



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 102 253.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/RU2011/000452**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/002843**
(86) PCT-Anmeldetag: **24.06.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.01.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **16.05.2013**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **03.04.2014**

(51) Int Cl.: **G01P 3/36 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2010126779 01.07.2010 RU

(73) Patentinhaber:
OOO "Sensorika-M", Moscow, RU; Rastopov, Stanislav Federovich, Moskau/Moscow, RU

(74) Vertreter:
Stamer, Jan, Dipl.-Ing., 35579, Wetzlar, DE

(72) Erfinder:
RASTOPOV, Stanislav Fedorovich, Moscow, RU

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur optischen Raster-Messung der Geschwindigkeit eines Gegenstandes**

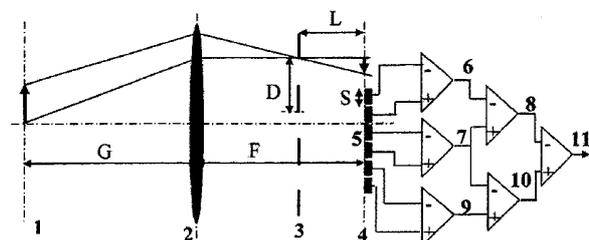
(57) Hauptanspruch: Verfahren zur optischen Rastermessung der Geschwindigkeit eines Gegenstandes, umfassend die Bildung einer Raumamplitudenmodulation des Lichts, das von einem beleuchteten Gegenstand reflektiert wird, in Bewegungsrichtung des Gegenstandes mit Hilfe eines optischen Systems (2) und eines periodischen Rasters (3), die Registrierung der Amplitude der Modulation des Lichts mit Hilfe einiger Fotodetektoren (5), die in der Fokalebene (4) des optischen Systems (2) nacheinander in Richtung der zu messenden Geschwindigkeit angeordnet sind, und die Bildung eines variablen elektrischen Signals durch Ableitung der Signale der benachbarten Fotodetektoren durch einen Differentialverstärker, wobei anhand der Frequenz des elektrischen Signals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Raster (3) zwischen dem optischen System (2) und den Fotodetektoren (5) im mittleren Drittel des Abstandes (F) zwischen ihnen angeordnet ist, wobei das Licht mit Hilfe von mindestens vier Fotodetektoren (5) registriert wird, die in gleichem Abstand (S) zueinander angeordnet sind, wobei die Ausgänge eines ersten und eines zweiten Fotodetektors mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines ersten Differentialverstärkers, die Ausgänge eines dritten und eines vierten Fotodetektors mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines zweiten Differentialverstärkers, und die Ausgänge beider Differentialverstärker mit verschiedenen Eingängen eines dritten Differentialverstärkers verbunden werden,

wobei anhand der Frequenz des von diesem kommenden Ausgangssignals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird, wobei die Rasterperiode D nach folgender Bedingung ausgewählt wird:

$$D = K \cdot S \cdot (F - L + L \cdot G / F) / F$$

wobei

K – ein Multiplikator, dessen optimale Größe für vier Fotodetektoren gleich 3,3 ist,
S – der Abstand zwischen den Zentren der Fotodetektoren,
F – der Fokalabstand des optischen Systems,
L – der Abstand vom Raster zu den Fotodetektoren,
G – der optimale Abstand vom optischen System zum Gegenstand ist.



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2011 102 253 B4** 2014.04.03

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	197 22 524	A1
US	6 403 950	B1
US	4 961 643	A
US	4 921 345	A
WO	2008/ 033 049	A1

JP52-143081A

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der Messtechnik, insbesondere optische Messgeräte zur Messung der Geschwindigkeit beispielsweise eines Kraftfahrzeugs, auf dem ein Messgerät zur Messung, bezogen auf den Weg, der Geschwindigkeit von sich bewegenden Körpern in Bezug zu einem unbeweglichen Messgerät, usw. befestigt ist.

[0002] Die optischen Geschwindigkeitsmesser umfassen im Allgemeinen eine Einrichtung zur Beleuchtung des Messgegenstandes, ein optisches System zur Erzeugung dessen Abbildung und Fotodetektoren zur Analyse der Bewegungsgeschwindigkeit der Abbildung. Anhand der Bewegungsgeschwindigkeit der Abbildung, wobei die Vergrößerung des optischen Systems bekannt ist, wird die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt. Zur Messung der Geschwindigkeit des Gegenstandes ist auch die Anwendung so genannter Raumfilter bekannt, die aus der stochastischen Struktur der Oberfläche des Gegenstandes eine Raumperiodizität ableiten. Bei der Bewegung der Abbildung des Gegenstandes gemäß einer solchen Struktur bildet sich ein variables elektrisches Signal, dessen Frequenz direkt proportional zur Geschwindigkeit des Gegenstandes ist. Ein solcher Filter kann durch ein periodisches Gitter von Fotodetektoren verwirklicht werden, die in der Nähe der Abbildungsebene angeordnet sind (Patent USA US4921345 A vom 01.05.1990, japanisches Patent JP52143081 A vom 29.11.1977). Der Raumfilter besteht aus einer Reihe von Fotodetektoren, deren Elemente über einen Fotodetektor verbunden sind, dessen Signale mit verschiedenen Eingängen eines Differentialverstärkers verbunden sind. Ein Signal von mittlerer Leuchtdichte des Gegenstandes wird abgeleitet, und ein Signal, das zur Geschwindigkeit proportional ist, zeigt sich in der Gegenphase an den Eingängen des Verstärkers und wird an dessen Ausgang addiert. Es ist auch ein Geschwindigkeitsmesser bekannt, in dem ein periodisches Amplituden- oder Phasengitter verwendet wird, dessen Linien senkrecht zur Bewegungsrichtung der Abbildung angeordnet sind. Solche Gitter teilen die Abbildung in zwei oder mehr Abbildungen, die sich durch ein zusätzliches optisches System auf zwei oder mehr Fotodetektoren fokussieren (Patent USA US6403950 B1 vom 11.06.2002). Aus der DE 197 22 524 A1 ist ein optischer Frequenzgeber mit Korrelator bekannt, bei dem die Relativgeschwindigkeit eines Strichgitters zu der eines optischen Tastkopfes als proportionale Frequenz darstellbar ist. Aus der US 4 961 643 A ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Geschwindigkeitsmessung bekannt, wobei eine Vielzahl von Photodetektoren alternierend verschaltet und in zwei Gruppen zusammengefasst werden. Die verschalteten Signale werden voneinander subtrahiert wobei die Frequenz des resultierenden Signals proportional zu der Bewegungsgeschwindigkeit ist. Eine Raum-

verschiebung der Abbildung im Prototyp wird gleich oder kleiner, vorzugsweise um 2-mal, als der Abstand zwischen den Fotodetektoren gewählt. Die Signale von den Fotodetektoren werden paarweise zu einem vereinigt, die Signale der Fotodetektorpaare werden abgeleitet, um die parasitäre Niederfrequenzkomponente des Signals zu verringern, die durch die laufende Leuchtdichte des Gegenstandes bedingt ist, und es wird die Frequenz des Nutzsymbols proportional zur Geschwindigkeit des Gegenstandes gemessen.

[0003] Der vorliegenden Erfindung am nächsten ist ein Geschwindigkeitsmesser, der ein fokussierendes optisches System (OS) und eine Amplituden- und/oder Phasenraumstruktur (RS) aufweist, die in der Hauptebene des OS im Abbildungsraum möglichst nahe zu dieser angeordnet ist (Patent PCT WO/2008/033049 A1, Prototyp). Die durch die RS gebildete Abbildung bzw. die Abfolge der Abbildungen des Gegenstandes werden in der Fokalebene des OS mit Hilfe von zwei oder mehr Fotodetektoren registriert, die elektrischen Signale von den benachbarten Fotodetektoren werden abgeleitet und an Hand der Frequenz des resultierenden elektrischen Signals wird die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt. Zur Gewährleistung der Unabhängigkeit der Frequenz des bei einer gegebenen Geschwindigkeit des Gegenstandes gemessenen Signals vom Abstand zu diesem sind die Fotodetektoren in der Fokalebene des OS angeordnet. Der optimale Abstand S zwischen den Zentren der Fotodetektoren in Richtung der gemessenen Geschwindigkeit wird ebenfalls zweimal kleiner als die Raumverschiebung der Abbildungen in der der Abbildungen in der Fokalebene des OS gewählt.

[0004] Ein Nachteil des Prototyps besteht in der geringen Messempfindlichkeit auf Grund der Unschärfe der Abbildungen in der Fokalebene, wodurch die Amplitude des zu registrierenden Signals verringert wird.

[0005] Ein weiterer Nachteil des Prototyps besteht in der unvollständigen Kompensation der parasitären Niederfrequenzkomponente des Signals von den Fotodetektoren, weil nur die permanenten Leuchtdichteniveaus des Gegenstandes und ihre Schwankungen abgeleitet werden, bei Vorhandensein eines Leuchtdichtegradienten (ihr monotonen Ansteigen oder Abfallen während der Messung) allerdings ist die Beleuchtungsstärke der benachbarten Fotodetektoren unterschiedlich, was zu einer unvollständigen Kompensation der Niederfrequenzkomponente des elektrischen Signals führt.

[0006] Ziel der Erfindung ist die Steigerung der Messempfindlichkeit durch Erhöhung des Signal-Rausch-Verhältnisses mit Hilfe der Vergrößerung der Amplitude des zu registrierenden Signals und der Verringerung seiner parasitären Niederfrequenzkomponente.

[0007] Das angestrebte Ziel wird dadurch erreicht, dass die RS in Form eines Amplitudenrasters zwischen dem OS und der Ebene der Fotodetektoren (Fokalebene des OS), vorzugsweise im mittleren Drittel des Abstandes zwischen ihnen, angeordnet ist. Der Raster, beispielsweise in Form von aufeinanderfolgenden durchsichtigen und undurchsichtigen Streifen, teilt (moduliert) den Lichtstrahl, der vom Gegenstand reflektiert wird, in dunkle und helle Streifen, die in Bezug zu den Fotodetektoren bei einer Bewegung des Gegenstandes verschoben werden, wobei Unterschiede in seiner Leuchtdichte vorhanden sind.

[0008] Zur Unterdrückung des parasitären (nicht direkt mit der Geschwindigkeit des Gegenstandes verbundenen) Niederfrequenzteils des Signals, der durch eine mittlere momentane Leuchtdichte des Gegenstandes und ihre erste Ableitung bedingt ist, sind in der Registrierungsebene mindestens vier Fotodetektoren vorhanden, die nacheinander in Richtung der zu messenden Geschwindigkeit angeordnet sind. Die Ausgänge des ersten und des zweiten Fotodetektors werden durch einen Differentialverstärker abgeleitet, die Ausgänge des dritten und vierten Fotodetektors werden durch einen zweiten Differentialverstärker abgeleitet, die Ausgänge beider Differentialverstärker werden durch einen dritten Differentialverstärker abgeleitet, anhand der Frequenz des Signals, mit der die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird. Zur weiteren Unterdrückung des Niederfrequenzteils des Signals, der durch die zweite Ableitung der Leuchtdichte des Gegenstandes bedingt ist, wird eine größere Menge an aufeinanderfolgenden Fotodetektoren, beispielsweise 6, verwendet. Dabei erfolgt das analoge Ableiten der Signale von den noch vier Fotodetektoren, nämlich vom dritten bis zum sechsten. Die Ausgangssignale der ersten und zweiten vier Fotodetektoren werden ebenfalls abgeleitet. Dabei ist die Amplitude des Ausgangssignals des 3./4. Differentialverstärkers um 3/6-mal höher als die Anfangssignale der Fotodetektoren bei einer optimalen Phasenverschiebung.

[0009] Für den Erhalt der erforderlichen Phasenverschiebung der Signale wird die Rasterperiode D derart gewählt, dass die Periode des Schattenbildes in der Ebene der Fotodetektoren K-mal größer als die Periode der Fotodetektoren ist (für Details siehe nachstehend).

[0010] Es ist anzumerken, dass bei dem vorliegenden Verfahren vom optischen System keine Erzeugung einer Abbildung erforderlich ist. Das optische System dient nur zur Vergrößerung der Menge des zu registrierenden Lichts, das vom Gegenstand reflektiert wird, und zur Gewährleistung der Unabhängigkeit des Frequenzechos (der Signalfrequenz, die einer gewissen zu messenden Geschwindigkeit entspricht) von G. Dabei kann G auch kleiner als F sein.

[0011] Die Erfindung ist mit Hilfe von zwei Figuren erläutert. **Fig. 1** zeigt die Durchführung des Verfahrens in einer Allgemeinansicht, wobei:

Bezugszeichenliste

1	die Ebene des Gegenstandes,
2	das fokussierende optische System,
3	der Amplitudenraster,
4	die Ebene der Fotodetektoren, die mit der Fokalebene des optischen Systems zusammenfällt,
5	die Fotodetektoren,
6, 7, 8, 9, 10, 11	die Ausgänge der Differentialverstärker sind.

[0012] Mit den durchgehenden Linien ohne Pfeile ist bedingt der Verlauf der Strahlen dargestellt, die den Rand des Schattenbildes für eine Rasterperiode bilden. Mit den breiten Pfeilen sind die Verschiebung des Gegenstandes und die entsprechende Verschiebung der Ränder des Schattenbildes dargestellt.

[0013] In **Fig. 2** sind typische Oszillogramme der Ausgangsspannung der Differentialverstärker U in der Zeit T mit denselben Bezeichnungen dargestellt.

[0014] Das Verfahren wird folgendermaßen durchgeführt. Das von einem beleuchteten Gegenstand in der Ebene **1** reflektierte Licht, beispielsweise einem hellen Punkt desselben, wird vom fokussierenden optischen System, beispielsweise einer Linse, gesammelt und von einem Raster **3** moduliert, der beispielsweise in Form von periodischen durchsichtigen und undurchsichtigen Strichen ausgeführt ist, die in der Ebene senkrecht auf die Bewegungsrichtung angeordnet sind. Bei Verschiebung des Gegenstandes verschiebt sich das Schattenbild, das vom Raster gebildet wird, in der Ebene der Fotodetektoren **4** und bildet ein variables elektrisches Signal der Fotodetektoren **5**. Die Periode des Schattenbildes Y in der Ebene **4** ist gleich:

$$Y = D \cdot F / (F - L + L \cdot G / F) \quad (1)$$

wobei

- D – die Rasterperiode,
- F – der Fokalabstand des OS,
- L – der Abstand zwischen der Ebene der Fotodetektoren und der Rasterebene,
- G – der Abstand bis zum Gegenstand ist.

[0015] Hier und im weiteren Verlauf werden für die Ableitung der Formeln eine geometrische Standardberechnung und die Formel der Linse verwendet.

[0016] Die Bewegungsgeschwindigkeit des Schattenbildes bei einer Einheitsbewegungsgeschwindigkeit des Gegenstandes von beispielsweise 1 m/s in der Ebene 4 ist gleich

$$dY = (F - 1/F + L \cdot F/G)/(G - F) \quad (2)$$

[0017] Das Verhältnis der Größen (1) und (2) bestimmt das Frequenzecho des Messgeräts und beträgt

$$dY/Y = L/F/D \quad (3)$$

[0018] Je kleiner das Verhältnis L/F ist, d. h. je näher die Rasterebene der Ebene der Fotodetektoren ist, umso kleiner (3) und größer ist die Schärfe des Schattenbildes (umso größer ist die Amplitude des Nutzsignals). Allerdings verringert sich proportional dazu die Anzahl von Rasterstrichen, die das variable Signal des einzelnen Leuchtdichteabfalls des Gegenstandes bilden, wodurch das Frequenzspektrum des Signals erweitert wird, d. h. die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessungen verringert wird. Das optimale Verhältnis L/F wird durch eine konkrete Aufgabe ermittelt (beispielsweise das erforderliche Frequenzecho: je kleiner L/F umso größer ist die maximal gemessene Geschwindigkeit). Experimentell wurde festgestellt, dass das optimale Verhältnis Amplitude/Schmalbandbereich des Signals erreicht wird bei $L/F = 0,5$ und von $2/3$ bis $1/3$ für die meisten Messungen variieren kann.

[0019] Zur Unterdrückung des parasitären Niederfrequenzteils des Signals sind die Ausgänge des ersten und des zweiten Fotodetektors beispielsweise mit den invertierenden und nicht invertierenden Eingängen des ersten Differentialverstärkers 6, die Ausgänge des dritten und des vierten Fotodetektors mit den invertierenden und nicht invertierenden Eingängen des zweiten Differentialverstärkers 7, die Ausgänge beider Differentialverstärker mit verschiedenen Eingängen des dritten Differentialverstärkers 8 verbunden, wobei anhand der Frequenz des von diesem kommenden Signals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird. Dabei wird im ersten Stadium das Signal von der Fluktuation der Leuchtdichte des Gegenstandes auf dem Messgebiet abgeleitet, und im zweiten Stadium ist das Signal durch den Langzeitgradienten der Leuchtdichte bedingt (im Vergleich mit der Periode des Nutzsignals). Dies ist in Fig. 2 dargestellt, wo die Ausgangssignale der Spannung U in der Zeit T für die Differentialverstärker 6 und 7 schematisch dargestellt sind. Hier steigt die Leuchtdichte am Anfang an, bleibt dann gleich, und fällt dann ab. Da an den benachbarten Fotodetektoren 5 zum gegebenen Zeitpunkt das Licht von den

verschiedenen Gebieten des Gegenstandes abfällt, steigt ihr Differenzsignal monoton bei einem monotonen Anstieg der Leuchtdichte des Gegenstandes an, wobei dies auf beiden Fotodetektorpaaren 5 gleich ist, mit einer Genauigkeit bis zu den höchsten Ableitungen der Leuchtdichte. Zur weiteren Unterdrückung des Niederfrequenzteils des Signals, der durch die zweite Ableitung der Leuchtdichte des Gegenstandes bedingt ist, werden 6 Fotodetektoren verwendet, wobei von den ersten 4 die Signale wie oben angeführt abgeleitet werden und eben diese Ableitung für die Fotodetektoren 3 bis 6 angewandt wird, mit Hilfe der Differentialverstärker 9 und 10. Die von diesen vier Fotodetektoren resultierenden Signale werden von einem weiteren Differentialverstärker 11 abgeleitet. Eine solche Vorgangsweise kann zur Unterdrückung des Niederfrequenzteils des Signals von den höchsten Ableitungen abwärts erfolgen, allerdings ist ihr Beitrag bereits praktisch gering.

[0020] Für den Erhalt der erforderlichen Phasenverschiebung zwischen benachbarten Fotodetektoren muss die Periode Y (siehe (1)) um K -mal größer als die Periode der Fotodetektoren S für einen optimalen G sein, d. h. die Rasterperiode wird aus folgender Bedingung ausgewählt:

$$D = K \cdot S \cdot (F - L + L \cdot G/F)/F$$

[0021] Für den 4./6. Fotodetektor und einen optimalen G ist $K = 3,3/3,6$, wodurch eine Phasenverschiebung $110/100$ Grad gewährleistet ist. Dies folgt aus der direkten Berechnung der Sinusdifferenz. Dabei ist die Amplitude des Ausgangssignals um $3/6$ -mal höher als jene der Anfangssignale. Bei Veränderung des Abstandes zum Gegenstand kann sich K von 2 auf 8 verändern. Als Kriterium wurde eine Amplitude des Ausgangssignals angenommen, die mit der Amplitude der Anfangsnutzsignale vergleichbar ist, d. h. die Anfangssignale verschlechtern sich noch nicht. Dies bedeutet, dass sich der zulässige Abstand zum Gegenstand G um das 4-fache und mehr verändern kann. Dabei ist das Frequenzecho in diesem gesamten Bereich gleich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Rastermessung der Geschwindigkeit eines Gegenstandes, umfassend die Bildung einer Raumamplitudenmodulation des Lichts, das von einem beleuchteten Gegenstand reflektiert wird, in Bewegungsrichtung des Gegenstandes mit Hilfe eines optischen Systems (2) und eines periodischen Rasters (3), die Registrierung der Amplitude der Modulation des Lichts mit Hilfe einiger Fotodetektoren (5), die in der Fokalebene (4) des optischen Systems (2) nacheinander in Richtung der zu messenden Geschwindigkeit angeordnet sind, und die Bildung eines variablen elektrischen Signals durch Ableitung der Signale der benachbarten Foto-

detektoren durch einen Differentialverstärker, wobei anhand der Frequenz des elektrischen Signals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Raster (3) zwischen dem optischen System (2) und den Fotodetektoren (5) im mittleren Drittel des Abstandes (F) zwischen ihnen angeordnet ist, wobei das Licht mit Hilfe von mindestens vier Fotodetektoren (5) registriert wird, die in gleichem Abstand (S) zueinander angeordnet sind, wobei die Ausgänge eines ersten und eines zweiten Fotodetektors mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines ersten Differentialverstärkers, die Ausgänge eines dritten und eines vierten Fotodetektors mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines zweiten Differentialverstärkers, und die Ausgänge beider Differentialverstärker mit verschiedenen Eingängen eines dritten Differentialverstärkers verbunden werden, wobei anhand der Frequenz des von diesem kommenden Ausgangssignals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird, wobei die Rasterperiode D nach folgender Bedingung ausgewählt wird:

$$D = K \cdot S \cdot (F - L + L \cdot G/F) / F$$

wobei

K – ein Multiplikator, dessen optimale Größe für vier Fotodetektoren gleich 3,3 ist,

S – der Abstand zwischen den Zentren der Fotodetektoren,

F – der Fokalabstand des optischen Systems,

L – der Abstand vom Raster zu den Fotodetektoren,

G – der optimale Abstand vom optischen System zum Gegenstand ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich ein fünfter und ein sechster Fotodetektor verwendet werden, deren Ausgänge mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines vierten Differentialverstärkers verbunden sind, wobei die Ausgänge des zweiten und vierten Differentialverstärkers mit invertierenden und nicht invertierenden Eingängen eines fünften Differentialverstärkers, die Ausgänge des dritten und fünften Differentialverstärkers mit verschiedenen Eingängen eines sechsten Differentialverstärkers verbunden sind, wobei anhand der Frequenz des von diesem kommenden Signals die Geschwindigkeit des Gegenstandes beurteilt wird, wobei der optimale Multiplikator K für sechs Fotodioden gleich 3,6 ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

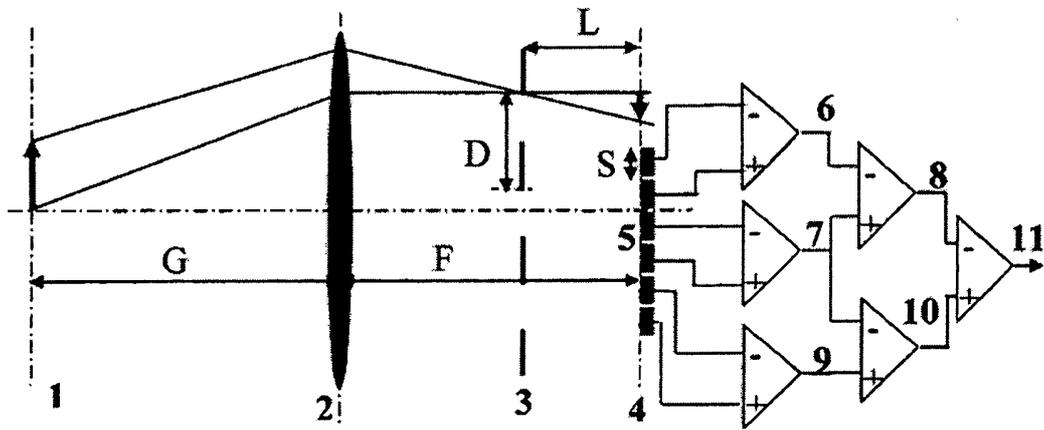


Fig. 1

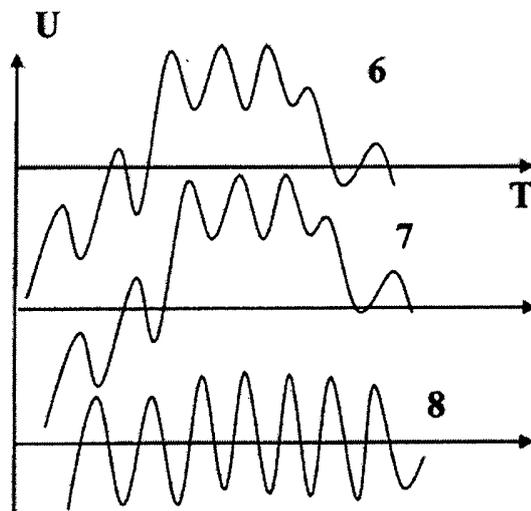


Fig. 2