



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 450 191 A2**

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **90125415.1**

Int. Cl.⁵: **H01Q 21/22, H01Q 1/04**

Anmeldetag: **24.12.90**

Priorität: **02.04.90 DE 4010502**

Erfinder: **Meuser, Wilfried, Dipl.-Ing.**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.10.91 Patentblatt 91/41

**Am Lehester Deich 51
W-2800 Bremen 33(DE)**

Erfinder: **Loges, Werner, Dipl.-Ing.**

Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT SE

**Am Grossen Moordamm 1C
W-2800 Bremen 33(DE)**

Anmelder: **KRUPP ATLAS ELEKTRONIK GMBH**
Postfach 44 85 45 Sebaldsbrücker
Heerstrasse 235
W-2800 Bremen 44(DE)

Erfinder: **Reipschläger, Thomas, Dipl.-Ing.**
Osterdeich 146a
W-2800 Bremen 1(DE)

Wandleranordnung.

- 2.1 Richtcharakteristiken von Wandleranordnungen mit einer Vielzahl an Wandlerelementen, die in äquidistanten Abständen größer als die halbe Wellenlänge angeordnet sind, weisen neben der Hauptkeule sog. Grating-Lobes gleicher Empfindlichkeit auf. Die Grating-Lobes werden bei statistischer Verteilung der Wandlerelemente so gedämpft, daß Fehlpeilungen vermieden werden. Zur Erzeugung mehrerer Richtcharakteristiken oder einer schwenkbaren Richtcharakteristik muß aber für jede Richtung und jedes Wandlerelement eine individuelle Laufzeit- oder Phasenkompensation vorgesehen werden.
- 2.2 Um schaltungstechnischen Aufwand zur Richtungsbildung zu vereinfachen, wird erfindungsgemäß die Vielzahl der Wandlerelemente in Gruppen eingeteilt, die Wandlerelemente innerhalb der Gruppe mit gleichen Abständen angeordnet und von Gruppe zu Gruppe mit dem 1,5fachen Wert des Abstands. Die Gruppen weisen gleiche oder unterschiedliche Wandlerzahlen auf, die von der Mitte nach außen abnehmen, wodurch Empfangsenergie aus Grating-Lobe-Richtung stark gedämpft wird.
- 2.3 Die Wandleranordnung ist in der Wasserschalltechnik für breitbandige oder schmalbandige Passiv- oder Aktivanlagen insbesondere für den Empfang vorteilhaft einsetzbar.

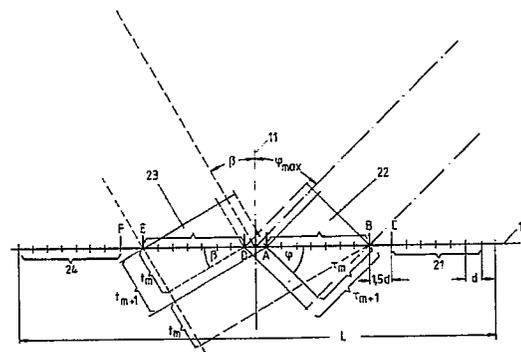


Fig. 1

EP 0 450 191 A2

WANDLERANORDNUNG

Die Erfindung betrifft eine Wandleranordnung mit einer Vielzahl an Wandlerelementen für eine schwenkbare Richtcharakteristik der im Oberbegriff genannten Art.

In der Radar- und Sonartechnik werden Wandleranordnungen oder Antennen zum Bilden von Richtcharakteristiken benötigt, um Richtung und Entfernung wellenabstrahlender oder reflektierender Ziele zu bestimmen. Der Öffnungswinkel einer Richtcharakteristik bestimmt die Genauigkeit der Richtungsbestimmung oder Peilung zum Ziel und wird durch die Längenabmessung der Wandleranordnung festgelegt. Eine eindeutige Richtungsbestimmung wird aber erst dann möglich, wenn über die Länge der Wandleranordnung eine Vielzahl von Wandlerelementen äquidistant im Abstand der kleinsten zu empfangenden, halben Wellenlänge angeordnet sind. Dann besteht die Richtcharakteristik aus einer Hauptkeule maximaler Empfindlichkeit und gedämpften Nebenkeulen. Wenn jedoch die Abstände der Wandlerelemente größer als die halbe Wellenlänge sind, sei es aus Kostengründen oder wegen der geometrischen Abmessungen der Wandlerelemente selbst oder wegen auftretender Wärmeprobleme im Aktivbetrieb, ist eine Richtungsbestimmung nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich, da die Richtcharakteristik außer der gewünschten Hauptkeule weitere Keulen gleicher Empfindlichkeit, sog. Grating-Lobes, aufweist. Welleneinfall aus einer oder mehreren der Richtungen, in die die Grating-Lobes weisen, würde eine Peilung aus der Richtung, in die die Hauptkeule weist, vortäuschen. Um solche Fehlpeilungen auszuschließen, wird bei einer aktiv arbeitenden Ortungsanlage beispielsweise nur ein schmaler Sektor mit Wellen bestrahlt, so daß die Grating-Lobe-Richtungen außerhalb des Sektors liegen. Ist eine Sektorbegrenzung nicht möglich, so wird ein Ausblenden oder Dämpfen der Grating-Lobes beispielsweise dadurch erzielt, daß die Wandleranordnung aus statistisch zueinander angeordneten Wandlerelementen aufgebaut wird, wie es beispielsweise in der US-PS 3 553 703 beschrieben ist.

Aus der PCT-Anmeldung WO 88/10523 entsprechend EP-Anmeldung 0315689 ist eine flächige, aus auf konzentrischen Kreisen angeordneten Wandlerelementen aufgebaute Wandleranordnung zum Senden elektromagnetischer Wellen bekannt. Es werden unterschiedlich große Wandlerelemente je Kreis verwendet, so daß die Abstände der Wandlerelemente in radialer Richtung aufgrund der unterschiedlichen Wandlerelementgrößen verschieden sind. Die Anzahl gleicher Wandlerelemente je Kreis ist durch die Wandlerelementgröße vorgegeben. Die Länge der Radien der konzentrischen Kreise steigt nicht periodisch an. Die Wandlerelementgröße nimmt von der Mitte ausgehend zu und zum Rand der Wandleranordnung hin wieder ab, die kleinsten Wandlerelemente befinden sich in der Mitte. Durch den nicht periodischen Aufbau der Wandleranordnung werden Grating-Lobes, aufgrund der durch die unterschiedlichen Größen der Wandlerelemente gegebenen Amplitudenbewertung der abgestrahlten Welle Nebenkeulen gedämpft, wobei der Antennengewinn derselbe ist, wie bei einer Wandleranordnung mit gleich großen Wandlerelementen.

Für Ortungsaufgaben können durch Phasenansteuerung der Wandleranordnung mehrere in unterschiedliche Richtungen weisende Richtcharakteristiken oder eine schwenkbare Richtcharakteristik gebildet werden. Für jede Raumrichtung ist eine spezielle Phasenansteuerung der unregelmäßig angeordneten Wandlerelemente notwendig, so daß der Aufwand an Phasendrehgliedern zur Richtungsbildung insbesondere bei einem kontinuierlich zu überwachenden räumlichen Gebiet wesentlich größer ist als bei einer regelmäßig aufgebauten Antennenkonfiguration.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Wandleranordnung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art zu schaffen, bei der mehrere in unterschiedlichen Richtungen weisende Richtcharakteristiken oder eine schwenkbare Richtcharakteristik unter Vermeidung von Fehlpeilungen durch Grating-Lobes ohne großen Mehraufwand gebildet werden können. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichenteil des Anspruchs 1 genannten Merkmale gelöst.

Der Vorteil einer Wandleranordnung gemäß Anspruch 1 liegt darin, daß die Fertigung besonders einfach ist, da der Wandleranordnung eine Rasterung vom halben Abstand der Wandlerelemente zueinander zugrunde liegt und somit eine Periodizität. Diese Rasterung ist für die Dimensionierung des Richtungsbildners ebenfalls vorteilhaft, so daß bei einer Schwenkung einer Richtcharakteristik oder der simultanen Bildung mehrerer in unterschiedliche Richtungen weisenden Richtcharakteristiken den Wandlerelementen Vielfache von Phasendreh- oder Laufzeitinkrementen zugeordnet werden können und nicht für jedes Wandlerelement ein spezieller Verzögerungs- oder Phasenwert zur zeitlichen Kompensation ihrer Empfangssignale berechnet und bereitgestellt werden muß.

Die Wandlerelemente innerhalb einer Gruppe haben den gleichen Abstand und von Gruppe zu Gruppe den 1,5fachen Wert dieses Abstands. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß bei einem Abstand größer als die halbe Wellenlänge der zugehörigen Arbeitsfrequenz ein Einfall von Wellen aus der Grating-Lobe-Richtung nicht zu einer Fehlpeilung führt, da Wandlerelemente benachbarter Gruppen nicht den Abstand d ,

sondern $1,5 \cdot d$ aufweisen und unter dem Grating-Lobe-Winkel empfangene Wellen von Gruppe zu Gruppe um eine halbe Wellenlänge verschoben sind und ihre Empfangssignale sich somit auslöschen. Die bei äquidistanter Anordnung der Wandlerelemente aus Grating-Lobe-Richtung empfangene Energie wird bei der erfindungsgemäßen Wandleranordnung in benachbarte Winkelbereiche aufgespalten und verteilt. Für Gruppen mit gleich großen Wandlerzahlen ergibt sich dadurch bei jedem Schwenkwinkel eine Richtcharakteristik mit einer Hauptkeule und einer Nullstelle beim zugehörigen Grating-Lobe-Winkel.

Der Grating-Lobe-Winkel ist, abgesehen vom Schwenkwinkel, in die die Richtcharakteristik weist, von der Frequenz und vom Abstand äquidistanter Wandlerelemente abhängig. Durch den Versatz der Gruppen um den 1,5fachen Wert des Abstands ist der Vorteil gegeben, daß für jeden Schwenkwinkel der Richtcharakteristik und jede Frequenz die Unterdrückung des Grating-Lobes gewährleistet ist. Somit ist die erfindungsgemäße Wandleranordnung nicht nur für schmalbandigen, sondern insbesondere auch für breitbandigen Empfang vorteilhaft einsetzbar, beispielsweise in der Wasserschalltechnik für Schleppantennen zum Peilen von Wasserfahrzeugen im niederfrequenten Bereich, weil durch die Ausgestaltung der Wandleranordnung eine Einsparung von Wandlerelementen und damit eine Preisreduktion möglich ist, ohne daß die Peilgenauigkeit abnimmt.

Bei Einsatz im hochfrequenten, schmalbandigen Bereich, bei dem beispielsweise die Wandlerelemente durch ihre Baugröße nicht in einem Abstand kleiner als die halbe Wellenlänge der empfangenen Schallwellen angeordnet werden können, ist eine gute Bündelung besonders kostensparend und fertigungstechnisch vorteilhaft erzielbar, da die Vielzahl der Wandlerelemente auch bei großen Abmessungen der Wandleranordnung reduziert werden kann und Kosten und Gewicht bei gleicher Leistung eingespart werden. Die Wandleranordnung gemäß Anspruch 1 ist dadurch vorteilhaft in Minenjagd- und Minenmeideanlagen einsetzbar, bei denen Fehlpeilungen besonders schädlich wären.

Sowohl im schmalbandigen, wie auch im breitbandigen Betrieb ist es gleichermaßen vorteilhaft, daß der Richtungsbildner durch Vielfache von Phasen- oder Laufzeitinkrementen realisiert wird, wodurch der Aufwand an Schaltungstechnik klein gehalten werden kann.

Die Vielzahl der Wandlerelemente kann aber nicht nur längs einer Geraden angeordnet werden, sondern auch längs einer gewölbten Linie, die beispielsweise einer Fahrzeugwandung folgt, man spricht dann von einem sog. conformed array. Bei Anwendung in der Wasserschalltechnik folgt die Wandleranordnung der Kontur eines Schiffs, U-Boots oder Torpedos. Die erfindungsgemäße Wandleranordnung ist auch für eine Zylinderbasis realisierbar. Bei all diesen Wandleranordnungen werden die Richtcharakteristiken durch Kompensation der Laufzeit oder Phasen der Empfangssignale vom Einbauort zu einer Geraden senkrecht zur Einfallsrichtung der Welle und Summation gebildet. Ausgehend von dieser Geraden ist die Dimensionierung der Wandleranordnung gemäß Anspruch 1 durchzuführen. Die einzelnen Wandlerelementorte erhält man durch senkrecht Verschieben vom virtuellen Ort auf der Geraden zum geometrischen Ort auf der Einbaulinie, das durch den Richtungsbildner wieder aufgehoben wird.

Für eine flächige Wandleranordnung mit einer Bündelung ihrer Richtcharakteristik in Azimut und Elevation wird die Fläche durch sich in der Mitte kreuzende Linien aufgeteilt und die Wandlerelemente längs der Linien in Gruppen angeordnet.

Die Vielzahl der Wandlerelemente wird gemäß der vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Wandleranordnung nach Anspruch 2 längs einer Geraden angeordnet und ihre Anzahl an Gruppen längs der Geraden wird gemäß der vorteilhaften Weiterbildung nach Anspruch 3 so gewählt, daß ein geforderter Dämpfungsabstand zwischen Hauptkeule und zersplitterten Grating-Lobes im Bereich um den Grating-Lobe-Winkel eingehalten wird. Empfangsenergie, die bei einer äquidistant angeordneten Wandleranordnung aus der Grating-Lobe-Richtung empfangen würde, wird durch die erfindungsgemäße Wandleranordnung in benachbarte Winkelbereiche zwischen Grating-Lobe-Winkel und Schwenkwinkel verteilt. Die Winkelbereiche sind von der Anzahl der Gruppen abhängig. Das bedeutet auch, daß bei gleicher Bündelung die einzelnen Wandlerelemente je Gruppe enger zusammenrücken, da die Gruppenabstände gleich dem 1,5fachen Wert der Wandlerabstände innerhalb der Gruppe sind. Sind die Gruppen der Wandlerelemente gleich groß, ergeben sich in der Richtcharakteristik Keulen, die von wesentlich geringerer Empfindlichkeit sind als die Hauptkeule. Im Winkelbereich um den Grating-Lobe-Winkel sind die Keulen zersplitterte Grating-Lobes, die symmetrisch zum Grating-Lobe-Winkel liegen, im übrigen Winkelbereich bis zur Hauptkeule periodisch auftretende Keulen, die als Pseudo-Grating-Lobes aufgefaßt werden können. Ihre Empfindlichkeit nimmt zur Hauptkeule hin ab.

Um eine Richtcharakteristik zu erhalten, die einer Richtcharakteristik ähnelt, die mit einer Wandleranordnung mit verauschten Abständen der Wandlerelemente, die nicht periodisch, sondern statistisch sind, erzielbar ist, weisen nach einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Wandleranordnung nach Anspruch 4 die Gruppen unterschiedliche Wandlerzahlen auf, wobei die Gruppen symmetrisch zur Mitte der Wandleranordnung angeordnet sind. Besonders vorteilhaft ist eine Wandleranordnung, bei der die Wandler-

zahlen der am dichtesten zur Mitte angeordneten Gruppen am größten sind und zum Rand der Wandleranordnung hin abnehmen. Durch diese Maßnahme werden auch die Pseudo-Grating-Lobes zersplittert und die Richtcharakteristik abgesehen von der Hauptkeule kontinuierlich über alle Winkelbereiche auf ungefähr gleiches Niveau herabgedämpft, das um so niedriger ist, je größer die Anzahl der Gruppen ist. Eine
 5 zusätzliche Beeinflussung der Richtcharakteristik durch eine Amplitudenbewertung der Empfangssignale der Wandleranordnung nach der Erfindung ist möglich und bringt bezüglich ihrer Nebenkeulen die bekannten Vorteile mit sich. Durch Simulationsrechnungen der Richtcharakteristik läßt sich in einfacher Weise eine Optimierung der Anzahl der Gruppen und ihrer Wandlerzahlen erreichen.

Besonders vorteilhaft ist es, die Wandlerzahlen der Gruppen so zu wählen, daß die Wandleranordnung,
 10 wie in Anspruch 5 angegeben, aus zwei gleichen Teilbasen besteht, die ineinander verschachtelt angeordnet sind und zueinander seitenvertauscht spiegelsymmetrisch sind. Jede der beiden Teilbasen weist eine Rasterung auf, die gleich dem Abstand der Wandler ist. Die beiden Teilbasen sind jedoch gegeneinander um den 1.5fachen Wert des Abstands verschoben. Durch diese Maßnahme werden Lage und Pegel aller Keulen, außer der Hauptkeule, so verteilt, daß bei Schwenkung der Hauptkeule in den maximalen Schwenk-
 15 winkel aus anderen Winkelbereichen einfallende Wellenenergie gleichmäßig gedämpft wird, wobei die Dämpfung im Winkelbereich um den zugehörigen Grating-Lobe-Winkel um so größer ist je größer die Anzahl der Gruppen. Die Absenkung im Winkelbereich zwischen dem Grating-Lobe-Winkel und der Richtung, in die die Hauptkeule weist, ist gleich groß ist, wenn die Wandlerzahlen der Gruppen ungleich sind. Die zersplitterten Grating-Lobes symmetrisch um den Grating-Lobe-Winkel ebnen sich insbesondere auf gleiche
 20 niedrige Pegel ein, wenn die Wandlerzahlen von der Mitte nach außen abnehmen.

Besonders vorteilhaft ist es, die Wandlerzahlen der Gruppen gemäß Anspruch 6 zu dimensionieren. Die angegebene Vorschrift ist mit dem Hebelgesetz vergleichbar. Es wird die Distanz zwischen der Mitte der Wandleranordnung und jedem einzelnen Wandlerelement der zu einer Teilbasis gehörenden Gruppen rechts und links von der Mitte der Wandleranordnung aufsummiert. Eine Richtcharakteristik mit maximaler Empfind-
 25 lichkeit in der Hauptkeule bei maximalem Schwenkwinkel und gleichmäßiger Dämpfung im übrigen Winkelbereich wird dadurch gewährleistet, daß die Summe der Distanzen rechts von der Mitte gleich der Summe der Distanzen links von der Mitte ist. Dadurch liegt der Schwerpunkt jeder Teilbasis nahezu auf der Mitte der Wandleranordnung. Bei dieser Dimensionierung ist davon ausgegangen, daß die Empfangssignale der Wandlerelemente nach einer Amplitudenbewertung von "1" im Richtungsbildner addiert werden.

Wenn jedoch zur weiteren Verbesserung der Richtcharakteristik eine ungleichförmige Amplitudenbewertung durchgeführt wird, wird gemäß der vorteilhaften Weiterbildung nach Anspruch 7 das Produkt aus der jeweiligen Distanz und dem Amplitudenbewertungsfaktor gebildet und die Summe über die Produkte für jede Teilbasis unter Berücksichtigung der Lage des Wandlers bezüglich der Mitte "Null". Bei einer solchen Wandleranordnung liegt die Dämpfung um den Grating-Lobe-Winkel in einem Winkelbereich von ca. 10° bei
 35 mehr als 35 dB gegenüber der Empfindlichkeit der Hauptkeule. Die zersplitterten Grating-Lobes, die diesen Winkelbereich begrenzen, weisen eine Dämpfung von gut 10 dB auf. Die Dämpfung im Winkelbereich bis zum Schwenkwinkel der Hauptkeule nimmt kontinuierlich zu bis auf Werte von 30 dB.

Die Dimensionierung der Wandlerzahlen der Gruppen ist abhängig vom Anwendungsfall der Wandleranordnung und ist beispielsweise bei einem breitbandigen Betrieb, wie er bei einer Schleppantenne zum
 40 Überwachen eines Seegebiets notwendig ist, anders als bei schmalbandigem Betrieb, wie er z.B. bei aktiv arbeitenden Sonaranlagen üblich ist, bei denen eine große Trennschärfe bezüglich Echos aus einem beschallten breiten Winkelsektor notwendig ist.

Bei Aktivanlagen ist es besonders vorteilhaft, die Wandleranordnung für den Empfang gemäß Anspruch 7 zu dimensionieren, bei der die mittlere Wandlerzahl der Gruppen so gewählt ist, daß Echos aus anderen
 45 Richtungen als der Richtung der Hauptkeule mit wesentlich geringerer Empfindlichkeit empfangen werden. Bei impulsförmigen Schalleinfall aus Grating-Lobe-Richtung wird durch die Maßnahme gemäß Anspruch 8 dafür gesorgt, daß immer gleich viele Wandlerelemente Empfangssignale aufweisen, die sich gegenseitig auslöschen, während der Impuls über die Wandleranordnung streicht.

Die für den Empfangsfall beschriebenen Wandleranordnungen sind ebenfalls zum Senden geeignet.
 50 Die Erfindung ist anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen für eine Wandleranordnung mit einer Vielzahl an Wandlerelementen zum Senden und/oder Empfangen von Schallwellen, die Bestandteil einer Sonaranlage ist, nachfolgend näher beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Wandleranordnung mit Gruppen von Wandlerelementen, deren Wandlerzahlen gleich sind,
- 55 Fig. 2 eine Richtcharakteristik der Wandleranordnung gemäß Fig. 1,
- Fig. 3 eine Richtcharakteristik für eine Wandleranordnung mit statistisch angeordneten Wandlerelementen,
- Fig. 4 eine Wandleranordnung aus zwei Teilbasen, deren Gruppen unterschiedliche Wandlerzahlen

aufweisen,

Fig. 5 eine Richtcharakteristik der Wandleranordnung gemäß Fig. 4,

Fig. 6 ein Diagramm für Richtmaße über dem Winkel, parametrisiert mit der Anzahl der Gruppen.

Fig. 1 zeigt eine Wandleranordnung für eine Wasserschallanlage mit einer Vielzahl N an Wandlererelementen, die längs einer Geraden 10 angeordnet sind. Den Wandlererelementen ist ein - hier nicht gezeigter - Richtungsbildner nachgeordnet, der aus Phasendrehgliedern bei monochromatischem Empfang oder aus Laufzeitgliedern bei breitbandigem Empfang besteht. Die Empfangssignale der Wandlererelemente werden bei einem Empfang von Schallwellen aus der Senkrechten auf die Mitte 11 der Wandleranordnung unverzögert addiert und bilden eine Richtcharakteristik mit Hauptkeule in Richtung der Mittelsenkrechten und Nebenkeulen. Ihr Öffnungswinkel ist um so kleiner, je größer die Ausdehnung L der Wandleranordnung ist. Mit der Wandleranordnung und dem Richtungsbildner ist durch Laufzeit- oder Phasensteuerung eine Schwenkung der Richtcharakteristik aus der Mittelsenkrechten um Winkel ζ möglich, wobei der maximale Schwenkwinkel der eingezeichnete Winkel ζ_{\max} ist. Ebenso können mehrere Richtcharakteristiken gebildet werden, deren Hauptkeulen in unterschiedliche Schwenkwinkel weisen.

Auf der Geraden 10 sind N = 32 Wandlererelemente angeordnet, die jeweils zu acht Wandlererelementen Gruppen 21, 22, 23, 24 bilden, wobei q = 4 die Anzahl der Gruppen ist. Innerhalb jeder Gruppe 21 bis 24 weisen die Wandlererelemente einen Abstand d zueinander auf, zwischen den Gruppen 21 und 22 bzw. 22 und 23 bzw. 23 und 24 den 1,5fachen Wert des Abstands d. Der Abstand d der Wandlererelemente ist größer als $\lambda/2$, wobei λ die kleinste Wellenlänge der empfangenen Schallwelle ist. Bei einem Schwenkwinkel ζ_{\max} der Richtcharakteristik treten außer Nebenkeulen eine weitere Keule mit gleicher Empfindlichkeit wie die Hauptkeule, das sog. Grating-Lobe, unter einem Grating-Lobe-Winkel β auf, wie beispielsweise in "Microwave Scanning Antennas" von R.C. Hansen, Academic Press, New York und London, 1964, auf Seite 203 dargestellt. Es gilt die Beziehung $\sin \beta = \sin \zeta - n \lambda/d$. Die Anzahl der Grating-Lobe-Winkel β und ihre Größe sind abhängig vom Abstand d der Wandlererelemente in bezug auf die Wellenlänge λ der empfangenen Welle und vom Schwenkwinkel ζ . Zu jedem Schwenkwinkel ζ und jeder Frequenz f stellen sich andere Grating-Lobe-Winkel β ein.

Der Abstand d der Wandlererelemente wird aus der Ausdehnung L der gesamten Wandleranordnung, der Vielzahl N der Wandlererelemente und der Anzahl q der Gruppen nach der Regel $(N-1) \cdot d + (q-1) \cdot 1,5 d = L$ berechnet und beträgt beispielsweise $d = 3 \lambda/4$. Bei einem Schalleinfall aus dem Schwenkwinkel ζ ergibt sich der Grating-Lobe-Winkel β wie folgt für n = 1:

$$\sin \beta = \sin \zeta - 4/3 .$$

Für die Richtungsbildung einer Richtcharakteristik unter einem Schwenkwinkel $\zeta = \zeta_{\max} = 45^\circ$ gemäß Fig. 1 ist die Verzögerungszeit τ_m zwischen den äußeren Wandlererelementen jeder Gruppe 21, 22, 23, 24, z.B. zwischen den Wandlererelementen an den Positionen von B und A

$$\tau_m = \sin \zeta \cdot m \cdot d / c = \sin 45^\circ \cdot 3/4 \frac{\lambda \cdot m}{c} \quad (1)$$

nötig, wobei m die um eins verminderte Wandlerzahl z jeder Gruppe ist.

Für das Wandlererelement zur jeweils benachbarten Gruppe 23, beispielsweise zwischen den Wandlererelementen an den Positionen B und D, ergibt sich eine Verzögerungszeit von

$$\tau_{m+1} = \sin \zeta \cdot (m+1,5) \cdot d / c = 3/4 \sin \zeta \cdot \frac{\lambda \cdot m}{c} + 3/4 \sin \zeta \cdot 3/2 \lambda / c \quad (2)$$

Fällt eine Schallwelle aus der Richtung $\zeta = \zeta_{\max}$ ein, so werden das Empfangssignal $U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0)}$ des Wandlererelements an der Position B mit der Anfangsphase $\omega\tau_0$ und der Kreisfrequenz ω um die Verzögerungszeit $\tau_{m+1} + \tau_m$, das Empfangssignal $U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_m)}$ des Wandlererelements an der Position A um $(\tau_m + \tau_{m+1} - \tau_m)$ verzögert und das Empfangssignal

$$U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1})}$$

des Wandlerelements an der Position D um τ_m und das Empfangssignal an der Position E

5 $U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1}+\tau_m)}$

nicht verzögert. Die konphasen Signale werden addiert:

10
$$\underbrace{U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1}+\tau_m)}}_B + \underbrace{U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_m+\tau_{m+1}-\tau_m+\tau_m)}}_A +$$

15
$$\underbrace{U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1}+\tau_m)}}_D + \underbrace{U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1}+\tau_m)}}_E =$$

20
$$= 4 \cdot U \cdot e^{j\omega(t+\tau_0+\tau_{m+1}+\tau_m)}.$$

25 Fällt bei dieser Richtungsbildung eine Schallwelle aus dem Grating-Lobe-Winkel β ein, so weist die empfangene Schallwelle an dem Wandlerelement an der Position D gegenüber dem Wandlerelement an der Position E, die jeweils die äußeren Wandlerelemente der Gruppe 23 bilden, einen Laufzeitunterschied t_m auf, dessen Vorzeichen gegenüber den Verzögerungszeiten τ negativ ist.

30
$$t_m = -\sin\beta \cdot m \cdot d/c = (4/3 - \sin\varphi) \cdot 3/4 \cdot \frac{\lambda \cdot m}{c}$$

35
$$t_m = \frac{\lambda \cdot m}{c} - 3/4 \sin\varphi \cdot \frac{\lambda \cdot m}{c} \tag{3}$$

Der Laufzeitunterschied t_{m+1} zwischen dem Wandlerelement an der Position E und dem Wandlerelement an der Position A berechnet sich wie folgt:

40
$$t_{m+1} = -\sin\beta \cdot (m+1,5) \cdot d/c = (4/3 - \sin\varphi) \cdot 3/4 \cdot \frac{\lambda \cdot (m+1,5)}{c}$$

45
$$t_{m+1} = \frac{\lambda \cdot m}{c} + 3/2 \cdot \lambda/c - 3/4 \sin\varphi \cdot \frac{\lambda \cdot m}{c} - 3/4 \sin\varphi \cdot 3/2 \cdot$$

50
$$\cdot \lambda/c \tag{4}$$

Diese Laufzeitunterschiede t_m und t_{m+1} ergeben sich stets zwischen den Wandlerelementen an den Grenzen benachbarter Gruppen 24/23 bzw. 23/22 bzw. 22/21. Es entsprechen also die Positionen F, E, D den Positionen D, A, B usw.

55 Addiert man zum Laufzeitunterschied t die Verzögerungszeit τ im Richtungsbildner, so erhält man bei Empfang unter dem Grating-Lobe-Winkel β : an der Position E das Empfangssignal $U \cdot e^{j\omega(t+\tau\beta)}$, wobei $\omega \cdot \tau_\beta$ eine beliebige Anfangsphase ist. Dieses Empfangssignal bei der Position E wird nicht verzögert,

an der Position D das Empfangssignal $U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+t_m)}$, das um τ_m verzögert wird, und nach Einsetzen von (1) und (3) das verzögerte Signal

$$U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot \lambda/c)},$$

5

bei der Position A das Empfangssignal $U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+t_m+1)}$, das um die Verzögerungszeit τ_{m+1} verzögert wird, und nach Einsetzen von (2) und (4) das verzögerte Signal

$$U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot \lambda/c + 3 \cdot \lambda/2c)},$$

10

bei der Position B das Empfangssignal

$U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+t_m+1+t_m)}$, das um $\tau_{m+1} + \tau_m$ verzögert wird, und nach Einsetzen von (1), (2), (3) und (4) das verzögerte Signal

$$15 \quad U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot 2 \cdot \lambda/c + 3 \cdot \lambda/2c)}.$$

Nach Addition erhält man

20

$$U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta)} + U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot \lambda/c)} +$$

25

E

D

30

$$+ U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot \lambda/c + 3 \cdot \lambda/2c)} +$$

35

A

40

$$+ U \cdot e^{j\omega(t+\tau_\beta+m \cdot 2 \cdot \lambda/c + 3 \cdot \lambda/2c)}$$

45

B

Man erkennt, daß der 1,5fache Abstand d eine Phasenverschiebung zwischen den Empfangssignalen bei D und A um 180° oder $\lambda/2$ bewirkt. Innerhalb der Gruppen 21, 22, 23, 24, werden die verzögerten Signale konphas addiert, von Gruppe 21/22 bzw. 22/23 bzw. 23/34 jedoch gegeneinander um eine halbe Wellenlänge verschoben, so daß eine Summierung der verzögerten Empfangssignale bei gerader Anzahl der Gruppen 22, ..., 24, Null ergibt. Im Gegensatz dazu wird durch die Kompensation im Richtungsbildner bei Schalleinfall aus dem Schwenkwinkel ξ eine konphase Addition der Empfangssignale erreicht.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, bei dem Richtempfindlichkeit R/dB über dem Winkel θ aufgetragen ist, für eine Richtcharakteristik einer Wandleranordnung gemäß Fig. 1, die aus $q=20$ Gruppen besteht, wobei jede Gruppe beispielsweise eine Wandlerzahl $z = 5$ aufweist. Der Richtungsbildner ist so eingestellt, daß ihre Hauptkeule 30 in den maximalen Schwenkwinkel ξ_{max} weist. In einem Winkelbereich 31 befindet sich der Grating-Lobe-Winkel β , der durch die beiden höchsten zersplitterten Grating-Lobes 32, 33 begrenzt ist, die gegenüber der Richtempfindlichkeit R der Hauptkeule 30 eine Dämpfung von $R1$ aufweisen. Im Winkelbe-

reich 31 um den Grating-Lobe-Winkel β ist die Dämpfung wesentlich größer, ungefähr dreimal so groß wie R1. Außerdem sind in der Richtcharakteristik sog. Pseudo-Grating-Lobes 34, 35, 36, 37 und 38 zu verzeichnen, die nahezu gleiche Winkelabstände zueinander haben und deren Dämpfung in der Nähe der Hauptkeule am größten ist.

5 Fig. 3 zeigt den Verlauf einer Richtcharakteristik über dem Winkel θ bei der bei gleicher Ausdehnung der Wandleranordnung wie in Fig. 2 die gleiche Anzahl $N = 100$ an Wandlerelementen untergebracht sind. Ihre Abstände zueinander sind aber stochastisch oder verrauscht. Die Nebenpegeldämpfung ist über den gesamten Winkelbereich nahezu konstant und etwas geringer als die zersplitterten Grating-Lobes 32 und 33 in Fig. 2. Um den Grating-Lobe-Winkel β selbst ist keine so hohe Dämpfung R2 wie bei der Wandleranordnung gemäß der Erfindung erzielt. Über den gesamten Winkelbereich ist die Dämpfung vergleichbar.

10 Um die sog. Pseudo-Grating-Lobes 33 bis 38 gemäß Fig. 2 einzuebnen, wird die Wandlerzahl z der q Gruppen variiert. Fig. 4 zeigt eine solche Wandleranordnung mit $N = 100$ Wandlerelementen, die über eine Ausdehnung L von beispielsweise 1,20 m angeordnet sind. 100 Wandlerlemente sind in $q = 20$ Gruppen 110, 111, ..., 129 eingeteilt. Der Abstand d errechnet sich aus der Ausdehnung L :

15

$$L = (N-1) d + (q-1) \cdot 0,5 \cdot d$$

$$L = 108,5 d.$$

Bei einer maximalen Frequenz von 100 kHz ist der Abstand $d = 0,75 \cdot \lambda$. Die einzelnen Wandlerelemente in jeder Gruppe haben einen Abstand von $0,75 \lambda$ zueinander, die Gruppen untereinander einen Abstand von $1,5 \cdot 0,75 \lambda$.

Die erste, am linken äußeren Rand befindliche Gruppe 110 weist nur ein Wandlerlement auf, die benachbarte Gruppe 111 zwei, die Gruppe 112 drei Wandlerelemente, die Gruppe 113 vier Wandlerelemente, die Gruppe 114 fünf Wandlerelemente, die Gruppen 115 und 116 sechs Wandlerelemente, die Gruppe 25 117 sieben Wandlerelemente und die Gruppen 118 und 119 jeweils acht Wandlerelemente. Die Wandlerzahlen z in den darauffolgenden Gruppen weisen symmetrisch zur Mitte 11 die gleiche Größe auf. Die Gruppen mit den geraden Zahlen 110, 112, ..., 128 bilden eine Teilbasis 200, die Gruppen 111, 113, ..., 129 mit ungeraden Zahlen bilden eine zweite Teilbasis 300. Die Teilbasen 200, 300 sind ineinander verschachtelt und seitenvertauscht spiegelsymmetrisch. Jede Teilbasis 200, 300 weist eine Rasterung von d auf, die um $d/2$ gegeneinander verschoben ist.

Die Wandlerzahlen z der q Gruppen sind so gewählt, daß eine Richtcharakteristik gemäß Fig. 5 mit einem entsprechenden Richtungsbildner bei einer Schwenkung um den maximalen Schwenkwinkel \max erzielt wird. Diese Richtcharakteristik weist sich dadurch aus, daß um den Grating-Lobe-Winkel β eine maximale Dämpfung erreicht wird und keine weiteren periodischen Anteile in der Richtcharakteristik zu verzeichnen sind. Die Nebenpegel im Bereich der Hauptkeule 30 sind ebenfalls besonders stark gedämpft. Um einen solchen Verlauf der Richtcharakteristik zu erhalten, ist folgende Dimensionierungsvorschrift eingehalten worden:

Ausgehend von der Mitte 11 wird bei einem Amplituden-Shading der Wandlerelemente von "1" jeweils das Produkt aus der Distanz von der Mittelsenkrechten bis zum Wandlerelement multipliziert mit dem Amplituden-Bewertungsfaktor "1" gebildet. Sämtliche Produkte für die Teilbasis 200 werden vorzeichenrichtig addiert und durch die Summe der Amplituden-Bewertungsfaktoren - hier der Hälfte der Vielzahl N an Wandlerelementen - geteilt. Dieser Wert muß nach Möglichkeit Null ergeben. Dann liegt der Schwerpunkt jeder Teilbasis 200 und 300 auf der Mitte 11. Mit dieser Dimensionierungsvorschrift wird insbesondere erreicht, daß keine Pseudo-Grating-Lobes entstehen.

45 Für die Teilgruppe 200, d.h. für die Gruppen 110, 112,, 128 muß gelten:

$$\begin{aligned}
 & [a + (a+d) + (a+2d) + \dots + (a+7d) - \\
 & - (a+1,5d+7d) - (a+1,5d+8d) - \dots - (a+1,5d+14d) + \\
 & + (a+2 \cdot 1,5d+2 \cdot 7d) + (a+2 \cdot 1,5d+15d) + \dots + (a+2 \cdot 1,5d+20d) - \\
 & - (a+3 \cdot 1,5d+20d) - (a+3 \cdot 1,5d+21d) - \dots - (a+3 \cdot 1,5d+25d) + \dots \\
 & + (a+8 \cdot 1,5d+40d) - (a+9 \cdot 1,5d+40d)] \cdot 2/N = 0,03d \approx 0
 \end{aligned}$$

55

Der Schwerpunkt der Teilgruppe 200 liegt somit in der Mitte 11 der Wandleranordnung. Für die Teilbasis

300 gilt das gleiche.

Die in Fig. 4 gezeigte Anordnung ist besonders vorteilhaft in einer Wasserschallanlage einsetzbar, bei der im Impulsbetrieb gearbeitet wird, wobei die Pulsdauer beispielsweise $\Delta t = 0,1$ ms beträgt. Bei der Wandleranordnung gemäß Fig. 4 sind $q = 20$ Gruppen über die gesamte Ausdehnung $L = 1,2$ m verteilt, so daß die mittlere Länge zweier Gruppen ca. 12 cm entspricht. Bei einer Schwenkung um $\zeta_{\max} = 45^\circ$ und einem Einfall von Schallwellen unter dem Grating-Lobe-Winkel $\beta = 39^\circ$ werden im Mittel mindestens zwei Gruppen gleichzeitig von Schallwellen überstrichen, das entspricht einer Länge l auf der Geraden der Wandleranordnung von

10

$$l = \frac{\Delta t \cdot c}{\sin(\beta + \zeta)} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1500}{\sin(39^\circ + 40^\circ)} = 15 \text{ cm}$$

15

wobei $c = 1500$ m/s die Schallgeschwindigkeit ist. Die Länge l ist somit etwas größer als die mittlere Länge zweier Gruppen auf der Wandleranordnung gemäß Fig. 4. Dämpfungsabstand und Dämpfung der zersplitterten Grating-Lobes 31, 32 gegenüber der Hauptkeule 30 bei Impulsbetrieb ist in Fig. 5 gestrichelt eingezeichnet und wesentlich besser als bei monochromatischem Dauerschallbetrieb mit $f = 100$ kHz. Ähnlich günstige Dämpfungsverläufe sind bei breitbandigem Empfang um eine Mittenfrequenz von 100 kHz zu verzeichnen.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm, bei dem über dem Winkel θ das Richtmaß R in dB für eine unterschiedliche Anzahl q von Gruppen eingetragen ist. Es ist unter dem Winkel $\theta = \zeta_{\max}$ die Empfindlichkeit der Hauptkeule 30 eingetragen und unter dem Grating-Lobe-Winkel β die Empfindlichkeit des Grating-Lobes. Die Empfindlichkeiten sind gleich, wenn die Wandleranordnung äquidistant verteilte Wandlerelemente aufweist, deren Abstand größer als die halbe Wellenlänge ist. Die über den Grating-Lobe-Winkel β einfallende Energie wird durch die gruppenweise Anordnung der Wandlerelemente auf benachbarte Winkelbereiche verteilt, wobei eine Dämpfung im gesamten Winkelbereich erzielt wird, die größer als die für $q = 20$ angegebene Dämpfung ist, die gleich der Verminderung R_1 des Richtmaßes ist. Für $q = 20$ sind zwei Punkte auf zwei Kurven r und s eingetragen, die den Winkelbereich 31 gemäß Fig. 2 begrenzen und den zersplitterten Grating-Lobes 32, 33 in Fig. 2 entsprechen. Die Kurven r und s geben Grenzwerte für die Dämpfung der zersplitterten Grating-Lobes für die unterschiedliche Anzahl q der Gruppen an. Die beiden Kurven r und s nähern sich für steigende Anzahl q der Gruppen asymptotisch einem Grenzwert R_0 , der der Dämpfung entspricht, wenn die Wandlerabstände statistisch verteilt sind. Mit dem Diagramm gemäß Fig. 6 ist die Anzahl q der Gruppen abhängig von der Aufgabenstellung der gesamten Sonaranlage zu dimensionieren.

35

Patentansprüche

1. Wandleranordnung mit einer Vielzahl an Wandlerelementen zum Senden und/oder Empfangen von Wellen in einem vorgebbaren Frequenzbereich, deren Abstand zueinander größer als die halbe Wellenlänge der höchsten Frequenz des Frequenzbereichs ist, für mehrere oder eine schwenkbare Richtcharakteristik mit vorgegebenem Öffnungswinkel und gedämpften Grating-Lobes, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlerelemente gleich sind und in Gruppen (21, 22, 23, 24 bzw. 110, 111, ..., 129) längs einer Linie und symmetrisch zur Mitte (11) der Wandleranordnung angeordnet sind, daß Abstände (d) der Wandlerelemente in jeder Gruppe (21, ..., 24 bzw. 110, ..., 129) untereinander gleich sind und von Gruppe zu Gruppe (21/22, ..., bzw. 110/111, 111/112, ...) gleich dem 1,5fachen Wert ($1,5d$) sind.
2. Wandleranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Linie eine Gerade (10) ist.
3. Wandleranordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl (q) der Gruppen (21, 22, 23, 24 bzw. 110, 111, ..., 129) für die Vielzahl (N) der Wandlerelemente abhängig vom geforderten Dämpfungsabstand zwischen Hauptkeule (30) und zersplitterten Grating-Lobes (31, 32) wählbar ist.
4. Wandleranordnung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Gruppen (22/23, 21/24 bzw. 110/129; 111/128; ..., 119/120), die symmetrisch zur Mitte (11) angeordnet sind, gleiche Wandlerzahlen (z) aufweisen, daß die Wandlerzahlen (z) benachbarter Gruppen (21/22, ..., 23/24 bzw. 110/111, ..., 119/120, ..., 128/129) gleich oder unterschiedlich und von der Mitte zum Rand der Wandleranord-

nung hin abnehmend gewählt sind.

- 5
5. Wandleranordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlerzahlen (z) je Gruppe (110, ..., 129) so gewählt sind, daß die Gruppen (110, 112, 114, ..., 128 bzw. 111, 113, ..., 129) längs der Geraden (10) vom Rand ausgehend über die Mitte (11) hinweg bis zum anderen Rand jeweils eine Gruppe (111, 113, ... bzw. 112, 114, ...) überschlagend zwei ineinander verschachtelte, jeweils vom Rand her gleich aufgebaute Teilbasen (200, 300) bilden und jede Teilbasis (200, 300) eine Rasterung des Abstands (d) der Wandler-elemente und deren Vielfache aufweist und die Rasterung der beiden Teilbasen (200, 300) gegeneinander um den halben Abstand (d) der Wandler-elemente verschoben ist.
- 10
6. Wandleranordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlerzahlen z der Gruppen (110, ..., 128 bzw. 111, ..., 129) so gewählt sind, daß für jede Teilbasis (200, 300) die Summen der Distanzen zwischen der Mitte (11) der Wandleranordnung und jedem Wandler-element je Seite gleich sind.
- 15
7. Wandleranordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlerzahlen (z) der Gruppen (110, ..., 128 bzw. 111, ..., 129) so gewählt sind, daß für jede Teilbasis (200, 300) die Summen der Produkte aus den Distanzen zwischen der Mitte (11) der Wandleranordnung und jedem Wandler-element multipliziert mit einem Amplitudenbewertungsfaktor, mit dem ein Empfangssignal des jeweiligen Wandler-elementes bewertet ist, je Seite gleich sind.
- 20
8. Wandleranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei Pulsbetrieb die Anzahl (q) der Gruppen (110, ..., 129) und die mittlere Wandlerzahl (z) abhängig von der Pulsdauer (Δt) so gewählt sind, daß die mittlere Länge (l) zweier benachbarter Gruppen (119/120) ungefähr gleich der Pulsdauer (Δt) multipliziert mit der Schallgeschwindigkeit (c) und dividiert durch den Sinus eines maximalen Schwenkwinkels (ζ_{\max}) zuzüglich des Grating-Lobe-Winkels (β) ist.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

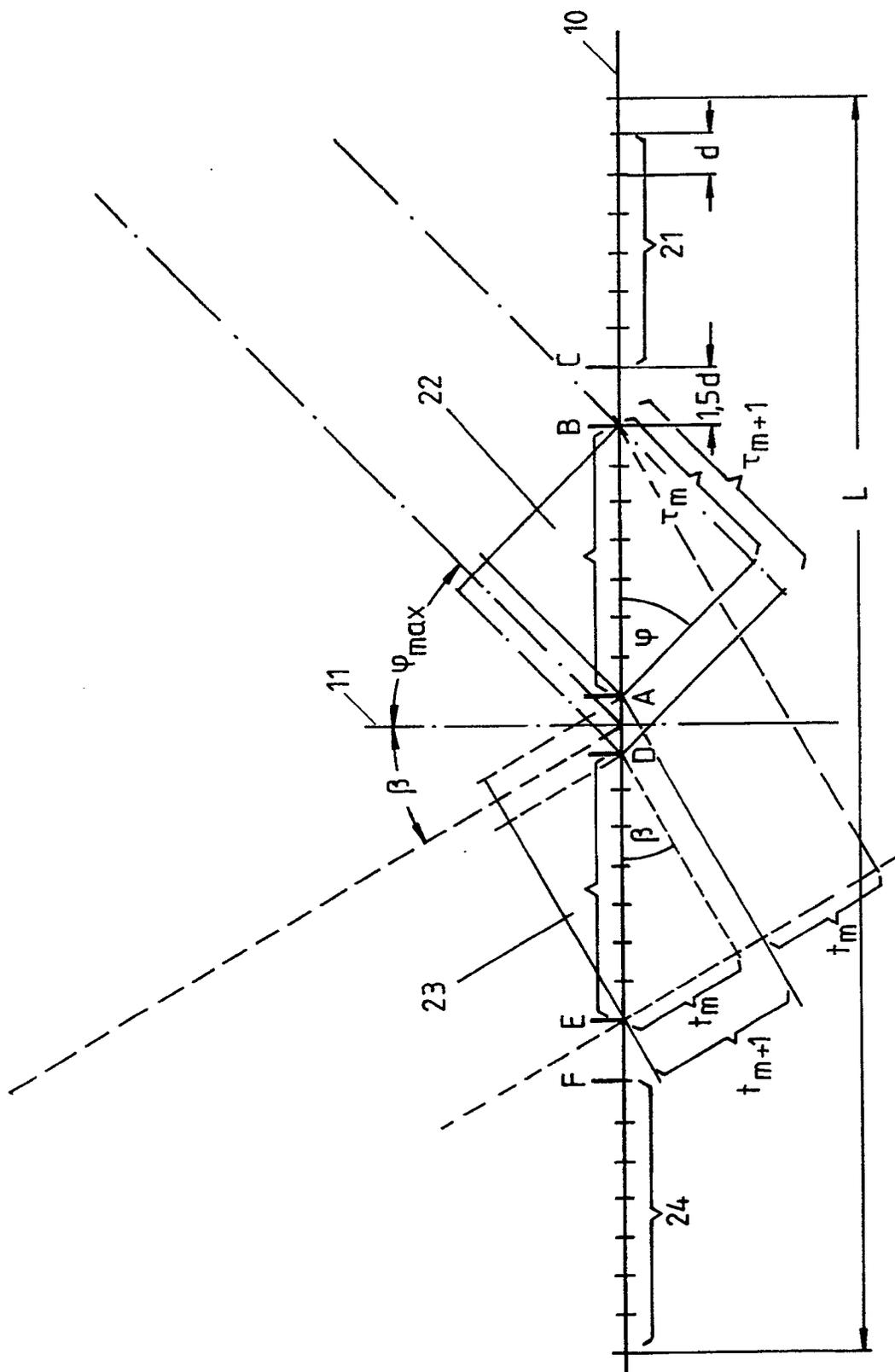


Fig.1

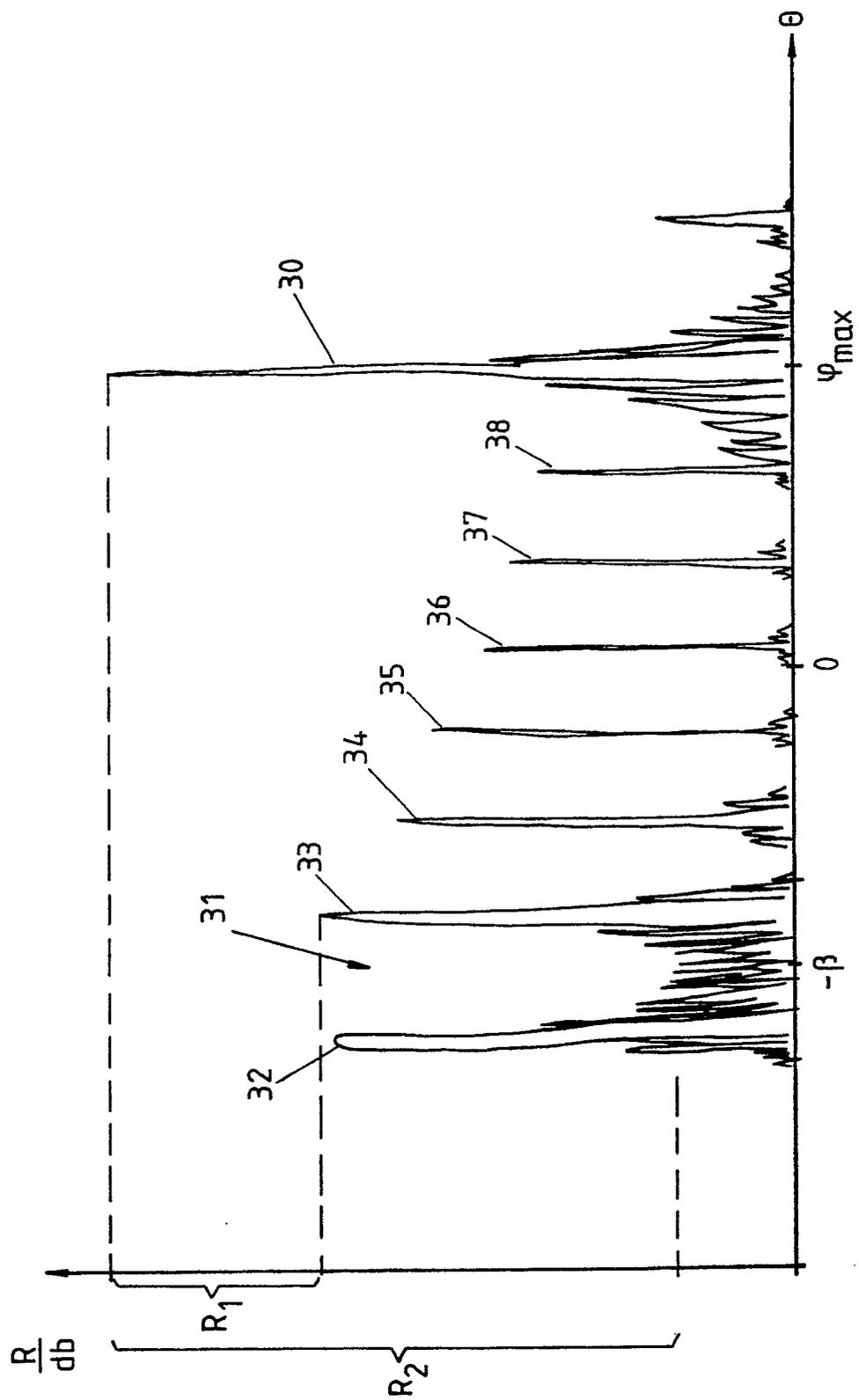


Fig. 2

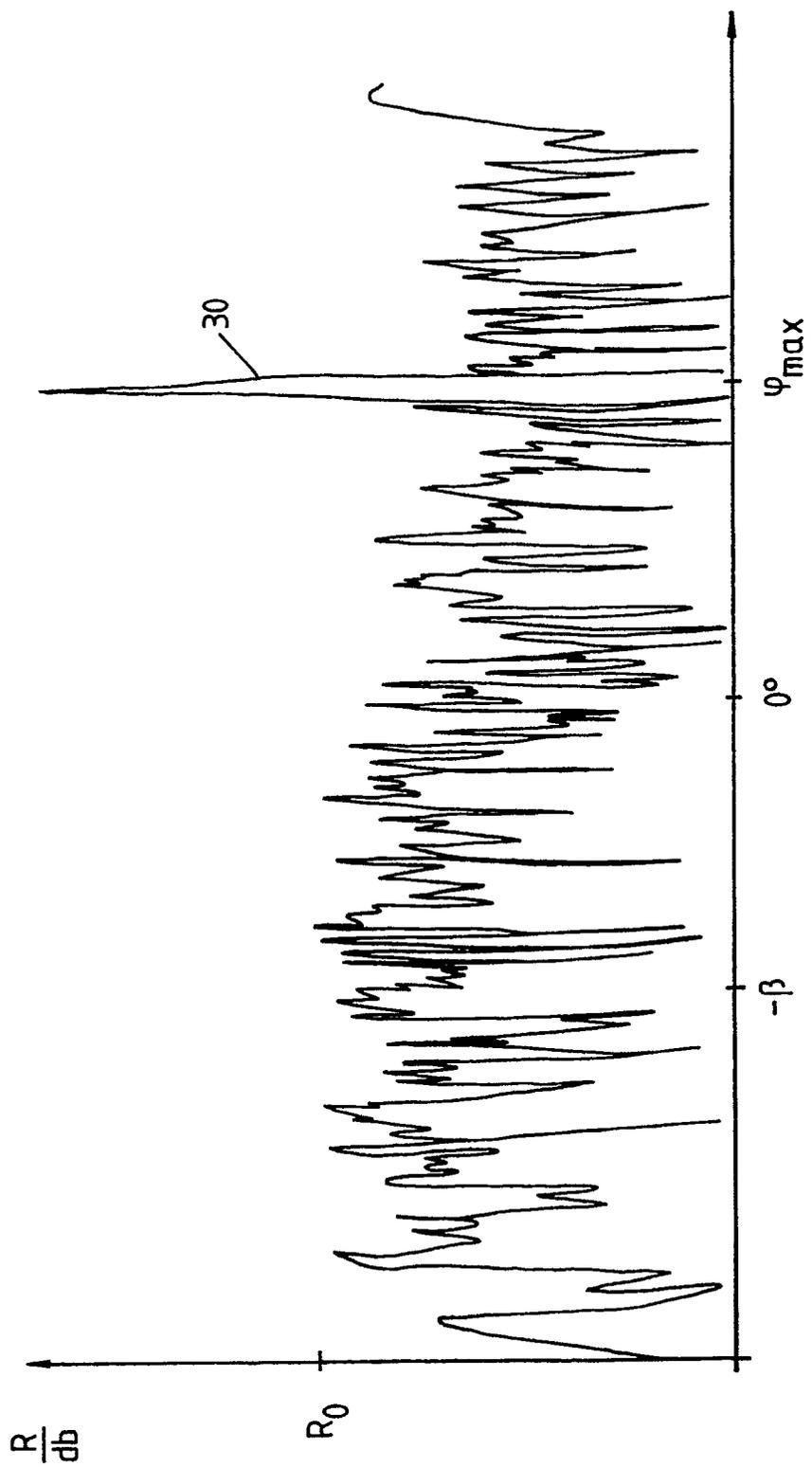


Fig. 3

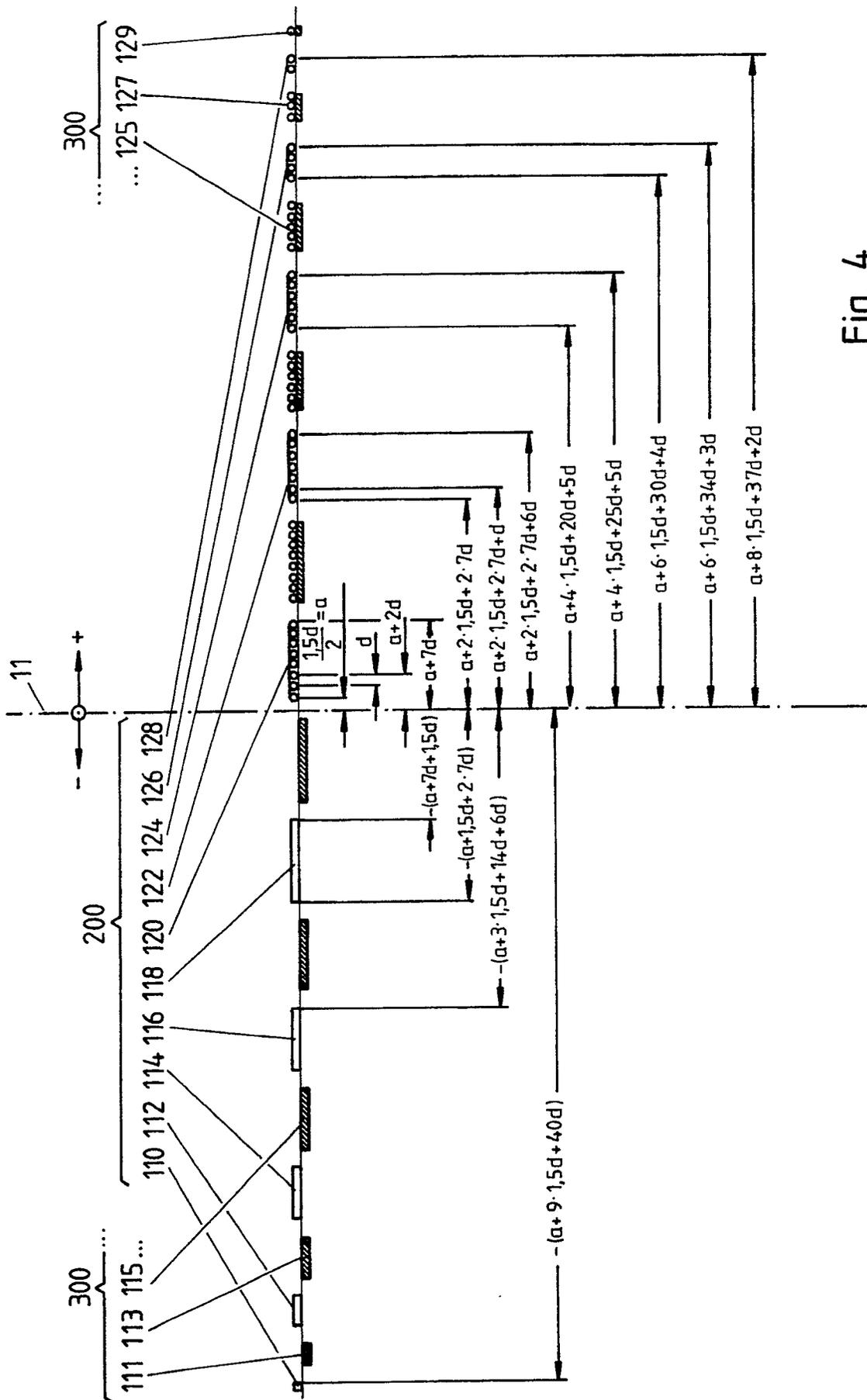


Fig. 4

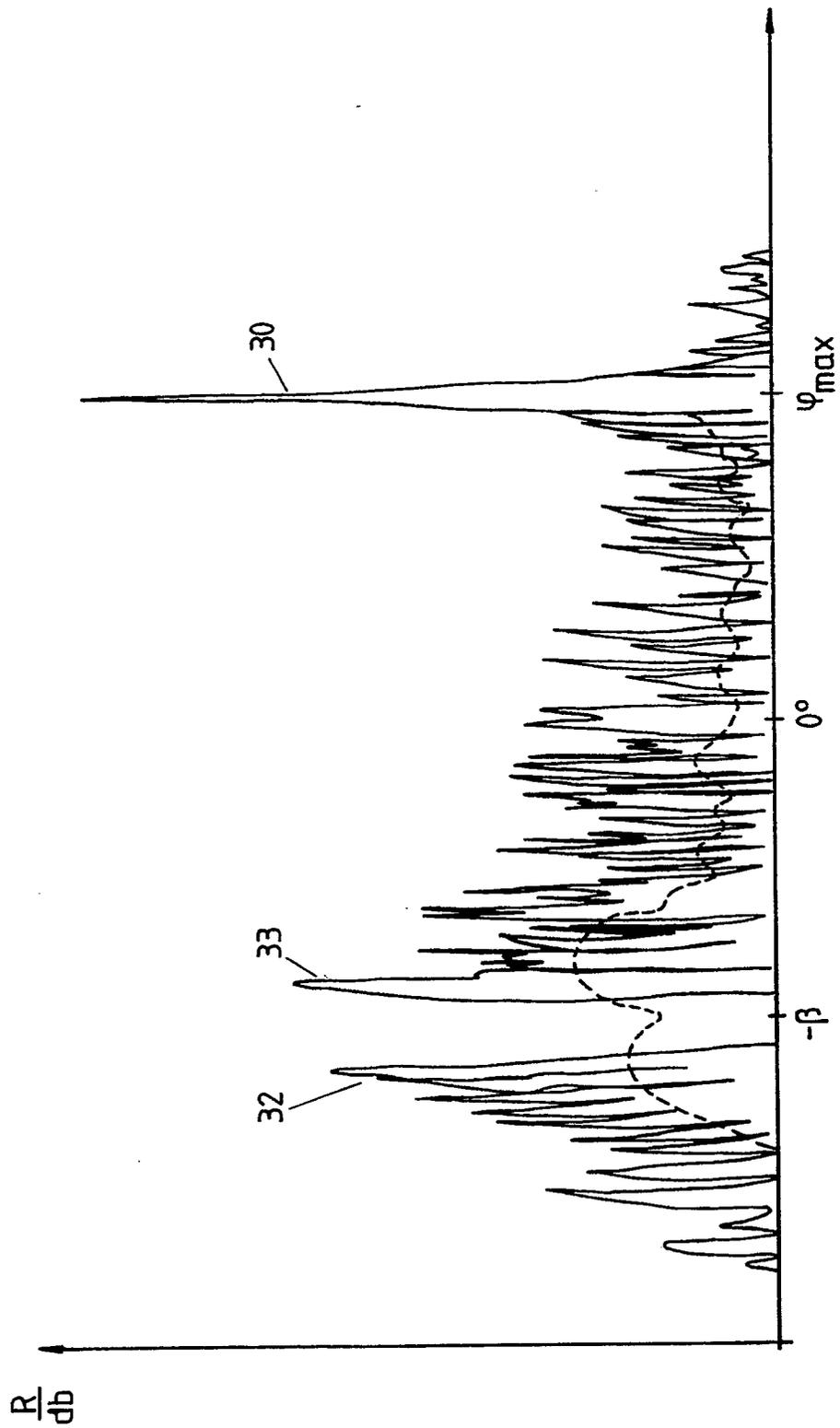


Fig. 5

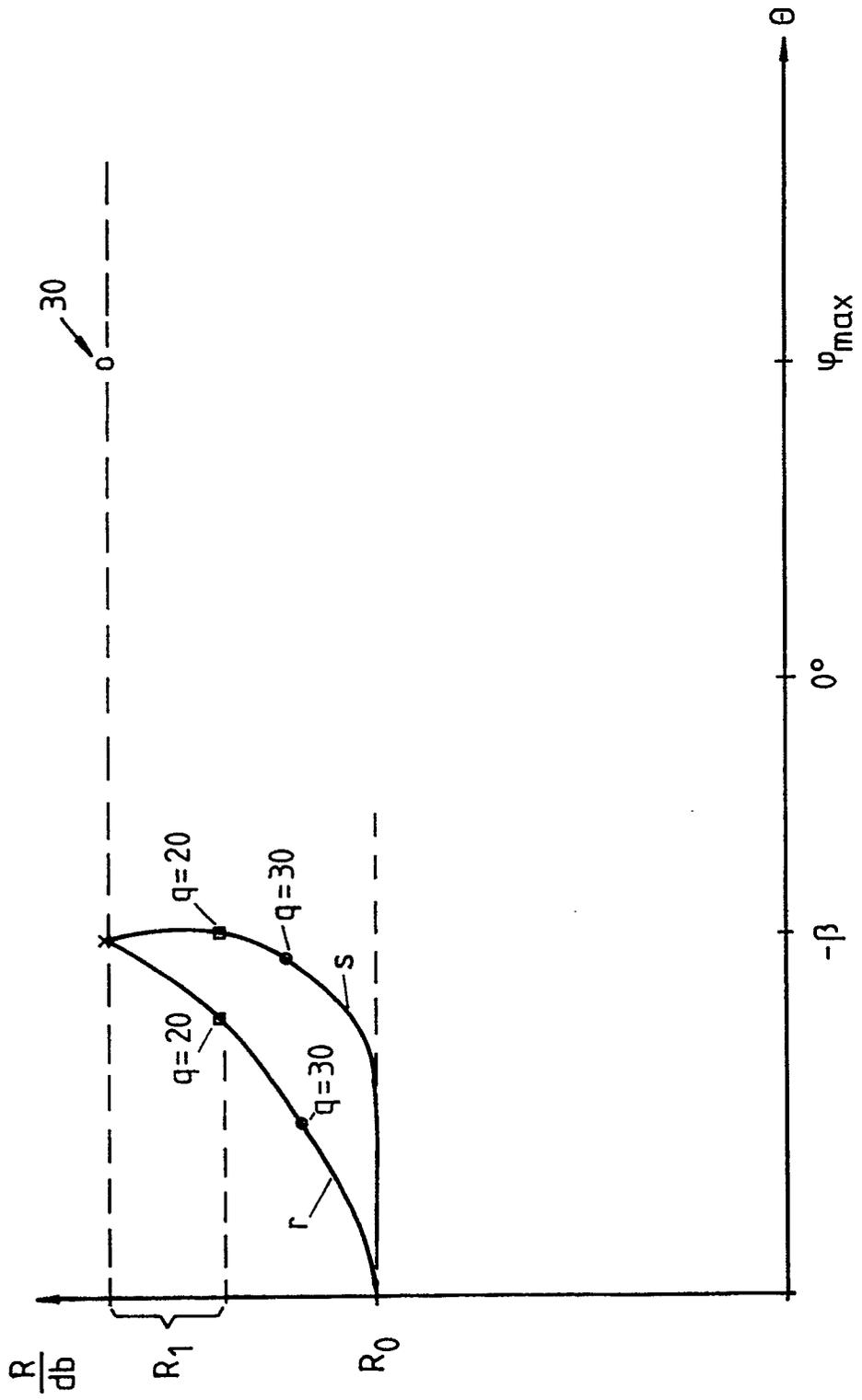


Fig. 6