit sich temperaturbedingte statische Doppelbrechungseffekte zu jedem Zeitpunkt kompensieren. Verändert man die Frequenz an der Mikrowellenquelle 13, so ist das Verhältnis von doppelter Messstreckenlänge zu Modulationswellenlänge nicht mehr ganzzahlig,

und die Helligkeit am Photoempfänger 12 zeigt einen charakteristischen periodischen Verlauf mit Maxima und ausgeprägten Minima.

Beim weiter unten genauer beschriebenen Messablauf wird nach Auslösung mittels einer Start-Taste 15 am Bedienpult 3 durch eine Steuerstufe 16 an der Mikrowellenquelle 13 eine Folge steigender oder fallender Frequenzen nacheinander eingestellt. Mittels eines Steuersignales aus einer Synchronisierstufe 17 wird jeder eingestellten Frequenz noch eine Frequenzmodulation (Wobble) im kHz-Rhythmus mit einem Frequenzschub von ± 100 kHz aufgeprägt. Auf diese Weise wertet man den genannten charakteristischen Signalverlauf am Photoempfänger 12 durch Abtasten in zwei frequenzbenachbarten Detektionskanälen I und II mit der Synchronisierstufe 17 aus. Dabei ist die Steuerstufe 16 so programmiert, dass durch zeitliche Mittelung der den jeweiligen Minima entsprechenden Frequenzen atmosphärische Schwankungen des optischen Messweges ausgeglichen werden.

Beim oben erwähnten Fall, dass die doppelte Länge der Messstrecke gerade ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationswellenlänge ist, beträgt die Laufzeit $2T$ des Lichtes vom Modulator 7 bis zum Reflektor 25 und zurück gerade ein ganzzahliges Vielfaches Γ der Modulationsperiode $t = 2$ ns, also $2T = \Gamma \cdot t$. Dabei ist aber der Zahlenwert von Γ noch unbekannt. Diese Mehrdeutigkeit wird in an sich bekannter Weise dadurch behoben, dass man für zwei oder mehrere aufeinanderfolgende Minima des Signalverlaufes am Photoempfänger 12 die Modulationsfrequenz, bzw. Modulationsperioden t bestimmt. Trät für das Vielfache Γ das Minimum bei der Modulationsperiode t Γ auf und für das n -te darauffolgende Vielfache $(\Gamma + n)$ bei der Modulationsperiode t $(\Gamma + n)$, so ist in jedem Fall die Laufzeit $2T = \Gamma \cdot t$ $\Gamma = (\Gamma + n) \cdot t$ $(\Gamma + n)$. Daraus erhält man das gesuchte Vielfache $\Gamma = t$ $(\Gamma + n) / (t$ $(\Gamma + n))$, die Laufzeit $T = (\frac{1}{2}) \cdot \Gamma \cdot t$ und die Messstrecke $L = c \cdot T$, wobei die Lichtgeschwindigkeit c in bekannter Weise von Druck, Temperatur und Feuchte der Luft abhängt.

Die Auswertung des Ausgangssignales des Photoempfängers 12 erfolgt wie bereits erwähnt, mittels der Synchronstufe 17 und der Steuerstufe 16. Dabei tastet ein in der Stufe 17 vorgesehener Synchrondetektor synchron mit dem Steuersignal für die Frequenzmodulation der Mikrowellenquelle 13 das Signal des Empfängers 12 immer dann ab, wenn die gewobbelte Modulationsfrequenz für den Modulator 8 ihre relativen Maxima (Kanal II) und Minima (Kanal I) erreicht. Bis zum Eintreffen der jeweils folgenden Abtastwerte hält der Synchrondetektor die Werte in den Kanälen I und II. Durch Differenzbildung zwischen den Kanälen I und II und Ausmittelung der Differenz erhält man ein Analogsignal, dessen Vorzeichen die Ablage des Signals des Empfängers 12 vom Minimum angibt. Dieses Analogsignal gelangt auf einer Leitung 18 auf einen Analog-Digitalwandler 19, der es in ein digitales 8-Bit-Signal wandelt und der Steuerstufe 16 zuführt. Die Steuerstufe 16 dient zur programmierten Steuerung der Frequenzen der Mikrowellenquelle 13, zur Ermittlung der oben beschriebenen charakteristischen Modulationsperioden t $(\Gamma + n)$ aus dem digitalen 8-Bit-Signal vom A/D-Wandler 19, zur Ausgabe der Messergebnisse und zur Steuerung des Frequenzhubs über die Synchronstufe 17 und die Mikrowellenquelle 13.

Am Bedienpult 3 sind andererseits noch Schalter 20 und 21 zur manuellen Auswahl von Betriebsarten über die Steuerstufe 16 vorhanden. Mit dem Schalter 20 kann man den oben beschriebenen Frequenzhub wählen. Der Schalter 21 hat die Stellung AUS, FERN, MESS, BATTERIE-TEST. Bei der Stellung FERN ist der Messablauf, sowie die Ausgabe der Ergeb-

nisse extern über eine ASB («american standard code for information interchange single line bus») 22 steuerbar, bei der Stellung BATTERIE-TEST kann man die Spannung der Batterie für die Stromversorgung des Distanzmessgerätes an einem Instrument 23 ablesen. Bei Stellung MESS dient das Instrument 23 der Anzeige der Stärke des Signals des Empfängers 12. Eine digitale Anzeige 24 dient der Anzeige der gemessenen Distanzen.

Unter Beachtung der oben beschriebenen Prinzipien lassen sich viele Ausführungsformen realisieren, ohne den Rahmen der Patentansprüche zu verlassen. Je nach Leistung der verwendeten Strahlungsquelle 1 bedarf der Zielgegenstand 25 für kleinere Messdistanzen keiner besonderen Markierungen oder Reflexverstärker. Gute Messergebnisse erzielt man, wenn der Zielgegenstand in an sich bekannter Art mit einer Vielzahl reflektierender Elemente versehen wird, welche als kleine Glaskugeln auf einer Scotchlite-Reflexfolie angeordnet sein können. Kombiniert man das Distanzmessgerät mit einem Theodoliten zu einem Tachy-

meter, so kann man anstelle einer separaten Fokussieroptik 10, 10' das Theodolit-Fernrohr zur Fokussierung benutzen, wenn man den Distanz-Messstrahlengang vor dem Fokussierglied einspiegelt. Weiterhin ist es möglich, Interferenzen 5 zwischen vom Zielgegenstand zurückkehrenden Strahlenteilen und Störreflexen vom Sender 1 auf dem Photoempfänger 12 als Einstellkriterium für die Fokussierung zu verwenden, weil dieselben nur im fokussierten Strahlengang auftreten. Für den Lichtwandler 12 eignen sich empfindliche 10 Systeme mit geringer Frequenzbandbreite, wie PIN-Dioden, Sekundärelektronenvervielfacher, Avalanche-Photodioden. Insbesondere bei Zielgegenständen 25, deren Oberfläche an verschiedenen Stellen die Polarisierung des Messstrahles unterschiedlich verändert, bietet der kleine Messfleck 15 infolge der erfindungsgemässen Fokussierung den Vorteil, dass die Polarisierung der empfangenen Strahlenteile höchstens eine einheitliche Änderung erfährt, jedoch nicht viele unterschiedliche Änderungen aufweist, wobei kein Minimum mehr ausmessbar wäre.

