



Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

1562 90

Int.Cl.³

3(51) G 01 D 5/26

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 D/ 2268 61 4

(22) 07.01.81

(44) 11.08.82

- (71) siehe (72)
(72) ENDTER, RAINER, DIPL.-PHYS.; SCHULZE, HERBERT, DIPL.-PHYS.; WOSCHNI, HANS-GUENTER, DR.; DD;
(73) siehe (72)
(74) FRIEDRICH-SCHILLER-UNI JENA, DIR. F. FORSCHUNG, BFN, 6900 JENA, AUGUST-BEBEL-STR.
4

(54) FOTOELEKTRISCHES VERFAHREN UND EMPFANGENERANORDNUNG ZUR LAGEERKENNUNG KANTENFOERMIGER
MESSSTRUKTUREN

(57) Die Erfindung betrifft ein fotoelektrisches Verfahren und eine Empfangeneranordnung zur Lageerkennung kantenfoermiger Meßstrukturen. Sie kann in optischen Feinmeßgeraeten, wie z. B. Koordinatenmeßmaschinen, oder in Bearbeitungsmaschinen, z. B. in Geraeten fuer die Fotolithografie, sowohl fuer das Antasten von kantenfoermigen als auch strichfoermigen Meßstrukturen genutzt werden. Mit dem Ziel, eine schnelle, objektive und beruehrungsfreie Meßgroßenerfassung bei der Vermessung optisch wirksamer Strukturen zu gewaehrleisten, die nicht notwendig stationaer im Hinblick auf ein feststehendes Bezugssystem sind und die zu diesen keine Vorzugsorientierung aufweisen muessen, soll durch die Erfindung ein entsprechendes Verfahren und eine Empfangeneranordnung zur richtungsunabhaengigen Lageerkennung der Meßstrukturen bereitgestellt werden. Das Wesentliche des Verfahrens besteht darin, daß der die Lage der Meßstruktur bestimmende Strahlungsfluß unabhaengig von der Orientierung zweidimensional fotometrisch bezueglich eines Bezugspunktes bewertet wird. Eine moegliche Ausfuehrungsform der Empfangeneranordnung ist in Fig. 1a dargestellt. -Figur 1a-

Titel der Erfindung

Fotoelektrisches Verfahren und Empfängeranordnung zur Lageerkennung kantenförmiger Meßstrukturen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine fotoelektrisches Verfahren und eine Anordnung zur Lageerkennung kantenförmiger Meßstrukturen, die eine beliebige Orientierung zu einem feststehenden Bezugssystem (Koordinatensystem) aufweisen können. Anwendung findet die Erfindung z. B. in optischen Feinmeßgeräten (Koordinatenmeßmaschinen) zur Objektivierung des Positionierverfahrens in den Koordinatenrichtungen x , y und z , wobei eine automatische Anmessung bewegter, d. h. nicht stationärer Strukturen möglich ist. Ein weiteres Einsatzgebiet der Erfindung betrifft die Lageerkennung einfacher geometrischer Strukturen auf Schablonen bzw. Halbleiterchips in der Fotolithografie.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Fotoelektrische Systeme werden in vielfältiger Form für den Aufbau fotoelektrischer Mikroskope und von Wegmeßsystemen, aber auch zur Objekterkennung und Bildanalyse genutzt. In der Literatur werden dazu vor allem auf dem Gebiet der Fotolithografie eine Vielzahl von statischen und dynamisch arbeitenden fotoelektrischen Verfahren und Anordnungen zur Lagebestimmung von Kanten, besonders aber von strichförmigen ebenen Objekten, beschrieben (z. B. in Optik 21 (1964) S. 605 ff. und Wiss. Ztschr. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Math.-Nat. R., 25. Jg. (1976) H. 5 S. 683). Diese Verfahren sind oft sehr aufwendig oder sie erfüllen die Anforderungen, die durch die Koordinatenmessung gestellt werden, nicht vollständig (z. B. Notwendigkeit von definierten Marken auf den anzumessenden Objekten; Vororientierung zum Meßsystem).

Weiterhin sind Vorrichtungen zur fotoelektrischen Bestimmung der Lage eines Objektes bekannt, bei denen eine Bildaufnahmeröhre als Wandler Verwendung findet (WP 128637 DD). Durch eine geeignete Ansteuerung der Ablenkeinheit wird eine ein- bzw. zweimalige Abtastung des Bildes in x- und y-Richtung in der Bildaufnahmeröhre vorgenommen. Eine geeignete Auswertelektronik ermittelt die Fehllage gegenüber einer idealen Marke in x-, y- und φ -Richtung. Die Meßzeit ist ≤ 100 ms.

Außerdem ist ein Verfahren bekannt (OS 2405 102 DB), bei dem eine strich- oder kantenförmige Struktur mit Hilfe einer mechanisch abgelenkten und zirkular rotierenden Punktlichtsonde abgetastet wird. Die dabei an einem Fotoempfänger entstehenden Meßsignale werden in Bezug auf ihre Phasenlage zur Rotationsbewegung für die Bestimmung der Winkellage der Struktur ausgewertet. Die Frequenzanalyse der Meßsignale liefert die Ablage zum Rotationszentrum.

Die beiden zuletzt genannten Lösungen sind durch ein dynamisches Meßprinzip gekennzeichnet. Der Einsatz mechanischer Ablenkmittel beschränkt dabei die Anwendung des Verfahrens auf quasistationäre Objekte. Aber auch der Einsatz nichtme-

chanischer Ablenkmittel (z. B. die Verwendung von Bildaufnahmeröhren) bringt wegen der begrenzten örtlichen Auflösung Probleme mit sich. Nicht zuletzt dürften die beiden Verfahren bei nichtidealen Strukturen zu erheblichen Meßfehlern führen, da der Strukturort nach keiner der allgemein anerkannten Ortsdefinitionen angemessen wird.

In der OS 2102027 DB wird ein Verfahren beschrieben, das den Kantenort definitionsgemäß am Ort des maximalen Schwärzungsgradienten eines kantenförmigen Intensitätsprofils zu messen gestattet. Hierzu wird auf optischem Weg die zweifache Ableitung des Intensitätsprofils gebildet. Erfindungsgemäß ist dieses Verfahren jedoch nur für eine bzw. zwei (siehe OS 2017400 DB) Vorzugsmeßrichtungen einsetzbar.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist eine schnelle, objektive und berührungsfreie Meßgrößenerfassung bei der Vermessung optisch wirksamer Strukturen, die nicht notwendig stationär im Hinblick auf ein feststehendes Bezugssystem sind und die zu diesem keine Vorzugsorientierung aufweisen müssen. Speziell bei optischen Feinmeßgeräten, insbesondere Koordinatenmeßgeräten mit digitalem Wegmeßsystem, soll die Erfindung eine höhere Positioniergenauigkeit und Meßgeschwindigkeit durch den Ersatz der noch vorherrschenden visuellen Positionierverfahren ermöglichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein fotoelektrisches Verfahren und eine Empfängeranordnung zu entwickeln, die zur sichtungsunabhängigen Lageerkennung von optisch wirksamen, strich- oder kantenförmigen Meßstrukturen geeignet sind und das Ziel der Erfindung erreichen. Bei Koinzidenz des nach der fotometrischen Mittendefinition anvisierten Strukturorts soll ein geeignetes Steuersignal für eine

periphere Meßelektronik, z. B. die Positionsausgabe eines Wegmeßsystems, ableitbar sein.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein statisches fotoelektrisches Verfahren gelöst, welches durch eine zweidimensionale fotometrische Bewertung der von charakteristischen Strukturelementen abgegebenen Strahlungsflüsse die Lagebestimmung der Struktur unabhängig von deren Orientierung in einem feststehenden Bezugssystem (Koordinatensystem) bezüglich eines ausgezeichneten Zielpunktes (Koordinatenursprung) ermöglicht. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß das Minimum und das Maximum des Strahlungsflusses in der unmittelbaren Nähe des Kantenübergangs optisch integral zweidimensional erfaßt werden, die Summe dieser integralen Strahlungsflüsse entweder optisch mit einer peripheren Blendenfläche (z. B. Kreisring) gebildet und dazu ein proportionales elektrisches Signal abgeleitet wird oder eine elektrische Summation einzelner Signalwerte erfolgt, wobei die einzelnen Signalwerte den durch mehrere periphere Blendenteilflächen hindurchtretenden Teilstrahlungsflüssen proportional sind und daß weiterhin der integrale Strahlungsfluß des Kantenübergangs von einer zentralen Blendenfläche vollständig aufgenommen wird und dazu wiederum ein proportionales elektrisches Signal gewonnen wird. Anschließend erfolgt eine Differenzbildung der resultierenden elektrischen Signalwerte, wobei die Signale durch Vorverstärkung entsprechend dem Flächenverhältnis von peripherer Blendenfläche zu zentraler Blendenfläche bewertet werden. Für den Fall, daß die Flächen gleich groß sind, kann die Vorverstärkung selbstverständlich entfallen.

Vorzugsweise wird der im Differenzsignal auftretende Nulldurchgang zur Anzeige einer definierten Relativlage von Meßstruktur und Koordinatenursprung verwendet.

Die von der zentralen und der peripheren Blendenfläche abgegebenen Strahlungsflüsse werden entweder durch geeignete strahlführende Elemente auf zwei fotoelektrische Empfänger geleitet, oder sie werden zusammengefaßt und über einen Strahlunterbrecher auf einen Empfänger abgebildet (Chopperverfahren).

Es ist auch im Sinne der Erfindung, die Blendenflächen durch entsprechend gestaltete und angeordnete Empfängerflächen fotoelektrischer Empfänger zu bilden, wobei diese integriert auf einem Chip oder als Hybrid Aufbau hergestellt werden können. Die fotoelektrische Empfängeranordnung enthält gemäß der Erfindung mindestens eine zentral angeordnete Empfängerfläche und mindestens eine die Zentralfläche umgebende periphere Empfängerfläche. Die Empfängerflächen sind voneinander elektrisch isoliert angeordnet und die Signale der einzelnen Flächen sind frei verschaltbar. Die zentrale Empfängerfläche wird vorzugsweise kreisförmig oder quadratisch ausgeführt, die periphere Empfängerfläche kann kreisringförmig sein oder aus vier separaten Teilflächen gleicher Gestalt bestehen, wobei jede Teilfläche den gleichen Flächeninhalt wie die Zentralfläche hat, oder die periphere Summenfläche gleich der Zentralfläche ist.

Die erfindungsgemäße Empfängeranordnung gestattet neben der Verwirklichung des Verfahrens zum richtungsunabhängigen Antasten von kantenförmigen Meßstrukturen durch die freie Verschaltbarkeit aller Einzelempfängerflächen auch die Realisierung des bekannten Zweizellendifferenzverfahrens zum Antasten von strichförmigen Objekten. Da das angewendete Verfahren prinzipiell ein statisches Meßverfahren darstellt, läßt sich die Anordnung besonders vorteilhaft zum Anmessen bewegter (nichtstationärer) Meßstrukturen benutzen.

226 861

Ausführungsbeispiel

Im folgenden werden einige Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Empfängeranordnung anhand einer Zeichnung näher beschrieben.

Dabei zeigen:

Fig. 1a) Empfängeranordnung bestehend aus fünf integrierten quadratischen Empfängerdioden gleicher Abmessung

Fig. 1b) Empfängersignal bei Kanteneinfang durch Translation ($\varphi = 0$ bzw. 45°)

Fig. 1c) Empfängersignal bei Kanteneinfang durch Drehung

Fig. 1d) Empfängersignal bei Stricheinfang durch Translation

Fig. 2a) Empfängeranordnung bestehend aus fünf integrierten rechteckförmigen Empfängerdioden unterschiedlicher Geometrie

Fig. 2b) Empfängersignal bei Kanteneinfang durch Translation

Fig. 3a) Empfängeranordnung bestehend aus zwei kreisförmigen zentrisch zueinander angeordneten Empfängerflächen mit dem Flächenverhältnis 1:1

Fig. 3b) Empfängersignal bei Kanteneinfang

Fig. 3c) Empfängeranordnung nach 2a mit Signalauswerteeinrichtung zum Stricheinfang innerhalb eines Sollbereiches

Fig. 3d) Empfängeranordnung bestehend aus drei zentrisch zueinander angeordneten Empfängerflächen

Fig. 3e) Empfängersignal bei Stricheinfang

Fig. 4) Empfängeranordnung nach 2a, wobei beide Kreisflächen in jeweils 4 gleichgroße Sektoren geteilt sind.

Die in Fig. 1a dargestellte Empfängeranordnung besteht aus fünf separaten quadratischen Empfängerflächen, der zentralen Fläche 1' und vier peripheren Fläche 11', 12', 13', 14' mit den Seitenlängen a. Dieser Aufbau ist integriert auf einem

Chip oder als Hybrid Aufbau möglich. Die Separationsstreifen d zwischen den Empfängerflächen legen die Achsen (x , y) des Koordinatensystems fest. Beim Einsatz dieses Empfängers in einem optischen Koordinatenmeßgerät ist er in einer Zwischenbildebene oder z.B. auf dem Projektionsschirm so anzuordnen, daß sein Mittelpunkt in der Zielachse liegt. Als Zielachse wird in der Regel die optische Achse des Meßgerätes gewählt.

Der dargestellte Empfängertyp gestattet:

1. die Ableitung eines Koinzidenzsignals bei der lageunabhängigen Positionierung einer optische wirksamen Kante zum Koordinatenursprung
2. die Ableitung eines Parallelitätssignals bzw. Überdeckungssignals bei erreichter Koinzidenz nach 1 bei Drehung einer Kante gegenüber den Koordinatenachsen,
3. die Ableitung eines Koinzidenzsignals bei der lageunabhängigen Positionierung der fotometrischen Mitte optisch wirksamer Striche der Breite b . Dabei werden Striche mit einer Breite b $a+2d$ b $3a+2d$ zum Koordinatenursprung und Striche mit d b $2a+d$ zu einem Zielpunkt auf den Koordinatenachsen in Abstand $\frac{1}{2}(a+d)$ vom Koordinatenursprung positioniert (s. Fig. 1a),
4. die Ableitung eines Koinzidenzsignals mit im Abstand von $\frac{1}{2}(a+d)$ parallel zu den Koordinatenachsen verlaufenden Linien bei der Drehung eines Striches.

Zu 1. Erfindungsgemäß erfolgt die Kantenpositionierung mit dem Empfänger nach Fig. 1a dadurch, daß gebildet wird:

$$\sum_{i=1}^4 \phi'_i - \phi''_1 = \phi$$

($\phi = 0$ für Koinzidenz)

ϕ'_i - Strahlungsfluß auf die Flächen (11', 12', 13', 14')

ϕ''_1 - Strahlungsfluß auf die Fläche 1''

Die Vervielfachung des Strahlungsflusses wird nach der Wandlung durch entsprechende Verstärkung des dem Strahlungsfluß proportionalen Signals $s(r, \varphi)$ erreicht.

$$\sum_{i=1}^4 s'_{1i}(r_k, \varphi) - 4s''_1(r_k, \varphi) = s(r_k, \varphi)$$

$s'_{1...4}$ - Signale von 11', 12', 13', 14'
 s''_1 - Signal von 1''
 - Koordinaten des Kantenortes

Bei der Translation einer sich in beliebiger Winkellage zu den Koordinatenachsen befindlichen kantenförmigen Struktur über den Empfänger ergibt sich der für das Verfahren charakteristische Signalverlauf. In Fig. 1b sind die Differenzsignale $s(r_k, \varphi)$ für $\varphi_1 = 0^\circ$ bzw. $\varphi_2 = 45^\circ$ dargestellt.

Nach dem gleichen Meßprinzip arbeitet die in Fig. 2a dargestellte Empfängeranordnung. Die Gleichheit der Signalsumme von den äußeren Empfängerflächen 21', 22', 23', 24' und des Signals von der inneren Empfängerfläche 2'' bei voller Ausleuchtung aller Empfängerflächen wird hier durch die Flächengleichheit der Flächensumme von 21', 22', 23', 24' und der Fläche 2'' erreicht.

Fig. 2b zeigt die charakteristischen Signalverläufe $s(r_k, \varphi)$. Unabhängig von der Winkellage der Kante zu den Koordinatenachsen hat das Differenzsignal beider Ausführungsformen bei Koinzidenz der Kante mit dem Koordinatenursprung einen Nulldurchgang. In diesem Moment wird durch die Kante die Hälfte der Flächensumme der äußeren Empfängerflächen sowie die Hälfte der inneren Empfängerfläche abgedunkelt und es entstehen die Differenzsignale

$$\sum_{i=1}^4 s'_{1i}(r_k, \varphi) - 4s''_1(r_k, \varphi) = 0$$

nach Fig. 1b bzw.

$$\sum_{i=1}^4 s'_{2i}(r_k, \varphi) - s''_2(r_k, \varphi) = 0$$

nach Fig. 2b.

Der Fangbereich in Koordinatenrichtung ergibt sich zu

$$B_{xy} = 2(a'_1 + d) + a''$$

(Der Fangbereich B gibt die Abmessung des Gebietes auf der Empfängeranordnung an, für das $s(r_k, \varphi) \neq 0$ ist.)

Die Empfindlichkeit ist, wenn gleiche äußere Abmessungen vorliegen (umschriebene Kreisfläche), bei dem gleichflächigem Aufbau nach Fig. 1a größer als bei dem nach Fig. 2a.

Für beide Empfänger erhöht sich die Empfindlichkeit wenn der Winkel der Kante zu den Koordinatenachsen (Separationsstreifen) von 0° auf 45° wächst.

Zu 2. Beide Empfängeranordnungen können weiterhin einfach zur Indikation der Koinzidenz bei Drehung (Kante parallel zur Koordinatenachse) genutzt werden. Dazu werden die, z. B. bei der Anordnung nach Fig. 1, 11' und 13' bzw. 12' und 14' in Differenz geschaltet. Die Differenzsignale

$$s(x, 90^\circ) = s'_{12}(x, 90^\circ) - s'_{14}(x, 90^\circ) \text{ bzw.}$$

$$s(y, 0) = s'_{11}(y, 0) - s'_{13}(y, 0)$$

werden Null, wenn die oben genannten ausgezeichneten Winkel-lagen erreicht werden. Das Erreichen der Koinzidenzlage zu einer Koordinatenrichtung setzt eine Positionierung nach Pkt. 1 voraus. Der Verlauf des Differenzsignal ist in Fig. 1c dargestellt. Der Grenzwinkel des Fangbereiches ergibt sich allgemein nach

$$\varphi_{\max} = \arctan \frac{\frac{a}{2} + h}{\frac{a}{2} + d} \quad \text{für } h < \frac{a}{2}$$

$$\text{bzw. } \varphi_{\max} = \arctan \frac{1}{1 + \frac{2d}{a}} \quad \text{für } h = 0 \text{ (Koinzidenz)}$$

h - Abstand der Kante vom Koordinatenursprung
in Koordinatenrichtung

$\varphi_{\max}$ - Grenzwinkel des Fangbereiches Kante zur
Koordinatenrichtung

Zu 3. Die Indikation der Sollage eines Striches läßt sich vorteilhaft mit dem Detektor nach Fig. 1a (gleichgroße Empfängerteilflächen) vornehmen. Dazu wird das statische Zweizellendifferenzverfahren genutzt. Wahlweise können die Empfängerflächen 11', 12', 13', 14' mit der Fläche 1'' in

Differenz geschaltet werden, z. B. Nutzung des Nulldurchgangs des Differenzsignals

$$s(x) = s'_{12}(x) - s'_4(x)$$

$$s(y) = s'_{11}(x) - s'_4(x)$$

für kleine Strichbreiten ($s \ll b \ll 2a+d$) bzw.

$$s(x) = s'_{12}(x) - s'_{14}(x)$$

$$x(y) = s'_{11}(y) - s'_{13}(y)$$

für Strichbreiten $a+2d \ll b \ll 3a+2d$.

Der Nulldurchgang ist für ein bestimmtes Empfängerflächenpaar im Bereich von $0^\circ \leq \varphi < 45^\circ$ von der Drehlage unabhängig. Bei größeren Winkeln muß in der jeweils anderen Koordinatenrichtung gemessen werden.

In Fig. 1d) ist der Verlauf der Signale als Funktion vom Ort der fotometrischen Strichmitte dargestellt.

Zu 4. Unter der Voraussetzung, daß die Positionierung des Striches nach Pkt. 3 durchgeführt wurde, ist die Ableitung eines Koinzidenzsignals bei Erreichen der Koordinatenrichtungen durch Differenzschaltung der Empfängerteilflächen nach Pkt. 2 möglich.

In Fig. 3a ist eine weitere Empfängeranordnung zur richtungsunabhängigen Kantenantastung dargestellt. Sie zeichnet sich durch eine von der Orientierung der Kante unabhängige Empfindlichkeit aus.

Die Anordnung besteht aus einer kreisförmigen Empfängerfläche und einer zu deren Kreismittelpunkt konzentrisch angeordneten zweiten kreisringförmigen Empfängerfläche. Beide Empfängerflächen sind so zu beschalten, daß die von ihnen abgegebenen elektrischen Signale dem auftreffenden Lichtstrom proportional sind und anschließend subtrahiert werden. Einrichtungen hierfür sind bekannt (s. z. B. AS 1957 161 DB) und bedürfen keiner weiteren Erläuterung.

Erfindungsgemäß ist die Radienlänge so zu wählen, daß die Kreisringfläche 31' gleich der Kreisfläche 3'' wird. Unter Vernachlässigung der Abmessungen der Separationsbreite d zwischen beiden Empfängerflächen ist dies bei $r_1 = \sqrt{2}r_0$ der Fall.

Bewegt sich nun wie in Fig. 3a angedeutet eine kantenförmige Struktur über die Empfängerfläche, so ergibt sich der in Fig. 3b angegebene Differenzsignalverlauf. Es ist zu erkennen, daß bei Koinzidenz der Kante mit dem Mittelpunkt der Empfängeranordnung ein Nullsignal entsteht, das sich in vorteilhafter Weise zur Auslösung eines Längemeßsystems ausnutzen läßt. In diesem Zustand wird von der kantenförmigen Struktur gerade jeweils die halbe Empfängerfläche abgedunkelt bzw. beleuchtet, so daß bei vorausgesetzt gleicher Empfängerempfindlichkeit die Differenz der Empfängersignale Null wird.

Der analytische Zusammenhang zwischen Kantenort r_k und Differenzsignal $s(x)$ ergibt sich bei einer Separationsbreite $d \approx 0$

$$s(r_k, \varphi) \sim E \cdot S_D \left\{ 2r_0^2 \left(\arccos \frac{r_k}{\sqrt{2}r_0} - \arccos \frac{r_k}{r_0} \right) + r_0 r_k \left(2\sqrt{1 - \frac{r_k^2}{r_0^2}} - \sqrt{2} \sqrt{1 - \frac{r_k^2}{2r_0^2}} \right) \right\}$$

Darin sind S_D die Empfindlichkeit des Empfängermaterials und E die Beleuchtungsstärke im hellen Teil des Kantenübergangs. (Für den dunklen Teil der Kante wurde $E = 0$ angenommen.)

Für die Empfängerempfindlichkeit der Anordnung in der Nähe des Nulldurchganges (Koinzidenzpunkt) ergibt sich z. B. mit den Werten: $E = 1500 \text{ lx}$, $S_D = 4,2 \text{ mA/lm}$ und $r_1 = 100 \text{ } \mu\text{m}$ ein Wert von

$$\frac{\Delta s(r_k, \varphi)}{\Delta r_k} = 0,5 \text{ nA/} \mu\text{m}$$

Da der Dunkelstrom des zugrunde gelegten Empfängermaterials bei Elementbetrieb ca. $0,07 \text{ nA}$ beträgt, sind Abweichungen unter $1 \text{ } \mu\text{m}$ bei idealen Strukturen (maximaler Kontrast) sicher nachweisbar.

Die Rotationssymmetrie der Empfängeranordnung bewirkt eine völlig richtungsunabhängige Empfindlichkeit der Anordnung. Die Zielachse wird durch den Kreismittelpunkt festgelegt. Die Anordnung läßt sich besonders vorteilhaft zum Anmessen bewegter (nichtstationärer) kantenförmiger Objekte benutzen.

In Fortführung des Erfindungsgedankens wird eine Anordnung vorgeschlagen, die die Registrierung einer strichförmigen Struktur innerhalb eines vorgegebenen Sollbereiches ermöglicht.

Dazu ist bei Verwendung des in Fig. 3a vorgeschlagenen Empfängertyps vor der Registrierung des Differenzfotostroms das vom Kreisring herrührende Empfängersignal elektronisch um einen Faktor $\leq 3\times$ (z. B. $2,5\times$) zu verstärken (Fig. 3c). Die gleiche Wirkung wird erfindungsgemäß jedoch auch durch Hinzuschalten einer weiteren, peripher zur ersten Kreisringfläche angeordneten, zweiten Kreisringfläche erreicht (Fig. 3d). Die Empfänger sind so zu beschalten, daß das resultierende Gesamtsignal s_{ges} mit den von den Empfängerteilflächen herrührenden Signalen über folgende Beziehung verknüpft ist:

$$s_{ges}(r, \varphi) = s'_{3}(r, \varphi) - \sqrt{(s'_{31}(r, \varphi) + s'_{32}(r, \varphi))}$$

Mit dem Schalter s kann auf Kantenanlastung umgeschaltet werden (Schalterstellung a).

a	b
$s(r)=S(k)$	$s(r)=S(r_s)$

Wird der Radius r_2 (wiederum unter Vernachlässigung der Trennfuge) etwas kleiner als der doppelte Radius des Kreisempfängers r_0 gewählt, so ergibt sich der in Fig. 3e angegebene Signalverlauf beim Vorübergang einer strichförmigen Struktur an dem so charakterisierten Empfänger. Für die Strichbreite b gilt $b_1 \leq b_2 < b_3$.

Es ist zu erkennen, daß symmetrisch zum Koinzidenzpunkt (d. h. die Strichmitte befindet sich in der Zielachse) ein zweimaliger Nulldurchgang der Signalspannung auftritt. Der Abstand dieser Nulldurchgänge von der Zielachse ist in 1. Näherung von der Strichbreite unabhängig und lediglich durch den gewählten Radius r_2 (bzw. den Verstärkungsfaktor des Signalverstärkers) festgelegt. Je näher der Verstärkungsfaktor dem Wert 3 (bzw. das Radienverhältnis den Wert $r_2/r_0 = 2$) kommt, um so näher rücken die Nulldurchgänge an die Zielachse, um so kleiner werden jedoch auch die negativen Signalanteile, so daß eine sichere Detektion des

Nulldurchgänge nicht mehr gewährleistet ist.

Mit der vorgeschlagenen Anordnung ist somit der Einfang einer strichförmigen Struktur in einem vorgegebenen Sollbereich möglich. Beispielsweise ergibt sich für $r_0 \approx 75 \mu\text{m}$ und $r_2 \approx 140 \mu\text{m}$ ein Sollbereich von $\pm 30 \mu\text{m}$, bzw. für $r_0 \approx 71 \mu\text{m}$ und $r_2 \approx 140 \mu\text{m}$ ein Sollbereich von $\pm 10 \mu\text{m}$.

Auch bei dieser Anwendung ist durch die Realisierung eines statischen Meßverfahrens die Anmessung bewegter Objekte ohne Schwierigkeiten möglich.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform stellt die Anordnung nach Fig. 4 dar.

Diese Empfängeranordnung ist besonders zur Positionierung der fotometrischen Mitte eines Striches zu einem Zielpunkt geeignet. Dazu werden die Sektoren paarweise so in Differenz geschaltet, daß das Empfängersignal entsprechend den Beziehungen

$$s(r, \varphi) = s'_{41} + s'_{42} + s''_{45} + s''_{46} - (s'_{43} + s'_{44} + s''_{47} + s''_{48})$$

$$\text{für } 45^\circ < |\varphi| \leq 90^\circ \text{ bzw.}$$

$$s(r, \varphi) = s'_{41} + s'_{44} + s''_{45} + s''_{48} - (s'_{42} + s'_{43} + s''_{46} + s''_{47})$$

$$\text{für } 0^\circ < |\varphi| \leq 45^\circ$$

gebildet wird.

Die Separationsstreifen legen die Achsen des Koordinatensystems fest.

Der Nulldurchgang von $s(r, \varphi)$ zeigt die Koinzidenz der fotometrischen Strichmitte mit der Detektormitte an. Die gleiche Schaltung wird zur Indikation der Koinzidenz einer Kante mit den Koordinatenachsen bei Drehung genutzt.

Die Koinzidenz eines Striches (fotometrische Mitte) mit den Koordinatenachsen bei Drehung wird durch die Erfüllung der Bedingung $s'_{41}(r, \varphi) - s'_{44}(r, \varphi) = 0$

und $s'_{42}(r, \varphi) - s'_{43}(r, \varphi) = 0$ angezeigt.

Die beiden letztgenannten Anwendungen setzen eine Positionierung auf den Koordinatenursprung voraus. Die Anordnung

kann auch direkt zur Bestimmung der Winkellage eines Striches zur Koordinatenrichtung benutzt werden. Dazu werden bei Bewegung des Objektes in x-Richtung z. B. die Empfängerflächen 41' und 44' sowie die Empfänger 42' und 43' in Differenz geschaltet, die Nulldurchgänge der beiden Differenzsignale registriert und aus den entsprechenden Wegkoordinaten der Winkel berechnet.

$$\psi = \arctan \frac{2(r_0 + d) + r_1 - r_0 - d}{\Delta x}$$

Die Positionierung einer Kante kann durch die Verwendung eines Bildungsgesetzes, das dem der Empfängeranordnung nach Fig. 3 entspricht, erfolgen.

Dabei sind wegen der Trennfuge Winkellagen $\psi = 0^\circ$ bzw. $\psi = 90^\circ$ zu vermeiden (geringere Meßgenauigkeit).

Erfindungsanspruch

1. Fotoelektrisches Verfahren zur Lageerkennung kantenförmiger Meßstrukturen mittels einer zweidimensionalen fotometrischen Bewertung der von charakteristischen Strukturelementen abgegebenen Strahlungsflüsse, dadurch gekennzeichnet, daß das Minimum und das Maximum des Strahlungsflusses in der unmittelbaren Nähe des Kantenübergangs unabhängig von der Orientierung in einem Koordinatensystem optisch integral zweidimensional erfaßt werden, die Summe dieser integralen Strahlungsflüsse entweder optisch mit einer peripheren Blendenfläche gebildet und dazu ein proportionales elektrisches Signal abgeleitet wird oder eine elektrische Summation einzelner Signalwerte erfolgt, wobei die einzelnen Signalwerte den durch mehrere periphere Blendenteilflächen hindurchtretenden Teilstrahlungsflüssen proportional sind, daß weiterhin der gesamte, von der Intensitätsänderung des Kantenübergangs beeinflusste Strahlungsfluß von einer zentralen Blendenfläche vollständig aufgenommen wird, dazu wiederum ein proportionales elektrisches Signal gewonnen wird und daß anschließend die Differenz der resultierenden elektrischen Signalwerte gebildet wird, wobei die elektrischen Signale durch Vorverstärkung entsprechend dem Flächenverhältnis von peripherer Blendenfläche zu zentraler Blendenfläche bewertet werden und vorzugsweise das Verschwinden der Differenz eine definierte Relativlage von Meßstruktur und Koordinatenursprung anzeigt.
2. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Blendenflächen durch entsprechend gestaltete und angeordnete Empfängerflächen fotoelektrischer Empfänger gebildet werden und der Verlauf der von ihnen abgegebenen elektrischen Signale das Vorliegen einer bestimmten Relativlage der Meßstruktur bzw. ihre Koinzidenz mit dem Koordinatenursprung anzeigt.

3. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die von der zentralen und der peripheren Blendenfläche abgegebenen Strahlungsflüsse durch geeignete strahlführende Elemente auf zwei fotoelektrische Empfänger geleitet werden.
4. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei durch strahlführende Elemente zusammengefaßten Strahlungsflüsse über einen Strahlunterbrecher auf einen fotoelektrischen Empfänger abgebildet werden und die Größe des von diesen abgegebenen elektrischen Wechselsignals das Vorliegen einer bestimmten Relativlage von Meßstruktur und Koordinatenursprung anzeigt.
5. Photoelektrische Empfängeranordnung zur Durchführung des Verfahrens, gekennzeichnet durch mindestens eine zentral angeordnete Empfängerfläche und mindestens eine die Zentralfläche umgebende periphere Empfängerfläche, wobei die Empfängerflächen voneinander elektrisch isoliert angeordnet sind und die Signale der einzelnen Flächen frei verschaltbar sind.
6. Anordnung nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung monolithisch aufgebaut ist.
7. Anordnung nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung hybrid aufgebaut ist.
8. Anordnung nach den Punkten 5 bis 7, gekennzeichnet dadurch, daß die periphere Empfängerfläche aus mindestens vier separaten Teilflächen gleicher Gestalt besteht, wobei jede Teilfläche den gleichen Flächeninhalt wie die Zentralfläche hat.
9. Anordnung nach den Punkten 5 bis 8, gekennzeichnet dadurch, daß die Anordnung aus einer quadratischen Zentralfläche (1") und vier mit (1") identischen peripheren Empfängerflächen (11" 12" 13" 14") besteht.

10. Anordnung nach Punkt 9, gekennzeichnet dadurch, daß das Meßsignal entsprechend Punkt 1 durch eine elektrische Summenbildung der von den peripheren Empfängerflächen (11', 12', 13', 14') erzeugten Signale $S'_{11...14}$ und anschließender Differenzbildung des Summensignals und des von der Zentralfläche erzeugten und um den Faktor 4 verstärkten Signals S''_1 gebildet wird.
11. Anordnung nach Punkt 9, gekennzeichnet dadurch, daß das Meßsignal durch Verwendung der von den jeweils gegenüberliegenden peripheren Empfängerflächen (12') und (14') bzw. (11') und (13') herrührenden Signale entsprechend der Beziehung $s(r, \varphi) = s'_{12}(r, \varphi) - s'_{14}(r, \varphi)$ bzw. $s(r, \varphi) = s'_{11}(r, \varphi) - s'_{13}(r, \varphi)$ gebildet wird.
12. Anordnung nach Punkt 9, gekennzeichnet durch eine Differenzschaltung gegenüberliegender peripherer Empfängerflächen bzw. der Differenzschaltung einer peripheren Empfängerfläche mit dem Zentralempfänger (1").
13. Anordnung nach den Punkten 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die periphere Empfängerfläche aus mindestens vier separaten Teilflächen gleicher Gestalt besteht, deren Summenfläche gleich der Zentralfläche ist.
14. Anordnung nach Punkt 13, gekennzeichnet dadurch, daß die Anordnung aus einer quadratischen zentralen Empfängerfläche (2') und vier rechteckförmigen peripheren Empfängerflächen (21'), (22'), (23'), (24') besteht, wobei die Summe dieser Empfängerflächen gleich der Empfängerfläche (2') ist.
15. Anordnung nach Punkt 14, gekennzeichnet dadurch, daß die Meßsignalgewinnung entsprechend Punkt 1 durch eine elektrische Summenbildung der von den peripheren Empfängerflächen (21'), (22'), (23'), (24') ausgehenden

Signale $S'_{21...24}$ und anschließender Differenzbildung des Summensignals und des von der Zentralfläche (2'') erzeugten Signals s''_2 erfolgt.

16. Anordnung nach Punkt 14, gekennzeichnet dadurch, die Meßsignalgewinnung entsprechend Punkt 11 erfolgt.
17. Anordnung nach den Punkten 5 bis 7, gekennzeichnet dadurch, daß die Anordnung aus einer kreisförmigen zentralen Empfängerfläche (3'') und einer diese Fläche umschließenden kreisringförmigen Empfängerfläche (3') besteht.
18. Anordnung nach Punkt 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsignal entsprechend Punkt 1 durch Differenzschaltung beider Empfängerflächen erzeugt wird.
19. Anordnung nach Punkt 18, dadurch gekennzeichnet, daß von der kreisringförmigen Empfängerfläche erzeugte Signal um einen Faktor 3 verstärkt wird.
20. Anordnung nach Punkt 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung durch eine zweite peripher angeordnete kreisringförmige Empfängerfläche (32') ergänzt ist, deren Außenradius maximal das doppelte der zentralen kreisförmigen Empfängerfläche (3'') betragen darf.
21. Anordnung nach Punkt 20, gekennzeichnet dadurch, daß das Meßsignal durch die Differenzbildung der Signalsumme, der von den Empfängerflächen (31') und (32') ausgehenden Signale und dem Signal von der Empfängerfläche (3'') erzeugt wird.
22. Anordnung nach Punkt 17, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die zentrale Empfängerfläche als auch die periphere Kreisringempfängerfläche in jeweils vier gleichgroße voneinander elektrisch isolierte Sektorenen Empfängerflächen geteilt sind.

23. Anordnung nach Punkt 22, dadurch gekennzeichnet, daß
das Meßsignal durch die Verknüpfung der Signale entsprechend Punkt 18 erzeugt wird.
24. Anordnung nach Punkt 22, dadurch gekennzeichnet, daß
das Meßsignal durch Differenzbildungen der von den
durch Separationsstreifen getrennten Sektorempfänger-
flächen ausgehenden Summensignalen erzeugt wird.
25. Anordnung nach Punkt 22, dadurch gekennzeichnet, daß
gleichzeitig zwei Meßsignale durch Differenzschaltung
jeweils zweier Sektoren, z. B. (41') und (42') sowie
(43') und (44'), der Kreisringempfängerfläche gewonnen
werden.

Hierzu 6 Seiten Zeichnungen

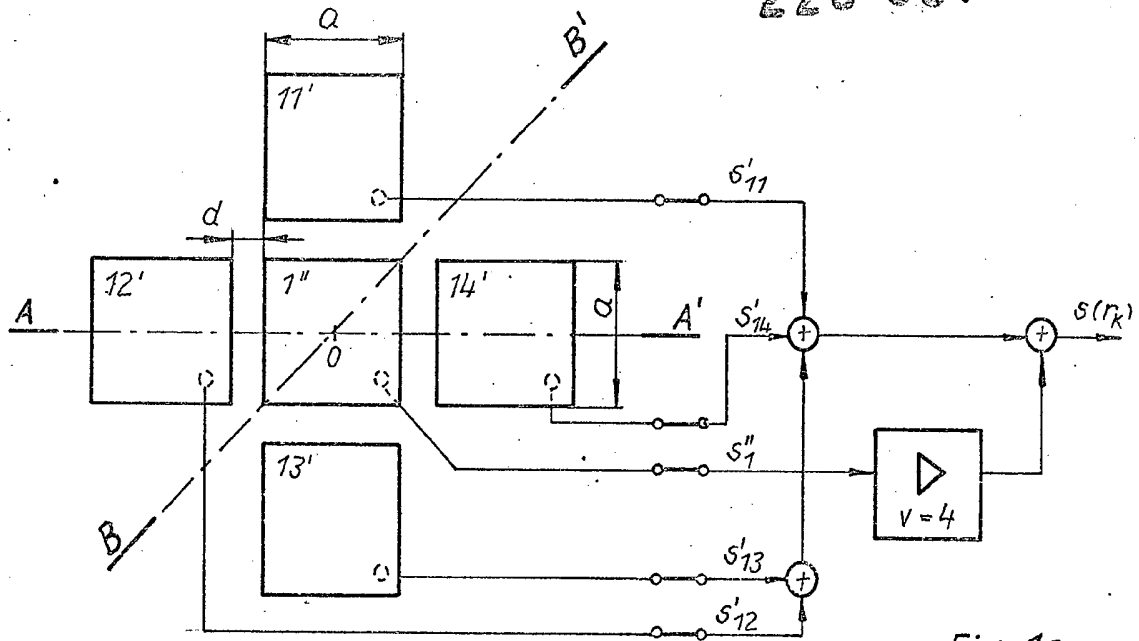


Fig. 1a

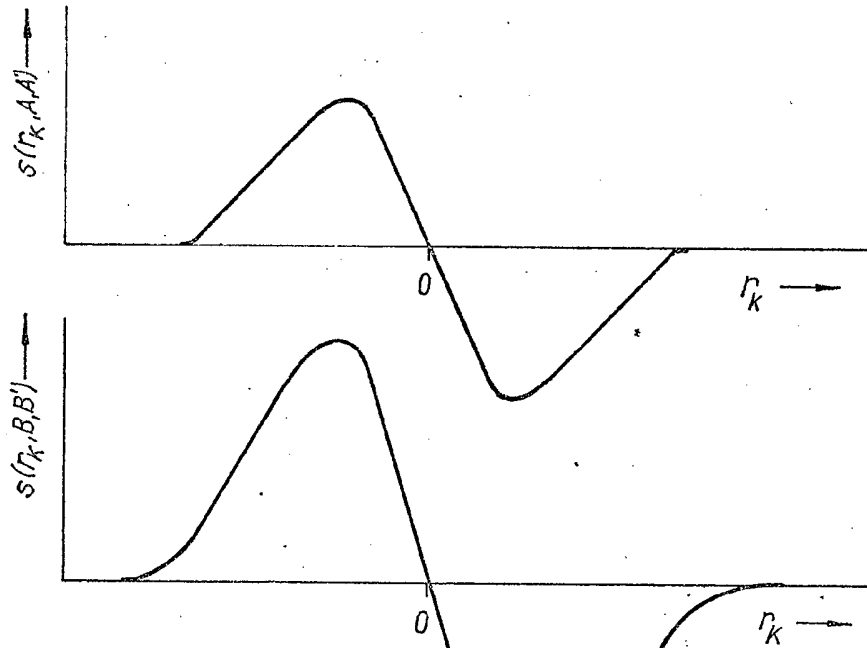


Fig. 1b

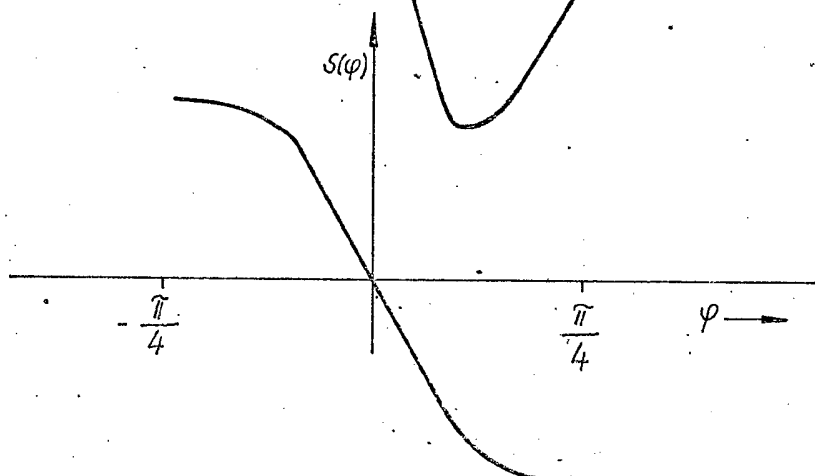


Fig. 1c

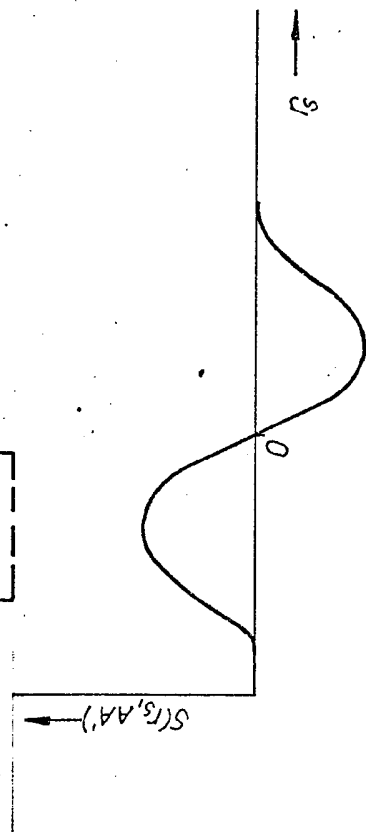
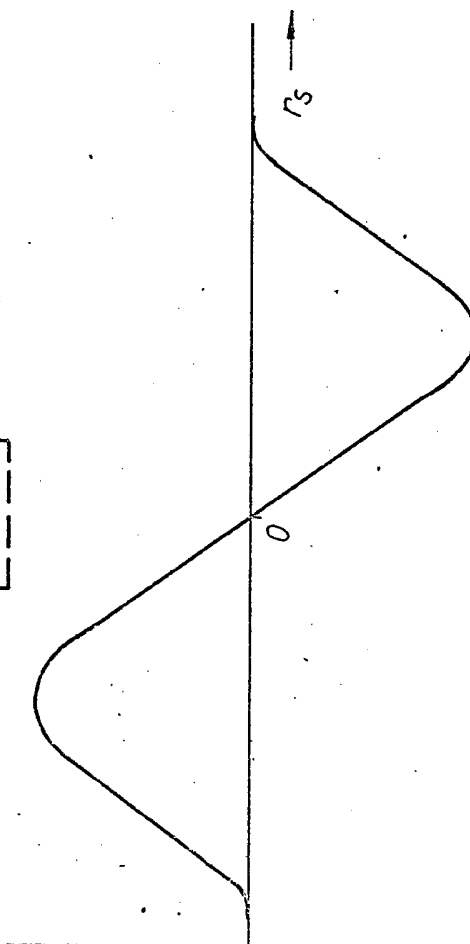
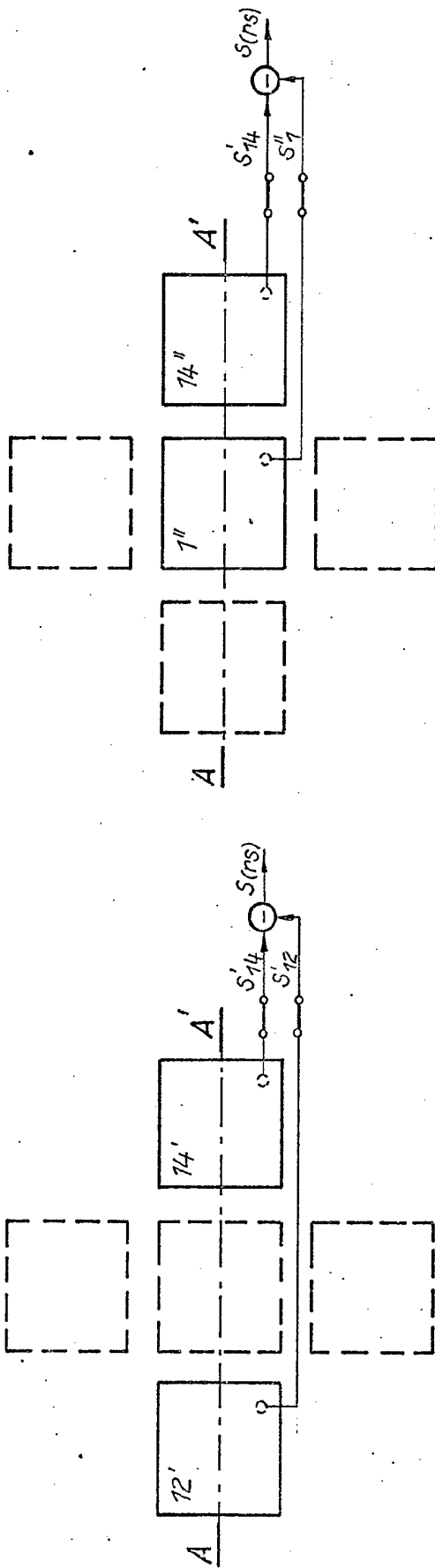


Fig. 7d

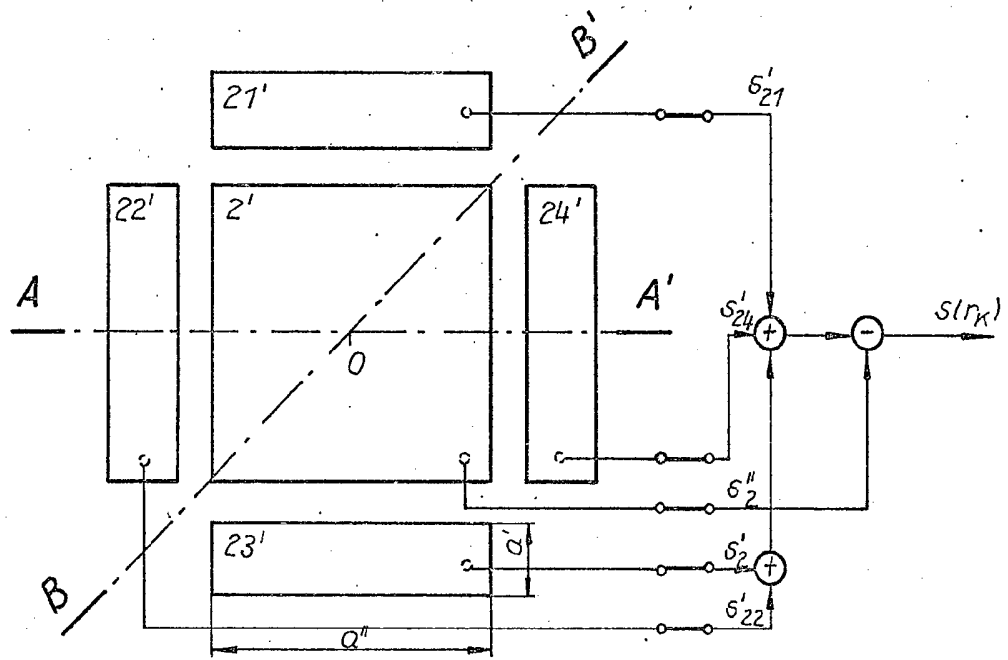


Fig. 2a

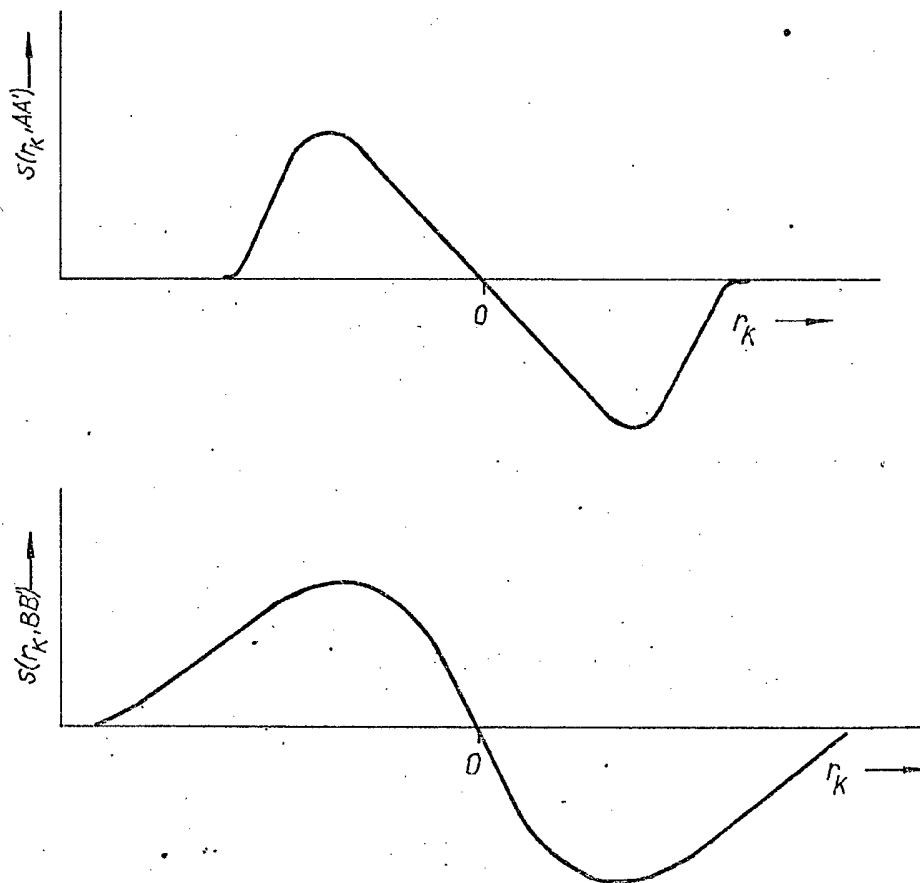
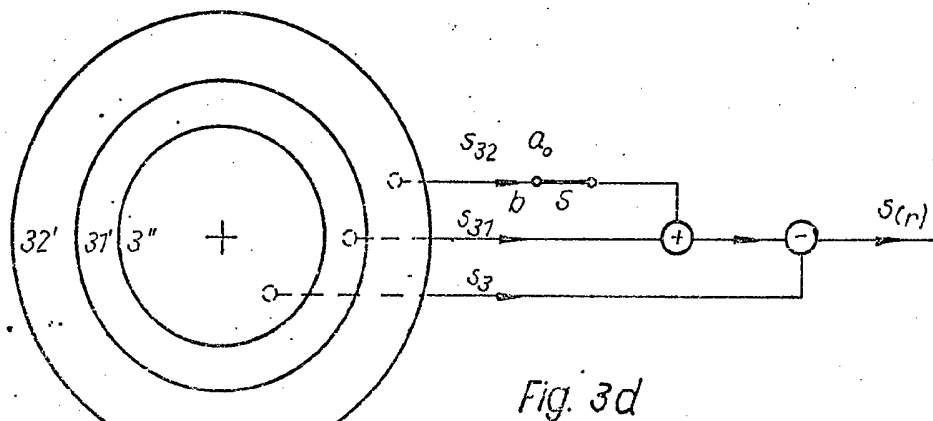
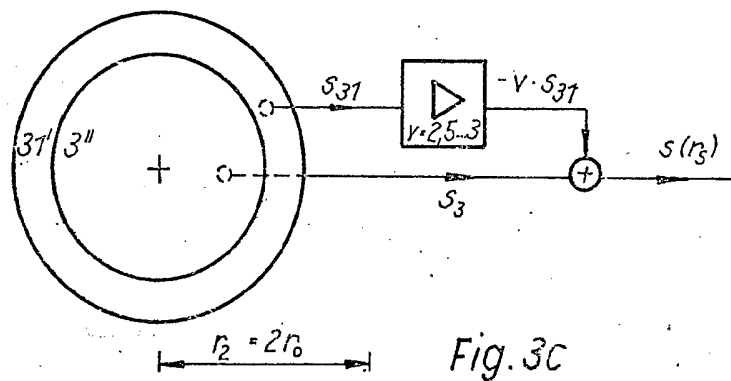
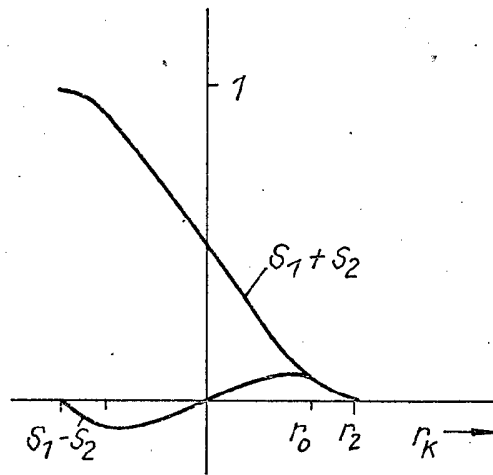
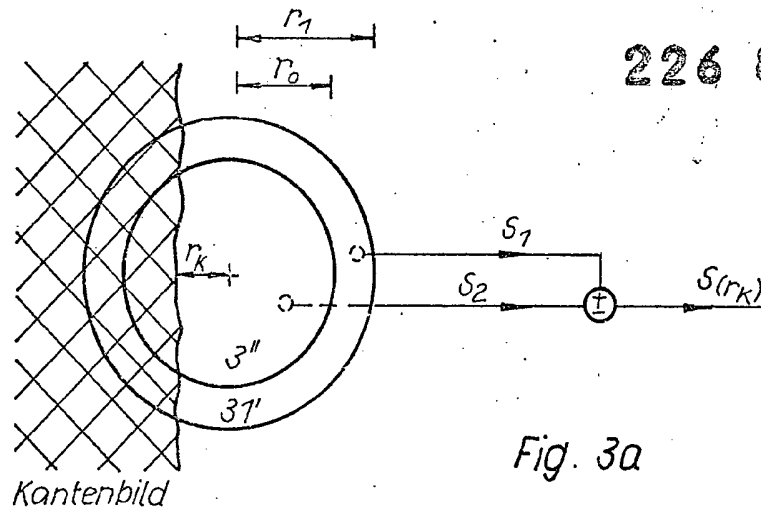


Fig. 2b



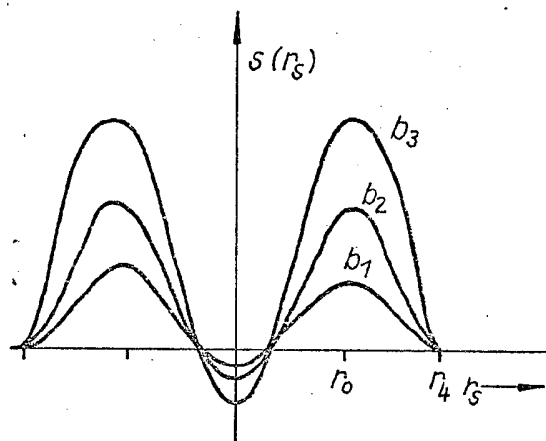


Fig. 3e

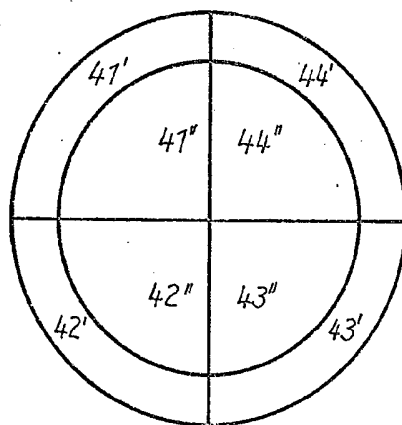


Fig. 4