



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 38 991 A1 2005.03.17**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 38 991.1**
 (22) Anmeldetag: **18.08.2003**
 (43) Offenlegungstag: **17.03.2005**

(51) Int Cl.7: **G01B 21/00**
G01D 5/245

(71) Anmelder:
Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut, DE

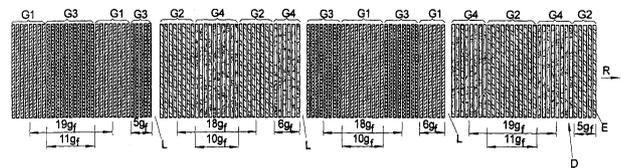
(74) Vertreter:
Maikowski & Ninnemann, Pat.-Anw., 10707 Berlin

(72) Erfinder:
Mayer, Elmar, 83365 Nußdorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Positionsmesseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine Positionsmesseinrichtung mit einer entlang einer Messrichtung erstreckten Messteilung, eine Abtasteinheit zum Abtasten der Messteilung und einer Detektionseinrichtung der Abtasteinheit, die eine Vielzahl entlang einer Erstreckungsrichtung periodisch hintereinander angeordneter Detektorelemente umfasst, die bei Abtastung der Messteilung einer Auswerteeinheit zuführbare Ausgangssignale erzeugen, wobei jeweils mehrere benachbarte Detektorelemente derart zu einer Detektorgruppe zusammengeschaltet sind, dass deren Ausgangssignale zusammengeführt werden und der Auswerteeinheit als einheitliches Signal zugeführt werden können. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Detektorelemente derart zu Detektorgruppen zusammengefasst und in Form der Detektorgruppen derart entlang der Erstreckungsrichtung hintereinander angeordnet sind, dass mindestens eine definierte Oberwelle aus den Ausgangssignalen eliminiert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Eine derartige Positionsmesseinrichtung umfasst eine entlang einer Messrichtung erstreckte (lineare oder gekrümmte) Messteilung, eine Abtasteinheit zum Abtasten der Messteilung sowie eine Detektionseinrichtung der Abtasteinheit, die eine Vielzahl entlang einer Erstreckungsrichtung periodisch hintereinander angeordnete Detektorelemente umfasst, welche bei Abtastung der Messteilung einer Auswerteeinheit zuführbare Ausgangssignale erzeugt. Hierbei sind jeweils mehrere benachbarte Detektorelemente der Detektionseinrichtung derart zu je einer Detektorgruppe zusammengeschaltet, dass deren Ausgangssignale zusammengeführt werden und der Auswerteeinheit als einheitliches Signal zugeführt werden können.

[0003] Durch das Zusammenschalten benachbarter Detektorelemente zu je einer Detektorgruppe soll erreicht werden, dass eine Abtasteinheit mit einer Detektionseinrichtung, die zum Abtasten einer periodischen Messteilung mit einer ersten, feinen Gitterstruktur vorgesehen ist, zugleich auch zum Abtasten einer Messteilung mit einer anderen, größeren Gitterstruktur verwendet werden kann, vergleiche EP 1 308 700 A2.

[0004] Weist beispielsweise die Messteilung mit der größeren Gitterstruktur die n-fache Gitterkonstante der Messteilung mit der ersten, feineren Gitterstruktur auf, so werden beispielsweise jeweils n-benachbarte Detektorelemente der Detektionseinrichtung zu einer Detektorgruppe zusammengeschaltet, um die Messteilung mit der größeren Gitterkonstante mit derselben Detektionseinrichtung abzutasten.

[0005] Bei derartigen Positionsmesseinrichtungen ist die Messteilung typischerweise als eine Strichteilung in Form einer Mehrzahl entlang der Messrichtung (periodisch) hintereinander angeordneter Striche ausgebildet, wobei die Messrichtung sowohl durch eine Gerade (lineares Positionsmesssystem) als auch durch eine gekrümmte, insbesondere kreisbogenförmig erstreckte Linie (im Fall eines sogenannten Drehgebers bzw. Winkelmesssystems) gebildet werden kann. Die Detektorelemente sind beispielsweise als Fotoelemente ausgebildet, die die Messteilung optisch abtasten und die hierbei einer Auswerteeinheit zuführbare elektrische Ausgangssignale erzeugen.

[0006] Die einzelnen Detektorelemente der Detektionseinrichtung der Abtasteinheit können hinsichtlich ihrer geometrischen Form in bekannter Weise derart

gestaltet werden, dass bei Abtastung der Messteilung mit der ersten, feineren Gitterkonstante eine Oberwellenfilterung erfolgt. D.h., durch die Wahl geeigneter Konturen der Detektorelemente können bei der Abtastung der Messteilung mit der kleineren Gitterkonstante bestimmte, vorgebbare Oberwellen eliminiert werden. Werden jedoch zur Abtastung der größeren Messteilung mit der größeren Gitterkonstante jeweils mehrere benachbarte Detektorelemente zu einer Detektorgruppe zusammengefasst, so weist das beim Abtasten der größeren Messteilung erzeugte Ausgangssignal einen signifikanten Oberwellenanteil auf, der sich auf die Weiterverarbeitung und Auswertung des Ausgangssignals störend auswirken kann, vergleiche DE 195 05 176 A1.

Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, eine Positionsmesseinrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die sich durch eine verbesserte Qualität des Ausgangssignals der Detektionseinrichtung auszeichnet.

[0008] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Schaffung einer Positionsmesseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0009] Danach sind die Detektorelemente der Detektionseinrichtung derart zu Detektorgruppen zusammengefasst und diese derart entlang der Erstreckungsrichtung hintereinander angeordnet, dass mindestens eine definierte Oberwelle aus den Ausgangssignalen der Detektionseinrichtung eliminiert wird.

[0010] Die erfindungsgemäße Lösung beruht auf der Erkenntnis, dass die Eliminierung von Oberwellen aus den Ausgangssignalen nicht nur durch eine bestimmte Formgebung der Detektorelemente, sondern (unter Ausnutzung bekannter Filterfunktionen) auch durch einen bestimmten Aufbau der einzelnen Detektorgruppen sowie durch deren Anordnung erreicht werden kann. Die Kombination der einzelnen Detektorelemente zu geeigneten Detektorgruppen erfolgt demnach in Abhängigkeit von einer gewählten Filterfunktion, mit der bestimmte, vorgegebene Oberwellen aus den Ausgangssignalen eliminiert werden sollen.

[0011] Die Gitterkonstante der abzutastenden (größeren) Messteilung ist hier vorzugsweise ein ganzzahliges Vielfaches der kleinsten Gitterkonstante der Detektionseinrichtung, also der Periode der Anordnung der einzelnen Detektorelemente ohne Rücksicht auf Phasen und Verschaltungen der Detektorelemente.

[0012] Dabei werden jeweils die in Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung voneinander be-

abstandeten Detektorgruppen zusammengeschaltet, die Ausgangssignale einer Phase (z. B. jeweils 0°, 90°, 180° oder 270°) erzeugen, so dass deren Ausgangssignale der Auswerteeinheit als einheitliches Signal zugeführt werden. D. h., jeder Detektorgruppe ist ein Ausgangssignal mit einer definierten Phase zugeordnet und die Detektorgruppen, deren Ausgangssignal dieselbe Phase aufweist, werden jeweils so zusammengeschaltet, dass deren Ausgangssignale der Auswerteeinheit als ein gemeinsames Ausgangssignal zugeführt werden.

[0013] Für die Eliminierung bestimmter, vorgegebener Oberwellen mittels einer hierfür geeigneten Filterfunktion kann es erforderlich sein, dass die Zahl an Detektorelementen, aus denen die einzelnen Detektorgruppen mit Ausgangssignalen einer Phase bestehen, zumindest für einen Teil der Phasen, variiert. Ferner kann zumindest für einen Teil der Phasen der Abstand zwischen einander benachbarten Detektorelementen gleicher Phase variieren.

[0014] Die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung kann insbesondere in der Weise erfolgen, dass entlang der Erstreckungsrichtung jeweils aus mehreren Detektorgruppen bestehende Basiseinheiten (vorzugsweise nicht periodisch) hintereinander angeordnet werden. Unter einer Basiseinheit der Detektionseinrichtung wird dabei eine Einheit mit der minimalen Anzahl an Detektorelementen verstanden, die die gewünschte Oberwellenfilterung ermöglicht.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind sämtliche Detektorgruppen der Detektionseinrichtung entlang einer Spur hintereinander angeordnet.

[0016] Nach einer anderen Ausführungsform sind die Detektorgruppen entlang mindestens zweier, senkrecht zu der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung nebeneinander liegender Spuren angeordnet.

[0017] Dabei sind gemäß einer Variante die in unterschiedlichen Spuren angeordneten Detektorgruppen einer Phase um einen bestimmten Versatzabstand Δx zueinander versetzt angeordnet. Für eine definierte Oberwellenfilterung beträgt der Versatzabstand Δx in Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung für entlang der Erstreckungsrichtung benachbarte Detektorgruppen, die in unterschiedlichen Spuren angeordnet sind,

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n)),$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_r$, wobei d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_r die kleinste Gitterkonstante der Detektionseinrichtung ist (also deren feinstes, durch die einzelnen Detektorelemen-

te gebildetes periodisches Raster angibt), n die Ordnung der zu filternden Oberwelle angibt und m eine ganze Zahl sowie i eine natürliche Zahl bezeichnet.

[0018] Gemäß einer anderen Variante sind alle Detektorgruppen einer Phase jeweils in einer Spur angeordnet, so dass benachbarte Spuren jeweils ausschließlich Detektorgruppen unterschiedlicher Phasen aufweisen. Hierbei kann vorgesehen sein, dass innerhalb einer für die Filterung der jeweiligen Oberwelle erforderlichen Basiseinheit die Detektorgruppen einer ersten und einer zweiten Phase (z. B. 0° und 180°) entlang einer Spur und die Detektorgruppen einer dritten und einer vierten Phase (z. B. 90° und 270°) entlang einer anderen Spur in Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung hintereinander angeordnet sind.

[0019] Es können jedoch auch die Detektorgruppen einer Phase jeweils teilweise in der einen und teilweise in der anderen Spur angeordnet sein.

[0020] Durch die Verteilung der Detektorgruppen, aus denen Signale einer Phase generiert werden, nicht nur entlang der Mess- bzw. Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung, sondern auf mindestens zwei benachbarte Spuren, wird die Empfindlichkeit der Anordnung gegenüber Verschmutzung reduziert. Des weiteren wird in diesem Fall das resultierende Abtastsignal nicht durch eventuelle Strichbreitenänderungen der abgetasteten Messteilung beeinflusst.

[0021] Die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung wird jeweils durch mindestens eine erzeugende Filterfunktion bestimmt, die für jedes Detektorelement angibt, mit welchen benachbarten Detektorelementen es zu einer Detektorgruppe zusammengeschaltet sein soll. In einer bevorzugten Weiterbildung wird die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung dabei durch die Verknüpfung mindestens zweier erzeugender Filterfunktionen bestimmt, die sich auf unterschiedliche Detektorgruppen und/oder auf unterschiedliche Merkmale einer Detektorgruppe beziehen. Hierdurch lässt sich ein besonders hoher Füllfaktor in der aus der Bildung von Detektorgruppen resultierenden Detektoranordnung erreichen, d.h., dass möglichst viele der für die Abtastung eines feineren Maßstabes mit kleiner Gitterkonstante vorgesehenen Detektorelemente für die Bildung der Detektorgruppen herangezogen werden.

[0022] Die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung wird dabei vorzugsweise durch die Verknüpfung mindestens zweier komplementärer Filterfunktionen festgelegt, die sich auf unterschiedliche Detektorgruppen und/oder auf unterschiedliche Merkmale einer Detektorgruppe beziehen. Unter komplementären Filterfunktionen werden

dabei solche Filterfunktionen verstanden, die sich hinsichtlich der Gesamtfilterwirkung mit Bezug auf bestimmte Vorgaben, wie z. B. die Minimierung des Oberwellengehaltes des Ausgangssignals, ergänzen. Beispiele geeigneter komplementärer Filterfunktionen werden weiter unten bei der Erläuterung spezieller Ausführungsformen der Erfindung angegeben werden.

[0023] Zur Eliminierung von Oberwellen aus den Ausgangssignalen kann einerseits der Abstand zwischen jeweils zusammengeschalteten, phasengleichen Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung variieren, wobei der durchschnittliche Abstand zwischen den Mittelpunkten (entlang der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung betrachtet) der phasengleichen Detektorgruppen vorzugsweise einem konstanten Wert entspricht.

[0024] Nach einer Filterfunktion wird der Abstand Δx zwischen den Detektorgruppen durch die Vorschrift

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n))$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$ bestimmt, wobei d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die kleinste Gitterkonstante der periodischen Anordnung der Detektorelemente angibt, n die zu filternde Oberwelle und m eine ganze Zahl sowie i eine natürliche Zahl bezeichnet.

[0025] Eine andere Filterfunktion ist dadurch charakterisiert, dass die Ausdehnung jeweils zusammengeschalteter, phasengleicher Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung variiert, indem die einzelnen, phasengleichen Detektorgruppen jeweils durch eine unterschiedliche Anzahl an Detektorelementen gebildet werden. Dabei entspricht die mittlere (durchschnittliche) Ausdehnung der phasengleichen Detektorgruppen vorzugsweise der Periode der Grundwelle der Ausgangssignale der entsprechenden Detektorgruppe.

[0026] Gemäß einer konkreten Filterfunktion wird die Ausdehnung Δb der Detektorgruppen in Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung nach der Vorschrift

$$\Delta b = k \cdot d / n$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$ gebildet, wobei i , k natürliche Zahlen bezeichnen sowie d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die kleinste Gitterkonstante der periodischen Anordnung der Detektorelemente ist und n die Ordnung der zu filternden Oberwelle angibt.

[0027] Für eine Maximierung des Füllfaktors und

eine Minimierung des Fehlers bei der Unterdrückung der Oberwellen kann die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung durch die Verknüpfung einer ersten erzeugenden Filterfunktion, gemäß der der Abstand der Detektorgruppen gleicher Phase in Erstreckungsrichtung variiert, mit einer zweiten erzeugenden Filterfunktion, mit der die Ausdehnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung definiert wird, bestimmt werden.

[0028] Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Anordnung der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung durch eine Arcussinus-Funktion bestimmt, wobei die Position x der Detektorgruppen entlang der Erstreckungsrichtung konkret beschrieben wird durch die Funktion

$$x = k \cdot d / (2 \cdot \pi) \cdot \arcsin(k/N)$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$. Hier sind i und N natürliche Zahlen und k ist eine ganze Zahl mit einem Betrag kleiner oder gleich 1. g_f bezeichnet die kleinste Gitterkonstante der periodischen Anordnung der Detektorelemente sowie d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung. Die Filterfunktion eines derartigen Arcussinus-Filters ist umso umfassender, je größer der Wert für N gewählt wird. Mit einem solchen Filter lassen sich alle Oberwellen erfassen.

[0029] Gemäß einer Weiterbildung dieses Ausführungsbeispiels der Erfindung wird die Anordnung der Detektorgruppen in Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung durch die Verknüpfung zweier Arcussinus-Funktionen bestimmt, wobei die zweite Arcussinus-Funktion vom Typ

$$x = (k + 0.5) \cdot d / (2 \cdot \pi) \cdot \arcsin(k/N)$$

ist.

[0030] Dabei gibt die erste bzw. zweite Arcussinus-Funktion die Anordnung derjenigen Detektorgruppen an, deren Ausgangssignale die Phase 0° oder 180° aufweisen. Für die Lage der Detektorgruppen, die Ausgangssignale der Phase 90° oder 270° erzeugen, gelten entsprechende Formeln, wobei am Beginn des entsprechenden Terms jeweils der Ausdruck $k + 0.25$ bzw. $k + 0.75$ zu verwenden ist.

[0031] Ferner kann vorgesehen sein, dass die eine Arcussinus-Funktion die Anordnung der Detektorgruppen entlang einer ersten Spur und die zweite Arcussinus-Funktion die Anordnung der Detektorgruppen entlang einer zweiten, benachbarten Spur angibt.

[0032] Allgemein ist es vorteilhaft, wenn die Ausdehnung der Detektorgruppen entlang der Erstre-

ckungsrichtung und/oder senkrecht zu der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung gemäß einer trigonometrischen oder zyklometrischen (inversen trigonometrischen) Funktion, insbesondere gemäß einer Sinus-, Cosinus- Arcussinus- oder Arcuscossinus-Funktion variiert. Hiermit lassen sich alle Oberwellen (insbesondere auch für höhere Harmonische) erfassen und filtern.

[0033] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass jeweils senkrecht zu der Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung nebeneinander angeordnete Detektorelemente derart zu Detektorgruppen zusammengeschaltet sind, dass hierdurch vorgebbare Oberwellen aus den Ausgangssignalen eliminiert werden, wobei die Ausdehnung der Detektorgruppen senkrecht zu der besagten Erstreckungsrichtung beispielsweise gemäß einer Kosinus-Funktion variieren kann.

[0034] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden bei der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren deutlich werden.

Ausführungsbeispiel

[0035] Es zeigen:

[0036] **Fig. 1** ein erstes Ausführungsbeispiel einer linear erstreckten Detektionseinrichtung zum Abtasten einer Messteilung, die aus einer Vielzahl entlang der Erstreckungsrichtung hintereinander angeordneter Detektorelemente in Form von Fotoelementen besteht, welche jeweils zu Detektorgruppen zusammengeschaltet sind;

[0037] **Fig. 2** eine Weiterbildung der Anordnung aus **Fig. 1**;

[0038] **Fig. 3** eine Weiterbildung der Anordnung aus den **Fig. 1** und **2**, wobei die Detektorelemente und damit die Detektorgruppen auf zwei quer zur Erstreckungsrichtung nebeneinander angeordnete, benachbarte Spuren verteilt sind;

[0039] **Fig. 4** eine Abwandlung der Anordnung aus **Fig. 3**, wobei die Verteilung der Detektorgruppen in den beiden Spuren durch komplementäre Arcussinus-Funktionen bestimmt ist;

[0040] **Fig. 5a** eine Abwandlung der Anordnung aus den **Fig. 3** und **4**, wobei die Ausdehnung der Detektorgruppen quer zur Erstreckungsrichtung der Spuren variiert;

[0041] **Fig. 5b** eine Detaildarstellung einer der **Fig. 5a** ähnlichen Anordnung;

[0042] **Fig. 6** eine schematische Darstellung des

Versatzes von Detektorgruppen ein und derselben Phase, die in benachbarten Spuren angeordnet sind;

[0043] **Fig. 7** eine schematische Darstellung einer Messteilung eines Drehgebers mit einer definierten Gitterkonstante, die durch eine Abtasteinheit mit einer Detektionseinrichtung abgetastet wird.

[0044] In **Fig. 7** ist schematisch ein Ausschnitt einer Messteilung M eines Drehgebers (Winkelmesssystems) dargestellt, die aus einer Vielzahl entlang der (durch einen Kreisbogen definierten) Erstreckungsrichtung R der Messteilung M periodisch hintereinander angeordneten Teilungsstriche T mit einer Gitterkonstante d besteht.

[0045] Zur Abtastung der Messteilung M mit der Gitterkonstanten d wird eine Detektionseinrichtung D einer Abtasteinheit verwendet, die aus einer Vielzahl Detektorelementen E in Form von Fotoelementen besteht, die in zwei nebeneinander angeordneten Spuren S1, S2 jeweils entlang der Erstreckungsrichtung R der Messteilung M hintereinander angeordnet sind.

[0046] Die einzelnen Detektorelemente E in Form von Fotoelementen sind dabei in ihrer Größe, in ihrer Anordnung hintereinander sowie in ihrer Geometrie derart gewählt, dass sie bei der Abtastung einer Messteilung eines Drehgebers mit einer um das Vierfache kleineren Gitterkonstanten als der in **Fig. 7** dargestellten Messteilung M Ausgangssignale erzeugen, die aufgrund der Geometrie der einzelnen Detektorelemente E frei von bestimmten, vorgegebenen Oberwellen sind. Dabei erzeugt jedes einzelne Detektorelement E ein Ausgangssignal mit einer bestimmten Phase und entlang der Erstreckungsrichtung R voneinander beabstandete Detektorelemente E, die Ausgangssignale derselben Phase erzeugen, führen ihr jeweiliges Ausgangssignal als einheitliches Signal einer Auswerteeinheit zu, wo die Ausgangssignale unterschiedlicher Phasen ausgewertet und hierdurch die relative Lage der Detektionseinrichtung D bezüglich der Messteilung M entlang der Erstreckungs- bzw. Messrichtung R bestimmt werden kann. Wenn die Messteilung M einerseits und die Detektionseinrichtung D andererseits zwei unterschiedlichen Maschinenteilen einer Werkzeugmaschine zugeordnet und mit diesen jeweils verbunden sind, so lässt sich hierdurch eine Relativbewegung der beiden Maschinenteile zueinander erfassen.

[0047] Zur Abtastung der in **Fig. 7** dargestellten Messteilung M, deren Gitterkonstante d größer ist als die Gitterkonstante derjenigen Messteilung, für deren Abtastung die einzelnen Detektorelemente E als solche ursprünglich ausgebildet und angeordnet sind, werden die Detektorelemente E zu Detektorgruppen G1, G2, G3, G4 zusammengefasst, die sich auf beide Spuren S1, S2 verteilen und dort jeweils mehrfach auftreten. Dabei gibt es vier unterschiedliche Typen

von Detektorgruppen G1, G2, G3, G4, wobei jeder Typ G1 bzw. G2 bzw. G3 bzw. G4 jeweils Ausgangssignale einer bestimmten Phase (0° bzw. 90° bzw. 180° bzw. 270°) erzeugt.

[0048] Die Zusammenschaltung der Detektorelemente E zu Detektorgruppen G1, G2, G3, G4 erfolgt dabei in der Weise, dass die Ausgangssignale der Detektorelemente (elektrische Ausgangssignale bei Detektorelementen in Form von Fotoelementen, die die Messteilung M optisch abtasten) einer Detektorgruppe G1, G2, G3 oder G4 jeweils gemeinsam der zugeordneten Auswerteeinheit zugeführt werden. Die Detektorelemente E einer Detektorgruppe G1, G2, G3 oder G4 sind also jeweils elektrisch zusammengeschaltet. Ferner werden wiederum diejenigen (entlang der Erstreckungsrichtung R voneinander beabstandeten) Detektorgruppen zusammengeschaltet, die ein Ausgangssignal ein und derselben Phase erzeugen, so dass die Ausgangssignale einer Phase der Auswerteeinheit gemeinsam zugeführt werden. Es werden also alle diejenigen Detektorgruppen G1 elektrisch zusammengeschaltet, die Ausgangssignale einer Phase von 0° erzeugen; alle diejenigen Detektorgruppen G2, die Ausgangssignale einer Phase von 90° erzeugen; alle diejenigen Detektorgruppen G3, die Ausgangssignale einer Phase von 180° erzeugen; sowie alle diejenigen Detektorgruppen G4, die Ausgangssignale einer Phase von 270° erzeugen.

[0049] Die Detektorelemente einer Detektorgruppe sind dabei in **Fig. 7** jeweils dadurch erkennbar, dass sie die gleiche Schraffur aufweisen. Das Gleiche gilt für solche entlang der Erstreckungsrichtung R voneinander beabstandeten Detektorgruppen, die Ausgangssignale mit einer übereinstimmenden Phase erzeugen.

[0050] Die in **Fig. 7** erkennbaren Lücken L zwischen benachbarten Detektorgruppen umfassen jeweils solche Detektorelemente, die bei der Bildung von Detektorgruppen nicht verwendet wurden. Alternativ können an den Lücken L aus technischen Gründen von vornherein keine Sensoren vorgesehen sein.

[0051] Im Folgenden werden nun anhand der **Fig. 1** bis 6 Vorschriften angegeben und analysiert werden, nach denen die einzelnen Detektorelemente zu Detektorgruppen zusammengeschaltet werden können, um einerseits einen möglichst großen Füllfaktor zu erhalten, d. h. möglichst viele Detektorelemente bei der Bildung der Detektorgruppen zu verwenden, und andererseits mittels der durch die Detektorgruppen gebildeten Detektoreinrichtung definierte Oberwellen aus den Ausgangssignalen herausfiltern zu können.

[0052] Ausgangspunkt für die in den **Fig. 1** bis 3 dargestellten Ausführungsbeispiele ist dabei jeweils folgende Überlegung:

Zur Eliminierung von Oberwellen in den Ausgangssignalen der Detektorgruppen eignet sich zum einen ein Distanzfilter in Form eines sogenannten Zwei-Strichfilters mit der Erzeugungsregel

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n)),$$

wobei Δx den Abstand zwischen benachbarten Detektorgruppen bezeichnet, d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und n die Ordnung der zu filternden Harmonischen angibt, z. B. $n = 3$ oder $n = 5$. m ist eine ganze Zahl. Die minimale Ausdehnung eines derartigen Filters erstreckt sich über zwei Perioden des zu filternden Ausgangssignals.

[0053] Eine weitere Möglichkeit zur Eliminierung von Oberwellen besteht in der Verwendung eines Breitenfilters in Form eines Einzelspaltfilters mit der Erzeugungsregel

$$\Delta b = k \cdot d/n,$$

wobei Δb die Breite der jeweiligen Detektorgruppe angibt, d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und n die zu filternde Harmonische bezeichnet. k ist ein Element der natürlichen Zahlen.

[0054] Ausgehend von dem feinsten Raster g_f (entsprechend der kleinsten Gitterkonstante der einzelnen Detektorelemente) der entlang der Mess- bzw. Erstreckungsrichtung R erstreckten Detektionseinrichtung D ergeben sich hiervon ausgehend folgende Regeln für die Zusammenfassung der Detektorelemente E zu Detektorgruppen sowie für deren Verteilung entlang der Erstreckungsrichtung R zur Abtastung einer Messteilung mit einer Gitterkonstanten, die größer ist als diejenige Gitterkonstante, auf die das feinste Raster g_f abgestimmt ist.

[0055] Sei $d = i \cdot g_f$, d. h., die Gitterkonstante d der abzutastenden Messteilung M ist ein ganzzahliges Vielfaches des feinsten Rasters g_f der Detektionseinrichtung D, wie im Folgenden zugrundegelegt wird; dann gilt

$$\Delta x = d \cdot (1 + 1/(2 \cdot n)) = i \cdot g_f \cdot (1 + 1/(2 \cdot n)).$$

[0056] Im Allgemeinen ist $\Delta x \bmod g_f \neq 0$, d. h. der nach der obigen Erzeugungsregel gebildete Abstand Δx zwischen zwei Detektorgruppen gleicher Phase ist kein ganzzahliges Vielfaches des zugrunde liegenden feinsten Rasters g_f der einzelnen Detektorelemente E. Dies bedeutet, dass der nach der Erzeugungsregel für den Distanzfilter berechnete Abstand Δx zwischen zwei Detektorgruppen gleicher Phase nicht durch ein ganzzahliges Vielfaches des zugrunde liegenden feinsten Rasters g_f dargestellt werden kann. Wählt man das zu dem tatsächlichen Wert nächstliegende ganzzahlige Vielfache, so ergeben sich Abweichungen f_1, f_2 von der nach der Erzeu-

gungsregel berechneten optimalen Distanz Δx (Fehler), die allgemein wie folgt dargestellt werden können:

$$f_1 = 1 - p/_{2n} \text{ und/oder}$$

$$f_2 = p/_{2n},$$

mit $p \in \mathbb{R}$,

je nach dem, ob der tatsächliche, einem ganzzahligen Vielfachen des Rasters g , entsprechende Abstand zwischen den Detektorgruppen gleicher Phase kleiner oder größer als der ideale Wert Δx gewählt wird.

[0057] Für eine verbesserte (optimierte) Filterung kann jedoch die Tatsache genutzt werden, dass sich die vorstehend angegebenen Abweichungen f_1 und f_2 gegenseitig kompensieren können, d. h. für den Gesamtfehler gilt

$$\Sigma f = I_1 \cdot f_1 - I_2 \cdot f_2, \text{ mit } I_1, I_2 \in \mathbb{N}.$$

[0058] Daraus folgt für die Minimierung des Oberwellengehaltes, dass

$$2n/k - 1 = I_2/I_1; \text{ mit } I_1, I_2 \in \mathbb{N},$$

wobei die Summe $I_1 + I_2$ zugleich auch ein Maß für die Anzahl der abzutastenden Perioden der Gitterkonstante d ist. Dies sei im Folgenden an einem Beispiel näher erläutert.

[0059] Die Gitterkonstante d_f der mit der Detektionseinrichtung ursprünglich abzutastenden Messteilung (feinste Gitterkonstante) betrage d_f gleich $1/2048$. Mit vier Detektionselementen (Fotodetektoren) pro Periode ergibt sich $g_f = 1/4 \cdot d_f$.

[0060] Die größere Gitterkonstante der mit derselben Detektionseinrichtung abzutastenden größeren Messteilung betrage $d = 1/512$. D. h., es soll mit einer Detektionseinrichtung eines vorgegebenen Rasters g_f , die ursprünglich für die Abtastung einer Messteilung mit der Gitterkonstante $d_f = 1/2048$ ausgelegt ist, zusätzlich auch eine Messteilung mit der vierfachen Gitterkonstante $d = 1/512$ abgetastet werden. Gemäß den obigen Ausführungen zur Erzeugungsregel für einen Distanzfilter folgt für die Filterung der dritten Harmonischen (d. h., $n = 3$)

$$\Delta x = d \cdot (1 \pm 1/2 \cdot 3) = 4 \cdot d_f \cdot (1 \pm 1/2 \cdot 3) = 16 \cdot g_f \cdot (1 \pm 1/6) = 16 \cdot (g_f \pm 1/6 \cdot g_f).$$

[0061] Aus den vorstehend erläuterten Formeln für die Minimierung des Gesamtfehlers zur Minimierung des Oberwellengehaltes ergibt sich für den Minus-Zweig der Gleichung ferner $I_2/I_1 = 6/4 - 1 = 1/2$ und $I_1 + I_2 = 3$, mit $I_1 = 2$ und $I_2 = 1$. D. h., um im Mittel (Durchschnitt) hinsichtlich des Abstandes zwischen

Detektorgruppen gleicher Phase den idealen, angestrebten Wert Δx zu erhalten, wird für die tatsächlichen Abstände je zweimal ein um $1/3 \cdot g_f$ zu kurzer Abstand und einmal ein um $2/3 \cdot g_f$ zu langer Abstand zwischen den Detektorgruppen gleicher Phase gewählt, womit zugleich die minimale Länge des Filters auf sechs Perioden festgelegt ist. Somit tritt der um $1/3 \cdot g_f$ zu kurze Abstand doppelt so häufig auf, wie der um $2/3 \cdot g_f$ zu lange Abstand zwischen unmittelbar aufeinander folgenden Detektorgruppen gleicher Phase.

[0062] Ausgedrückt in Einheiten des feinsten Rasters g_f der Detektionseinrichtung ergeben sich somit folgende Mittenabstände für die hinsichtlich ihres Abstandes zu variierenden Detektorgruppen gleicher Phase: Ausgehend von der obigen Gleichung für die Filterung der dritten Harmonischen einer Phase erhält man ideale Abstände Δx von $18.66 \cdot g_f$ und $13.33 \cdot g_f$, je nach dem, ob der „Plus“- oder der „Minus“-Zweig der Gleichung für Δx gewählt wird. Für die reale Detektoranordnung ergeben sich somit reale Abstände von einerseits $19 \cdot g_f$ und $18 \cdot g_f$, wobei der erstgenannte, größere Abstand doppelt so häufig auftritt wie der zweitgenannte kleinere und andererseits reale Abstände von $13 \cdot g_f$ und $14 \cdot g_f$, wobei der erstgenannte, kleinere Abstand doppelt so häufig auftritt wie der zweitgenannte, größere Abstand.

[0063] Die vorstehend im Detail erläuterten Berechnungen zur Distanzfilterung (Zwei-Strichfilterung) lassen sich analog auf die Behandlung der Breitenfilter (Einzelspaltfilter) übertragen, wobei statt des Abstandes zwischen aufeinander folgenden Detektorgruppen gleicher Phase die Breite der Detektorgruppen gleicher Phase entlang der Erstreckungsrichtung R variiert.

[0064] Hierbei gilt unter Zugrundelegung der obigen Gleichung für die Breite Δb der Detektorgruppen gleicher Phase im Fall der Filterung der dritten Harmonischen

$$\Delta b = k \cdot d/3 = k \cdot 16 \cdot g_f \cdot 1/3 = k \cdot 5,33 g_f.$$

[0065] Ausgehend von der idealen Breite Δb der Detektorgruppen mit dem Wert $\Delta b = 5.33 \cdot g_f$ treten in der realen Anordnung doppelt so häufig Detektorgruppen einer bestimmten Phase mit der Breite $\Delta b = 5 \cdot g_f$ auf wie entsprechende Detektorgruppen mit der Breite

$$\Delta b = 6 \cdot g_f.$$

[0066] Fig. 1 zeigt eine Kombination der beiden vorbeschriebenen Filtermethoden (Distanzfilter und Breitenfilter) zur Filterung der dritten Harmonischen (d. h., $n = 3$), mit der eine Filterung für das Cosinus-Signal realisiert werden kann, d. h., die Detektorgruppen $G1$, deren Ausgangssignale die Phase 0° aufweisen, sowie die Detektorgruppen $G3$, deren Aus-

gangssignale die Phase 180° aufweisen, werden nach den obigen Vorschriften verschaltet, wobei die erstgenannten Detektorgruppen G1 bei konstanter Breite dem Distanzfilter (bezogen auf den Abstand zwischen den – in Erstreckungsrichtung R betrachtet – Mittelpunkten der jeweils unmittelbar aufeinanderfolgenden Detektorgruppen G1) unterworfen sind und die zweitgenannten Detektorgruppen G3 zur Erzielung der mittleren Breite $\Delta b = 5,33 \cdot g_f$ unterschiedliche Breiten von $5 \cdot g_f$ und $6 \cdot g_f$ aufweisen.

[0067] Bei der in **Fig. 1** gezeigten Anordnung ist neben der vorbeschriebenen Filterung des Cosinus-Signales nur eine eingeschränkte Filterung des Sinus-Signales mit den Phasen 90° und 270° möglich. Um das Cosinus-Signal und das Sinus-Signal in gleicher Weise einer Filterung unterziehen zu können, ist eine in **Fig. 2** dargestellte Weiterentwicklung der Anordnung aus **Fig. 1** vorgesehen.

[0068] Gemäß **Fig. 2** werden aus jeweils zwei Gitterperioden (d), d. h. aus 32 Detektorelementen E bestehende Detektorblöcke abwechselnd für die Filterung des Cosinus-Signales und für die Filterung des Sinus-Signales genutzt. Die zur Filterung des Cosinus-Signales verwendeten Blöcke enthalten dabei jeweils diejenigen Detektorgruppen G1, G3, die Ausgangssignale mit einer Phase von 0° bzw. 180° erzeugen. Die zur Filterung des Sinus-Signales verwendeten Detektorblöcke umfassen Detektorgruppen G2, G4, die jeweils Ausgangssignale mit einer Phase von 90° bzw. 270° erzeugen.

[0069] Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den zur Filterung des Cosinus-Signales bzw. in den zur Filterung des Sinus-Signales dienenden Detektorblöcken jeweils abwechselnd die einen Detektorgruppen G1 oder G3 bzw. G2 oder G4 einem Distanzfilter und einem Breitenfilter unterzogen werden. So beträgt in **Fig. 2** in dem ersten Detektorblock die Breite der Detektorgruppen G1, die Ausgangssignale mit einer Phase von 0° erzeugen, jeweils acht Detektorelemente. Die Breite der beiden Detektorgruppen G3, die jeweils Ausgangssignale mit einer Phase von 180° erzeugen, beträgt demgegenüber einmal elf Detektorelemente und einmal fünf Detektorelemente. In diesem ersten Detektorblock sind also diejenigen Detektorgruppen G1, die Ausgangssignale mit einer Phase von 0° erzeugen, bei konstanter Breite einem Distanzfilter unterzogen und diejenigen Detektorgruppen G3, die Ausgangssignale mit einer Phase von 180° erzeugen, einem Breitenfilter unterzogen. In dem dritten Detektorblock, der wiederum Detektorgruppen G1, G3 umfasst, welche Ausgangssignale mit einer Phase von 0° bzw. 180° erzeugen, ist die Situation genau umgekehrt. Diejenigen Detektorgruppen G3, welche ein Ausgangssignal mit einer Phase von 180° erzeugen, weisen dort eine konstante Breite von acht Detektorelementen auf, während die anderen Detektorgruppen G1 eine Breite von zehn bzw.

sechs Detektorelementen aufweisen.

[0070] Die gleiche Situation besteht in dem zweiten und vierten Detektorblock, die jeweils Detektorgruppen G2, G4 beinhalten, welche Ausgangssignale mit einer Phase von 90° bzw. 270° erzeugen. In dem zweiten Detektorblock weisen die Detektorgruppen G2, die Ausgangssignale mit einer Phase von 90° erzeugen, jeweils eine konstante Breite von acht Detektorelementen auf, während die beiden anderen Detektorgruppen G4 in einem Fall eine Breite von zehn Detektorelementen und im anderen Fall eine Breite von sechs Detektorelementen aufweisen. Im vierten Detektorblock ist die Situation wiederum umgekehrt: Hier weisen die Detektorgruppen G4, die Ausgangssignale mit einer Phase von 270° erzeugen eine konstante Breite von acht Detektorelementen auf, und die anderen Detektorgruppen G2 weisen in einem Fall eine Breite von elf Detektorelementen und im anderen Fall eine Breite von fünf Detektorelementen auf.

[0071] Sowohl bei den Detektorblöcken, die der Filterung des Cosinus-Signales dienen, als auch bei den Detektorblöcken, die der Filterung des Sinus-Signales dienen, variiert die Distanz zwischen den Detektorgruppen, die einem Distanzfilter unterzogen sind. In den in **Fig. 2** dargestellten Detektorblöcken beträgt sie teilweise achtzehn und teilweise neunzehn Detektorelemente. Ebenso gibt es eine Variation in dem Breitenfilter, der in einem Teil der Detektorblöcke durch die Kombination von Detektorgruppen der Breite elf Detektorelemente mit Detektorgruppen der Breite fünf Detektorelemente gebildet wird, und in anderen Detektorblöcken durch Kombination von Detektorblöcken der Breite zehn Detektorelemente mit Detektorgruppen der Breite sechs Detektorelemente. Dies geschieht aus den oben angegebenen Gründen der Minimierung des Gesamtfehlers der Anordnung zur Optimierung der Filterwirkung.

[0072] Die Anordnung in **Fig. 2** zeichnet sich insgesamt durch eine verbesserte Symmetrie sowohl hinsichtlich der Filterung des Cosinus-Signales einerseits und der Filterung des Sinus-Signales andererseits aus, als auch hinsichtlich des Einsatzes des Breitenfilters einerseits und des Distanzfilters andererseits in den einzelnen Detektorblöcken. Dies verbessert insbesondere die Unempfindlichkeit der Anordnung gegenüber Verschmutzung.

[0073] Die in **Fig. 2** dargestellte Ausbildung und Anordnung der Detektorgruppen G1, G2, G3 und G4 ermöglicht zwar eine gleichartige Filterung sowohl des Sinus- als auch des Cosinus-Signales; jedoch weist diese Anordnung den Nachteil des Verlustes des Einfeldcharakters der Abtastung auf, d. h. der Gewinnung aller vier Phasen aus einer Signalperiode.

[0074] Zur Kompensation dieses Nachteiles ist ge-

mäß **Fig. 3** eine Verdopplung der Abtastspur vorgehen, so dass die Detektionseinrichtung D zwei senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung R (Messrichtung) nebeneinander angeordnete Spuren S1, S2 umfasst, wobei in jeder der beiden Spuren jeweils abwechselnd Detektorblöcke mit Detektorgruppen G1, G3 zur Filterung des Cosinus-Signales und Detektorblöcke mit Detektorgruppen G2, G4 zur Filterung des Sinus-Signales angeordnet sind. Quer zur Erstreckungsrichtung R nebeneinander angeordnete Detektorblöcke dienen dabei jeweils zur Filterung unterschiedlicher Signale, d. h., neben einem der Filterung des Cosinus-Signales angeordneten Filterblock in der Spur S1 (bestehend aus Detektorgruppen G1, G3 mit Ausgangssignalen der Phase 0° und 180°) ist in der anderen Spur S2 jeweils ein Detektorblock zur Filterung des Sinus-Signales (also bestehend aus den Detektorgruppen G2 und G4, welche Ausgangssignale der Phase 90° und 270° erzeugen) angeordnet, und umgekehrt.

[0075] In diesem Fall weist also eine Basiseinheit, die der Filterung sowohl des Cosinus- als auch des Sinus-Signales dient und hierzu sowohl Breiten- als auch Distanzfilter umfasst, entlang der Erstreckungsrichtung R lediglich eine Ausdehnung von 32 Detektorelementen (entsprechend zwei Gitterkonstanten d der abzutastenden Messteilung) auf. Ein weiterer Vorteil der in **Fig. 3** dargestellten Anordnung mit zwei nebeneinander, parallel zueinander entlang der Erstreckungsrichtung R verlaufenden Spuren S1, S2 liegt somit in der Reduzierung der Abtastlänge.

[0076] In den **Fig. 2** und **3** entsprechen die Lücken L zwischen benachbarten Detektorelementen E jeweils bei der Bildung der Detektorgruppen G1, G2, G3 und G4 nicht genutzten Detektorelementen der Detektionseinrichtung. Die entsprechenden, nicht genutzten Detektorelemente stehen nicht mit der Auswerteeinheit in Verbindung, sind also insbesondere nicht mit den weiteren Detektorelementen zur Bildung von Detektorgruppen verschaltet. Es kann sich hierbei aber auch um Lücken L handeln, die aus technischen Gründen ohnehin keine Detektorelemente enthalten.

[0077] Entsprechend dem vorstehend speziell für die Filterung der dritten Harmonischen beschriebenen Vorgehen können durch geeignetes Zusammenfassen der einzelnen Detektorelemente E einer Detektionseinrichtung D sowie durch geeignete Anordnung der hierdurch gebildeten Detektorgruppen G1, G2, G3, G4 hintereinander auch andere Oberwellen sowie mehrere Oberwellen gleichzeitig aus den Ausgangssignalen der Detektionseinrichtung eliminiert werden, und zwar auf der Grundlage der weiter oben beschriebenen Filterfunktionen auf der Basis eines Distanz- sowie eines Breitenfilters.

[0078] Für eine möglichst kompakte Ausgestaltung

der zur Filterung verwendeten Anordnung kann bereits die ursprüngliche, feinste Struktur mit dem kleinsten Raster g_f in mehreren Spuren ausgeführt sein, um für die Filterung der größeren Spur mit einem größeren Raster einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die optimale Verteilung der Detektorgruppen zu erreichen, vergleiche hierzu die DE 100 20 575 A1.

[0079] **Fig. 4** zeigt eine Detektionseinrichtung D, die zwei quer zur Erstreckungsrichtung R (Messrichtung) nebeneinander angeordnete Spuren S1, S2 aufweist. Jede der beiden Spuren S1, S2 erstreckt sich jeweils entlang der Messrichtung R. Die erste Spur S1 wird dabei gebildet durch Detektorgruppen G1, G3, die Ausgangssignale mit einer Phase von 0° bzw. 180° erzeugen, und die zweite Spur S2 wird gebildet durch Detektorgruppen G2, G4, die Ausgangssignale mit einer Phase von 90° bzw. 270° erzeugen.

[0080] Es handelt sich hierbei um ein zweites Beispiel für die Verwendung komplementärer Filterstrukturen zur Oberflächenfilterung. Während bei den anhand der **Fig. 1** bis **3** dargestellten Ausführungsbeispielen als komplementäre Filter ein Distanz- und ein Breitenfilter verwendet wurden, dienen bei dem in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiel zwei komplementäre Arcussinus-Filter als Erzeugende für Lage der Detektorgruppen. Die ideale Position für die Lage der Detektorgruppen G1, G3 der Ausgangssignale mit einer Phase von 0° bzw. 180° wird dabei beschrieben durch die Erzeugende.

$$x_{0k} = \frac{k * d}{2 * \pi} \arcsin \left(\frac{k}{N} \right),$$

wobei $k = -N \dots N$ und $N = 3,5,7 \dots$

[0081] Die hierzu komplementäre (ergänzende) Erzeugende einer Filterfunktion lautet:

$$x_{180k} = \frac{(k + 0.5) * d}{2 * \pi} \arcsin \left(\frac{k}{N} \right),$$

[0082] In **Fig. 4** ist dabei die ideale Anordnung der Detektorgruppen G1, G2, G3, G4 dargestellt. Entsprechend den vorstehend anhand der **Fig. 1** bis **3** beschriebenen Ausführungsbeispielen besteht auch hier das Problem, dass die aus realen Detektorelementen (in **Fig. 4** der Übersichtlichkeit halber nicht mit dargestellt) gebildeten Detektorgruppen nicht genau die durch die erzeugenden Filterfunktionen angegebene Lage und Ausdehnung aufweisen. Dementsprechend muss auch hier durch geeignete Anordnung von Detektorgruppen, die jeweils Abweichungen von der idealen Detektorgruppe aufweisen, eine Minimierung, möglichst Eliminierung, des Gesamtfehlers erfolgen. Dies geschieht auf der Grundlage der gleichen Prinzipien, die weiter oben für die Fehler f_1 und f_2 bei der Filterung der Oberwellen durch einen Distanz- und einen Breitenfilter erläutert.

[0083] Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung sind die einzelnen Detektorgruppen durch eine charakteristische Variation ihrer Ausdehnung quer zur Erstreckungsrichtung R charakterisiert.

[0084] Ausgehend von einer Detektionseinrichtung, bei der eine Mehrzahl von Fotoelementen quer zur Erstreckungsrichtung R (Messrichtung) nebeneinander angeordnet ist, kann eine Filterfunktion der für die Abtastung der größeren Messteilung ausgestalteten Detektionseinrichtung auch durch geeignete Verschaltung der einzelnen Detektorelemente entlang einer Richtung Q quer zur Erstreckungs- bzw. Messrichtung der Detektionseinrichtung D erreicht werden. D.h., bezogen auf die zugrunde liegende Messteilung M (vergleiche Fig. 7) erfolgt eine Verschaltung von Detektorelementen in Strichrichtung der Teilungsstriche T der Messteilung M. Dies ist natürlich, wie bereits erwähnt, nur dann möglich, wenn entlang der Querrichtung Q (senkrecht zur Erstreckungsrichtung R) eine hinreichende Zahl von Detektorelementen nebeneinander angeordnet ist.

[0085] Alternativ kann vorgesehen sein, dass die entsprechenden Spuren von vornherein Detektorelemente aufweisen, deren Ausdehnung entlang der Querrichtung Q variiert, wobei dann nur noch entlang der Erstreckungsrichtung R nebeneinander angeordnete Detektorelemente unterschiedlicher Ausdehnung in Querrichtung Q miteinander verschaltet werden müssen, um die gewünschten Detektorgruppen zu bilden.

[0086] Unabhängig davon, ob die einzelnen, in Erstreckungsrichtung R nebeneinander angeordneten Detektorbereiche, die jeweils unterschiedliche Ausdehnung entlang der Querrichtung Q aufweisen, durch Detektorelemente gebildet werden, die von vornherein eine unterschiedliche Ausdehnung entlang der Querrichtung Q aufweisen, oder durch das Verschalten kleinerer Detektorelemente entlang der Querrichtung Q, müssen diese Detektorbereiche zur Bildung von Detektorgruppen jeweils noch in Erstreckungsrichtung R verschaltet werden.

[0087] Fig. 5a zeigt eine derartige Anordnung mit zwei nebeneinander angeordneten Spuren S1, S2, wobei die eine Spur S1 Detektorgruppen G1, G3 aufweist, welche Ausgangssignale mit einer Phase von 0° bzw. 180° erzeugen, und die andere, benachbarte Spur S2 Detektorgruppen G2, G4 enthält, welche Ausgangssignale mit einer Phase von 90° bzw. 270° erzeugen.

[0088] Die Filterfunktionen der in Fig. 5a dargestellten Anordnung, durch die die Verschaltung der Detektorelemente quer zur Erstreckungsrichtung R bestimmt wird, lauten:

$$y_{0k} = h \cdot |\cos(\pi \cdot k/N)|,$$

und

$$y_{180k} = h \cdot (1 - |\cos(\pi \cdot k/N)|),$$

[0089] Hier gibt h die Höhe der jeweiligen Spur S1, S2 (Ausdehnung quer zur Erstreckungsrichtung R) an; N bezeichnet die Anzahl der Detektoren pro Teilungsperiode d der abzutastenden Messteilung und k = -N ... N (d.h. k nimmt einen ganzzahligen Wert zwischen -N und N an). Es handelt sich also hier um komplementäre Filterfunktionen auf der Basis jeweils einer Cosinus-Funktion.

[0090] Fig. 5b zeigt beispielhaft wie eine durch eine durchgezogene Linie repräsentierte ideale Filterfunktion auf der Grundlage einer Sinus- oder Cosinus-Funktion näherungsweise durch Verschaltung von Detektorelementen quer zur Erstreckungsrichtung der Detektionseinrichtung nachvollzogen werden kann, und zwar beispielhaft für Detektorgruppen G1, G3 der Phase 0° bzw. 180°.

[0091] In den Fig. 5a und 5b können die einzelnen Detektorbereiche, deren Ausdehnung entlang einer Querrichtung Q senkrecht zur Erstreckungsrichtung R variiert, einerseits durch geeignetes Verschalten jeweils entlang der Querrichtung Q nebeneinander angeordneter Detektorelemente erreicht werden oder andererseits dadurch, dass die einzelnen Detektorelemente, die schließlich entlang der Erstreckungsrichtung R zu Detektorgruppen G1, G2, G3, G4 verschaltet werden, von vornherein eine unterschiedliche Ausdehnung entlang der Querrichtung Q aufweisen.

[0092] Fig. 6 zeigt schließlich für zwei benachbarte Spuren, die jeweils Detektorgruppen aller vier relevanten Phasen (0°, 90°, 180°, 270°) aufweisen, den Versatzabstand Δx der Detektorgruppen einer Phase (0°, 90°, 180°, 270°), jedoch angeordnet in unterschiedlichen Spuren S1 bzw. S2, welcher gegeben ist durch

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n)),$$

mit $d = i \cdot g_f$, wobei n die zu filternde Oberwelle und m eine ganze Zahl bezeichnet sowie g_f die Gitterkonstante der periodischen Anordnung der Detektorelemente ist. Ferner ist d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und i eine natürliche Zahl.

[0093] Auch bei dieser Variante ist zu berücksichtigen, dass Δx im Allgemeinen kein ganzzahliges Vielfaches von g_f ist, so dass auch hier der tatsächliche Versatzabstand Δx von Detektorgruppen, der ja nur durch ein ganzzahliges Vielfaches von g_f gebildet werden kann, von dem Idealwert für Δx abweicht. Hier ist wiederum eine Minimierung des Gesamtfehlers vorzunehmen, wie weiter oben am Beispiel des Breitenfilters und des Distanzfilters erläutert.

Patentansprüche

1. Positionsmesseinrichtung mit

- einer entlang einer Messrichtung erstreckten Messteilung,
- eine Abtasteinheit zum Abtasten der Messteilung und
- einer Detektionseinrichtung der Abtasteinheit, die eine Vielzahl entlang einer Erstreckungsrichtung periodisch hintereinander angeordneter Detektorelemente umfasst, die bei Abtastung der Messteilung einer Auswerteeinheit zuführbare Ausgangssignale erzeugen,

wobei jeweils mehrere benachbarte Detektorelemente derart zu einer Detektorgruppe zusammengeschaltet sind, dass deren Ausgangssignale zusammengeführt werden und der Auswerteeinheit als einheitliches Signal zugeführt werden können,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Detektorelemente (E) derart zu Detektorgruppen (G 1, G2, G3, G4) zusammengefasst und die Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) derart entlang der Erstreckungsrichtung (R) hintereinander angeordnet sind, dass mindestens eine definierte Oberwelle aus den Ausgangssignalen eliminiert wird.

2. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils mehrere in Erstreckungsrichtung (R) voneinander beabstandete Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) derart zusammengeschaltet sind, dass deren Ausgangssignale zusammengeführt und der Auswerteeinheit als einheitliches Signal zugeführt werden.

3. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zusammengeschalteten Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) jeweils Ausgangssignale einer Phase (0° , 90° , 180° , 270°) erzeugen.

4. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass Ausgangssignale mit unterschiedlichen Phasen (0° , 90° , 180° , 270°) erzeugt werden und dass jede Detektorgruppe (G1, G2, G3, G4) einer der Phasen (0° , 90° , 180° , 270°) zugeordnet ist.

5. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahl an Detektorelementen (E), aus denen Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einer Phase (0° , 90° , 180° , 270°) bestehen, entlang der Erstreckungsrichtung (R) der Detektionseinrichtung (D) variiert.

6. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Zahl der Detektorelemente (E) zwischen benachbarten Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einer Phase (0° , 90° , 180° , 270°) entlang der Erstreckungsrichtung (R) der Detektionseinrichtung (D) variiert.

7. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Form der einzelnen zu einer Detektorgruppe (G1, G2, G3, G4) verschalteten Detektorelemente (E) derart gewählt ist, dass dadurch eine Filterung zumindest einer weiteren Oberwelle erfolgt, die aus der Abtastung einer Messteilung mit einer anderen Teilungsperiode (d_i) resultiert.

8. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sämtliche Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang einer Spur hintereinander angeordnet sind.

9. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang mindestens zweier, senkrecht zu der Erstreckungsrichtung (R) nebeneinander liegender Spuren (S1, S2) angeordnet sind.

10. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3 oder 4 und Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass alle Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einer Phase (0° , 90° , 180° , 270°) jeweils in einer Spur (S1 oder S2) angeordnet sind.

11. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb einer für die Filterung erforderlichen Basiseinheit die Detektorgruppen (G1, G3) einer ersten und einer zweiten Phase (0° , 180°) entlang der einen Spur (S1) und die Detektorgruppen (G2, G4) einer dritten und einer vierten Phase (90° , 270°) entlang der anderen Spur (S2) in Erstreckungsrichtung (R) hintereinander angeordnet sind.

12. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 3 oder 4 und Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einer Phase (0° , 90° , 180° , 270°) jeweils teilweise in der einen und der anderen Spur (S1, S2) angeordnet sind.

13. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) durch mindestens eine erzeugende Filterfunktion bestimmt wird, die für jedes Detektorelement (E) angibt, mit welchen benachbarten Detektorelementen (E) es zusammengeschaltet ist.

14. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) durch die Verknüpfung mindestens zweier erzeugender Filterfunktionen bestimmt wird, die sich auf unterschiedliche Detektorgruppen und/oder auf unterschiedliche Merkmale einer Detektorgruppe beziehen.

15. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) durch die Verknüpfung mindestens zweier komplementärer Filterfunktionen bestimmt wird, die sich auf unterschiedliche Detektorgruppen und/oder auf unterschiedliche Merkmale einer Detektorgruppe beziehen.

16. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass alle oder nahezu alle Detektorelemente (R) der Detektionseinrichtung (D) zu Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) verschaltet sind.

17. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 9 und einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) der einzelnen Phasen (0°, 90°, 180°, 270°) in den verschiedenen Spuren (S1, S2) entlang der Erstreckungsrichtung (R) um einen bestimmten Versatzabstand (Δx) zueinander versetzt angeordnet sind.

18. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatzabstand (Δx) der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einer Phase (0°, 90°, 180°, 270°) sich ergibt als

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n)),$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$, wobei d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die Gitterkonstante der periodischen Anordnung der einzelnen Detektorelemente (E) angibt, n die zu filternde Oberwelle und m eine ganze Zahl sowie i eine natürliche Zahl ist.

19. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Eliminierung von Oberwellen der Abstand zwischen Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) variiert.

20. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2 und 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der jeweils zusammenschalteten, phasengleichen Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) variiert.

21. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Abstand zwischen den Mittelpunkten der zusammenschalteten Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) einem konstanten Wert entspricht.

22. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand Δx zwischen Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) nach der Vorschrift

$$\Delta x = m \cdot d \cdot (1 \pm 1/(2 \cdot n))$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$ bestimmt wird, wobei d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die Gitterkonstante der periodischen Anordnung der einzelnen Detektorelemente (E) angibt, n die zu filternde Oberwelle und m eine ganze Zahl sowie i eine natürliche Zahl ist.

23. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Eliminierung der Oberwellen die Ausdehnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) variiert.

24. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2 und 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung der jeweils zusammenschalteten, phasengleichen Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) in Erstreckungsrichtung (R) variiert.

25. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2 und 22, dadurch gekennzeichnet, dass die zusammenschalteten Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) eine durchschnittliche Ausdehnung in Erstreckungsrichtung (R) aufweisen, die einer nicht ganzzahligen Kombination von Detektorelementen (E) entspricht.

26. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung Δb der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) in Erstreckungsrichtung (R) nach der Vorschrift

$$\Delta b = k \cdot d / N$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$ bestimmt wird, wobei i , k natürliche Zahlen sind sowie d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die Gitterkonstante der periodischen Anordnung der einzelnen Detektorelemente (E) bezeichnet und n die zu filternde Oberwelle angibt.

27. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 16, einem der Ansprüche 18 bis 21 und einem der Ansprüche 22 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) durch die Verknüpfung einer ersten erzeugenden Filterfunktion, gemäß derer der Abstand der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) in Erstreckungsrichtung (R) variiert, mit einer zweiten erzeugenden Filterfunktion, gemäß derer die Ausdehnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) in Erstreckungsrichtung (R) variiert, bestimmt wird.

28. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) gemäß ei-

ner Arcussinus-Funktion erfolgt.

29. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Position x der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) beschrieben wird durch die Funktion

$$x = k \cdot d / (2 \cdot \pi) \cdot \arcsin(k/N),$$

mit vorzugsweise $d = i \cdot g_f$, wobei i und N natürliche Zahlen sind und k eine ganze Zahl mit dem Betrag kleiner oder gleich N ist ($k = -N \dots N$) sowie d die Gitterkonstante der abzutastenden Messteilung und g_f die Gitterkonstante der periodischen Anordnung der einzelnen Detektorelemente (E) bezeichnet.

30. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18 und Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) in Erstreckungsrichtung (R) durch die Verknüpfung zweier Arcussinus-Funktionen bestimmt ist.

31. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Arcussinus-Funktion vom Typ

$$x = (k + 0.5) \cdot d / (2 \cdot \pi) \cdot \arcsin(k/N)$$

ist.

32. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Arcussinus-Funktion die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G3) angibt, deren Ausgangssignale die Phase 0° oder 180° aufweisen, und dass die zweite Arcussinus-Funktion die Lage der Detektorgruppen (G2, G4) angibt, die Ausgangssignale der Phase 90° oder 270° erzeugen.

33. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 13 und einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die eine Arcussinus-Funktion die Anordnung der Detektorgruppen (G1, G3) entlang einer ersten Spur (S1) und die zweite Arcussinus-Funktion die Anordnung der Detektorgruppen (G2, G4) entlang einer zweiten Spur (S2) angibt.

34. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) senkrecht zu der Erstreckungsrichtung (R) variiert.

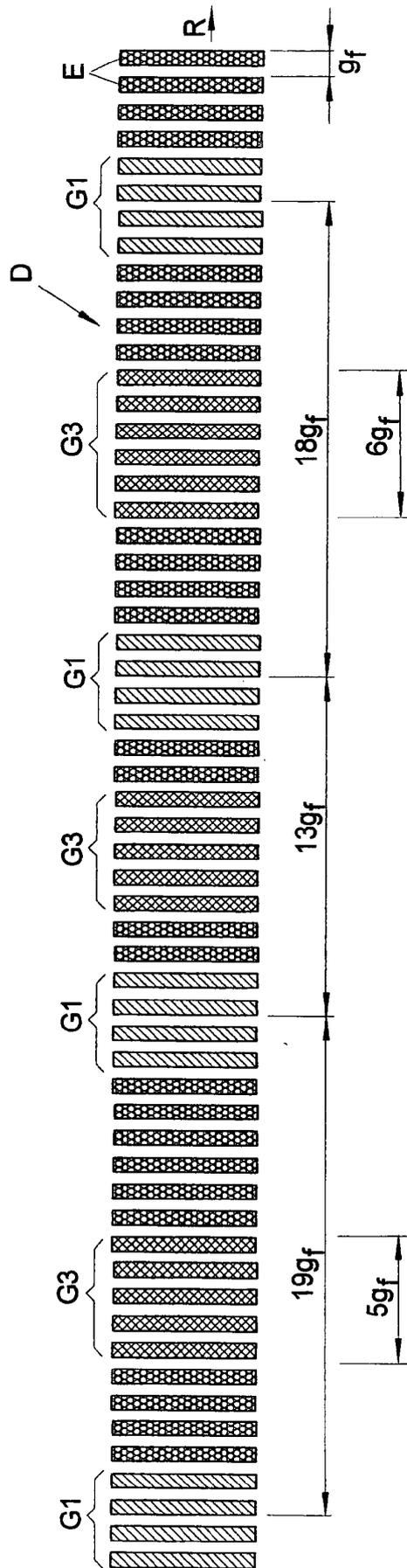
35. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) senkrecht zu der Erstreckungsrichtung (R) gemäß einer Cosinus- oder einer Sinus-Funktion variiert.

36. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausdehnung der Detektorgruppen (G1, G2, G3, G4) entlang der Erstreckungsrichtung (R) oder senkrecht zu der Erstreckungsrichtung (R) gemäß einer trigonometrischen oder einer zyklometrischen Funktion variiert.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1



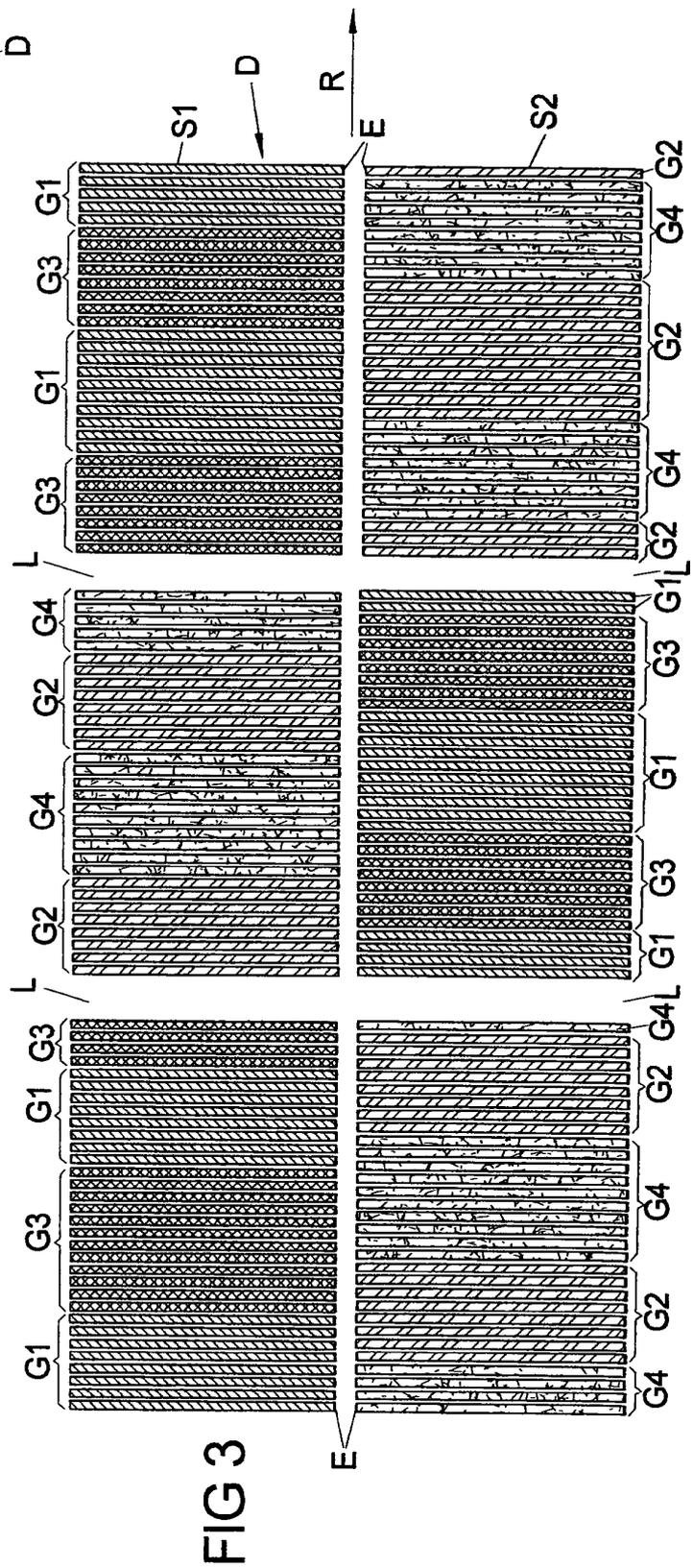
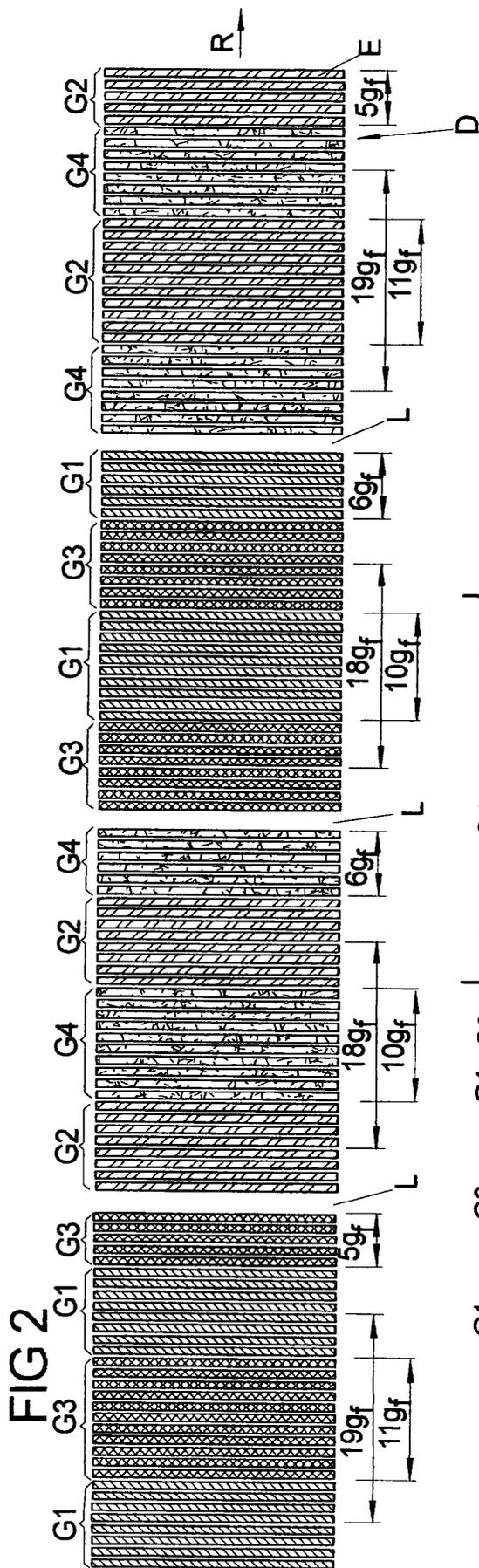


FIG 4

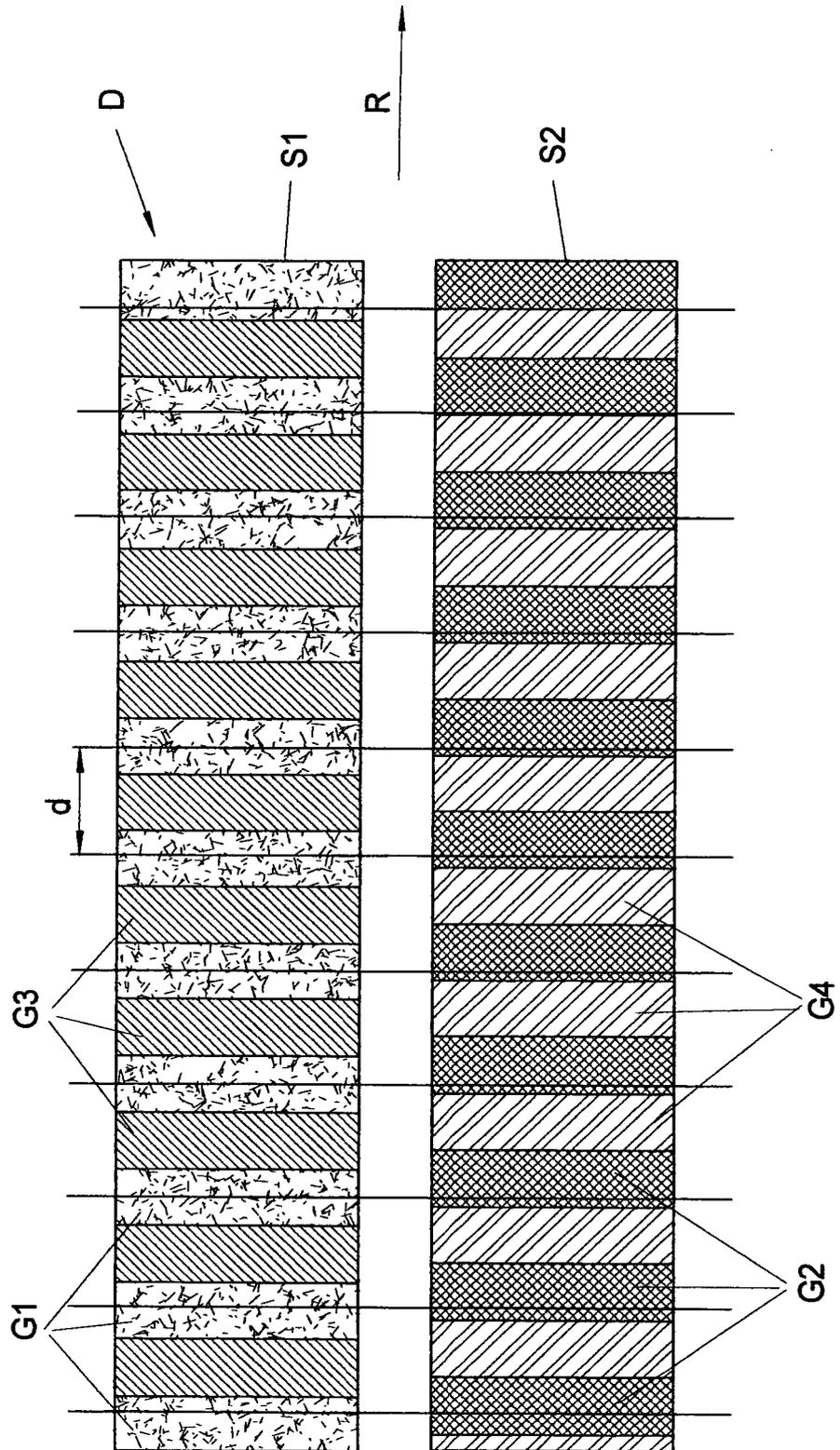


FIG 5A

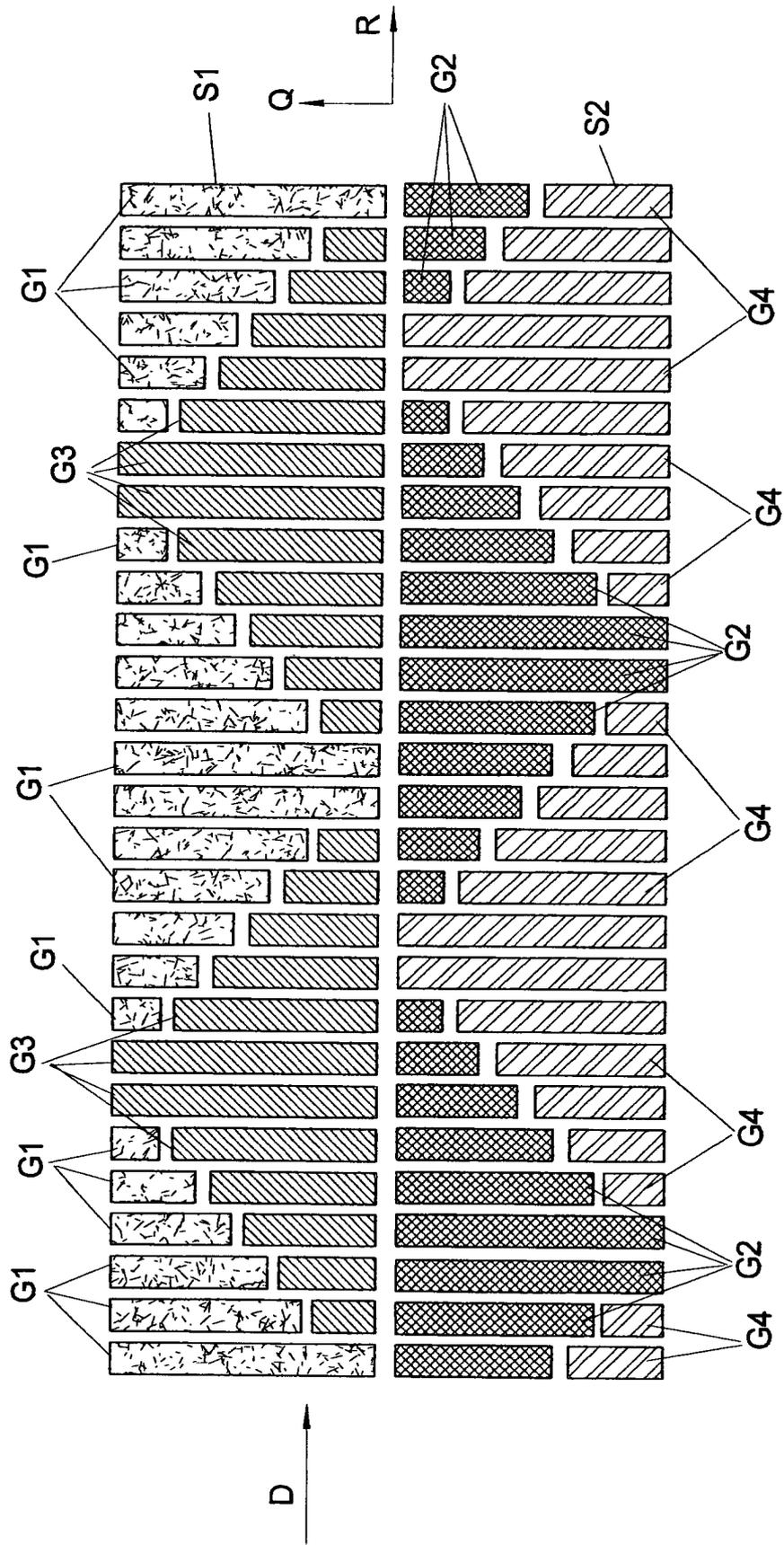


FIG 5B

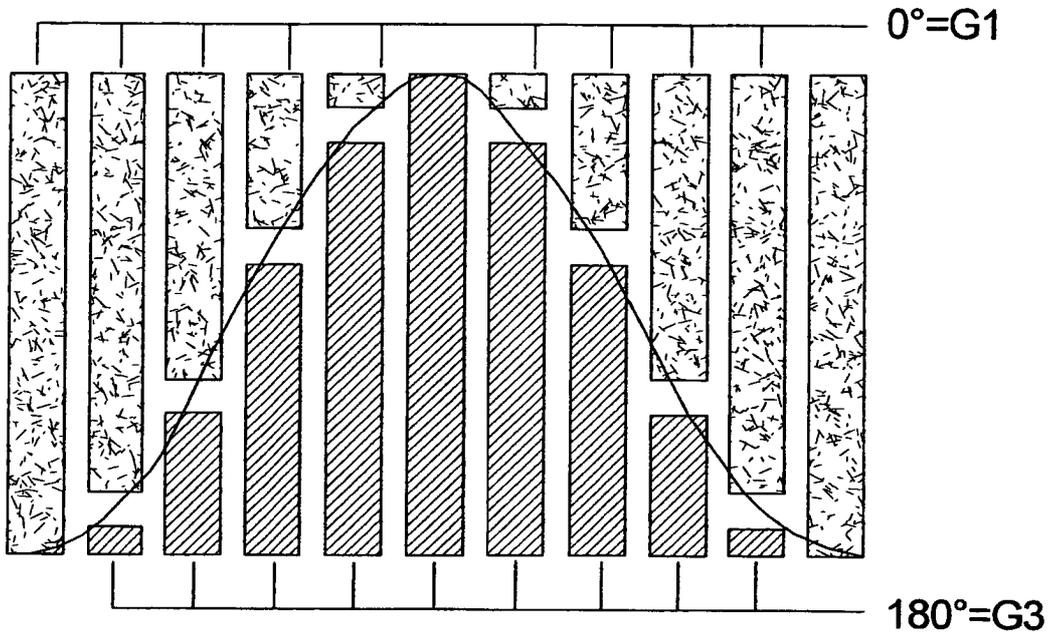


FIG 6

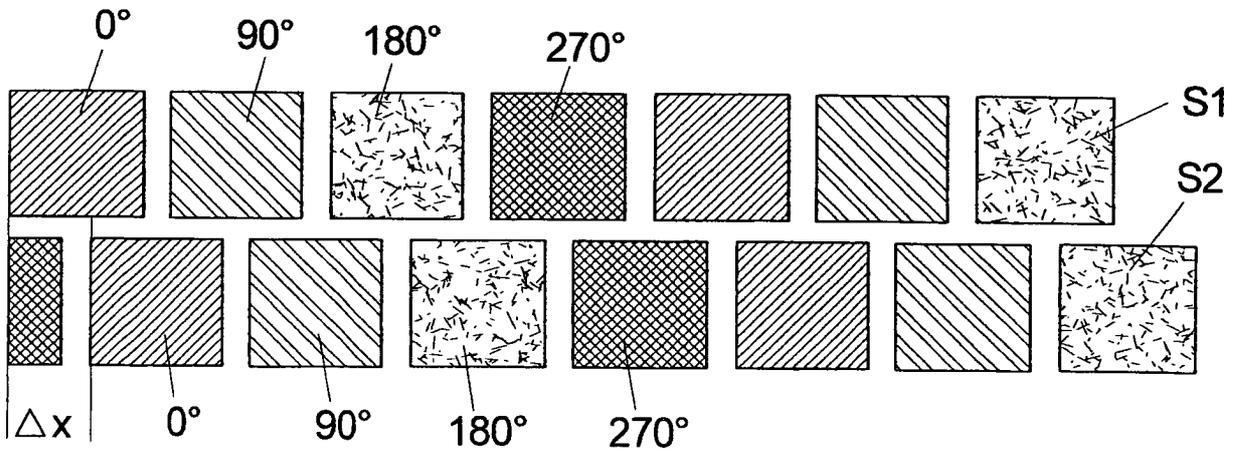


FIG 7

