



(11)

EP 2 689 494 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
11.10.2017 Patentblatt 2017/41

(51) Int Cl.:
H01Q 3/26 ^(2006.01) **H01Q 13/22** ^(2006.01)
H01Q 21/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12713923.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/055098

(22) Anmeldetag: **22.03.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/130721 (04.10.2012 Gazette 2012/40)

(54) **EINRICHTUNG ZUM MODELLIEREN VON ANTENNEN-ABSTRAHLCHARAKTERISTIKEN**

DEVICE FOR MODELLING ANTENNA RADIATION CHARACTERISTICS

DISPOSITIF POUR MODELER DES CARACTÉRISTIQUES DE RAYONNEMENT D'ANTENNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **25.03.2011 DE 102011001569**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.01.2014 Patentblatt 2014/05

(73) Patentinhaber: **Technische Universität Braunschweig**
38106 Braunschweig (DE)

(72) Erfinder:
• **ENDERS, Achim**
38106 Braunschweig (DE)
• **GEISE, Robert**
38106 Braunschweig (DE)

(74) Vertreter: **Zenz Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Rüttenscheider Straße 2
45128 Essen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102006 057 144 US-A- 5 726 666
US-A1- 2005 146 478 US-A1- 2010 214 150

- **GEISE R ET AL: "A slotted waveguide setup as scaled instrument-landing-system for measuring scattering of an A380 and large objects", ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), 2010 PROCEEDINGS OF THE FOURTH EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 12. April 2010 (2010-04-12), Seiten 1-5, XP031706045, ISBN: 978-1-4244-6431-9 in der Anmeldung erwähnt**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 689 494 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Modellieren von Antennen-Abstrahlcharakteristiken. Insbesondere betrifft die Erfindung die Verwendung von geschlitzten Hohlleitern (slotted waveguides), bei welchen entlang der Längsachse eines Wellenleiters Schlitzöffnungen ausgebildet werden, um gerichtet elektromagnetische Strahlung abzugeben.

[0002] Geschlitzte Hohlleiter sind in der Technik bekannt. Beispielsweise offenbart die DE 102006057144 A1 einen geschlitzten Hohlleiter zur Anwendung als Antenne in Radarsystemen.

[0003] Die DE 101 26 469 A1 offenbart ein Schlitzstrahlerelement mit einem besonderen inneren Aufbau, nämlich einem im Hohlleiter gegenüber dem Schlitz angeordneten Steg.

[0004] Die US 7,355,555 offenbart eine Antennenanordnung ohne Wellenführung im Hohlleiter mit zusätzlichem Speisernetzwerk, welches auf einem mehrschichtigen Aufbau beruht. Diese Antennenanordnung ist nur mit hohem Aufwand individuell anpassbar.

[0005] Das Dokument US 5,726,666 beschreibt eine Antennenanordnung mit mehreren Hohlleiter-Antennen, die von einem zentralen Speisepunkt versorgt werden, allerdings keine gezielte Formung des Abstrahldiagramms zulässt.

[0006] Auch sind geschlitzte Hohlleiter in der einschlägigen Fachliteratur diskutiert und beschrieben worden, wie beispielsweise bei J.D. Kraus, Antennas, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 1988, p. 628.

[0007] Frühere Arbeiten, an denen auch die Erfinder beteiligt waren, haben gezeigt, dass geschlitzte Hohlleiter mit ihren besonderen Eigenschaften der Wellenführung und der elektromagnetischen Skalierbarkeit sehr geeignet sind, individuelle Abstrahlcharakteristiken über einen Frequenzbereich zu modellieren, dessen obere Grenze lediglich durch die mechanische Realisierbarkeit eingeschränkt ist. Die Schlitzelemente wirken als Einzelelemente einer Gruppenantenne. Indem diese Elemente unterschiedlich angeregt werden, kann eine Diagrammformung erfolgen. Der Hohlleiter dient dabei nicht nur als zusammenfassende Einrichtung der Einzelstrahler, er übernimmt auch die nahezu verlustfreie und definierte Speisung der Einzelelemente - im Gegensatz zu einer elektronischen Ansteuerung und / oder zusätzlichem Speisernetzwerk. Hier ist insbesondere die Anwendung für skalierte Messungen mit Instrument gestützten Landesystemen (ILS) zu erwähnen. Ein solches Verfahren wurde beispielsweise beschrieben in R. Geise, J. Schueuer, L. Thiele, K. Notte, T. Beckers, A. Enders, "A slotted waveguide setup as scaled instrument-landing-system for measuring scattering of an A380 and large objects", EUCAP 2010, 12.-16. April 2010, Barcelona, Spanien.

[0008] Zu den Möglichkeiten und technischen Details sowie Ergebnissen von vorgenommenen Messungen wird auf "Skalierte Messungen zu bistatischen Radar-

querschnitten und Landekursverfälschungen des ILS", Dissertation von R. Geise, Cuvillier Verlag, ISBN 9783869555706 verwiesen.

[0009] Es wurde festgestellt, dass ein derartiger Aufbau die üblichen komplexen und deutlich kostenintensiveren Verwendungen von Gruppenantennen für einige Anwendungen ersetzen kann. Zum Beispiel kann in dem Fall eines skalierten Instrumentenlandesystems (ILS) die Hauptstrahlrichtung einmalig festgelegt werden und es bedarf keines zeitlich schnell veränderbaren Abstrahldiagramms wie beim Beamforming. Durch Einstellen der Anregungsamplituden kann man individuell für ILS verschiedener Flughäfen ein Pattern-Forming vornehmen ohne die Nachteile eines elektronischen Beamformings. Bei dem herkömmlichen Beam-Forming kann nämlich durch elektronisches Einstellen der Parameter nur in begrenztem Maß eine gewünschte Diagramm-Form erreicht werden, da einerseits hoher Schaltungsaufwand und andererseits nicht immer eindeutige Kalibrierverfahren Verwendung finden, die zur Korrektur des Übersprechens zwischen den elektronischen Komponenten der Einzelstrahler und der Einzelstrahler selbst erforderlich sind. Ein Hohlleiter mit mechanischer Blende verträgt deutlich mehr Leistung als elektronische Komponenten. Allerdings gestaltet sich bei einem geschlitzten Hohlleiter das Einstellen der Amplituden und Phasen zunächst schwieriger, da die Speisung der Einzelelemente durch die Grundmode des Hohlleiters vorgegeben wird.

[0010] Zur Einstellung einer gewünschten Abstrahlcharakteristik bzw. eines Strahlungsmusters (radiation pattern) erforderlichen Berechnungen können grundsätzlich mit bekannten Simulationsprogrammen für elektromagnetische Fragestellungen durchgeführt werden. Dabei wird im Wesentlichen nur das Layout eines (einzigen) Schlitzpaares simuliert und optimiert. Die erforderlichen Anregungsamplituden und Phasen können durch Fourier Transformation aus den gewünschten Fernfelddaten gewonnen werden. Entsprechend dieser Vorgaben der Simulation ist dann ein Schlitzmuster in einem Hohlleiter zu erstellen. Gemäß dem vorstehend genannten Stand der Technik können die Abstrahlamplituden der Schlitzanordnungen beeinflusst werden, indem die Schlitzte teilweise durch metallische Abdeckungen bzw. Blenden überdeckt werden. Trotz der vielversprechenden Ergebnisse, ist das Modellieren von Strahlungsmustern mit geschlitzten Hohlleitern jedoch ein Verfahren, welchen für jeden Anwendungsfall eine präzise Fertigung und Berechnung von geeigneten Hohlleiter- bzw. Schlitzgeometrien erfordert.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, ein kostengünstiges und flexibles sowie genaues Verfahren und eine entsprechende Einrichtung zur Verfügung zu stellen, welche die Modellierung von gewünschten Antennen-Abstrahlcharakteristiken erlauben.

[0012] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0013] Die Erfindung erlaubt auf flexible Weise die Anregung von Einzelelementen eines geschlitzten Hohllei-

ters als Gruppenantenne.

[0014] Die Verwendung eines Hohlleiters als Zusammenfassung der Einzelstrahler einer Gruppenantenne, in welchen die Anregung als elektromagnetische Welle eingespeist wird, macht zunächst eine äußerst einfache Speisung der gesamten Gruppenantenne möglich. Durch die mechanische Kopplung der erfindungsgemäßen Module wird eine einfache, z.B. endseitige Speisung ermöglicht. Es entsteht ein durchgehender Raum, in dem sich die eingespeiste Welle gemäß physikalischen Randbedingungen des Hohlleiters als so genannte Mode ausbreitet. Die Schlitze in dem durch Kopplung der Module entstandenen Hohlleiter werden alle durch dieselbe Einspeisung, also durch dieselbe fortlaufende Mode, versorgt. Ein wesentlicher Vorteil besteht also in dem Ansatz, eine einfache Speisung eines Hohlraumes zu verwenden, wobei dieser Hohlraum jedoch wenigstens teilweise durch mechanisch trennbare und koppelbare Module gebildet wird. Die Ausbildung eines zusätzlichen Speisenetzes ist dadurch überflüssig. Der Hohlleiter oder das gebildete Hohlleiter-Array wird z.B. durch die H10-Mode (beim Rechteckhohlleiter) angeregt. Der Hohlleiter (und damit die Antenne) ist erfindungsgemäß trennbar in die Module und kombinierbar, ohne auf ein Speisenetzwerk Rücksicht nehmen zu müssen. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber Aufbauten, die eine Speisenetzwerkausbildung und Speisenetzwerkkopplung vorsehen. Die rein mechanische Rekonfigurierbarkeit der Hohlleiter-Gruppenantenne durch Anordnung und Gestaltung der einzelnen Module beinhaltet also immer automatisch auch die Erweiterung bzw. Änderung der Speisung durch die sich im Hohlleiter ausbreitende Mode.

[0015] Die Abstrahlcharakteristik der gesamten Gruppenantenne wird durch die Gestaltung der einzelnen Module erreicht, also durch die Ausbildung und Ausrichtung der Schlitze sowie durch die Anordnung der Blenden, wie unten beschrieben.

[0016] Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass nicht nur die abgestrahlte Amplitude, sondern auch die Phase der Schlitzanordnungen beeinflusst werden kann. Wird ein geschlitzter Hohlleiter analytisch betrachtet, so kann dieser abstrakt als aus einzelnen Schlitzanordnungen kombiniertes System betrachtet werden. Da die Anregung der einzelnen Schlitzanordnungen, welche längs des Hohlleiters verteilt angeordnet sind, durch die Wellenleitung im Hohlleiter im Wesentlichen in gleicher Weise bei allen Schlitzen erfolgt, kann zunächst jede Schlitzanordnung einzeln, unabhängig von den anderen betrachtet werden. Diese erfindungsgemäße, segmentorientierte Betrachtung erlaubt die einzelne Beeinflussung jeder der Schlitzanordnungen (Segmente), weitgehend unabhängig von den daneben angeordneten anderen Schlitzanordnungen (Segmenten). Erfindungsgemäß wird nun die Abstrahlung jeder der Schlitzanordnungen angepasst, indem sowohl die Abdeckung als auch die Orientierung in Abhängigkeit von dem gewünschten Strahlungsmuster variiert werden. Es hat

sich nämlich gezeigt, dass die Änderung der Orientierung einer Schlitzanordnung, insbesondere die Spiegelung einer Schlitzstruktur an einer Ebene durch die Längsachse des Wellenleiters, eine Veränderung der Phase der Abstrahlung in diesem Segment bzw. dieser Schlitzanordnung zur Folge hat, was zunächst widersprüchlich erscheint, da durch die Speisung der Einzelstrahler durch die Grundmode alle Einzelstrahler (Schlitzanordnungen) gleichphasig angeregt werden.

[0017] Eine Phaseneinstellung wird demnach erreicht, wenn eine schräge Schlitzanordnung zu einer anderen gespiegelt, also "auf den Kopf" gestellt wird.

[0018] Bei den zu diesem Zweck bevorzugt eingesetzten (siehe oben erwähnten Stand der Technik) symmetrischen Schlitzanordnungen, entspricht eine Drehung um 180° einer Spiegelung der Schlitzanordnung bezüglich einer Ebene, welche durch die Längsachse des Wellenleiters und die Abstrahlnormale der Module aufgepannt ist.

[0019] Ein erster Aspekt der Erfindung besteht also darin, durch Wahl der Abdeckung und der Orientierung einzelner Schlitzanordnungen in einem geschlitzten Hohlleiter, welcher mehrere Schlitzanordnungen aufweist, die Amplitude und Phase jeder der Schlitzanordnungen (Segmente des Hohlleiters) zu beeinflussen.

[0020] Mit diesem Vorgehen erlaubt die Erfindung, einen geschlitzten Hohlleiter mit vorgegebener Abstrahlcharakteristik bereitzustellen, wobei Schlitzanordnungen mit gleicher Form, aber unterschiedlicher Abdeckung und unterschiedlicher Orientierung entlang der Längsachse des Hohlleiters angeordnet werden. Ein solcher Leiter kann z.B. durch Fräsen entsprechender Schlitzanordnungen in einem handelsüblichen Hohlleiter erstellt werden. Wird der so erstellte Hohlleiter mit variablen, z.B. verstellbaren Blenden kombiniert, so ist eine äußerst flexible Antennenanordnung geschaffen.

[0021] Auch wenn bereits diese erfindungsgemäße Ausbildung geschlitzter Hohlleiter besondere Vorteile in der Anpassbarkeit gegenüber den bekannten geschlitzten Hohlleitern bietet, ist gemäß dem Gedanken der Erfindung die geschilderte, abstrakte segmentweise Betrachtung (mit jeweiliger Amplituden- und Phasen Anpassung jedes Segments) nicht auf einen in der Realität integral verbundenen (nicht-segmentierte) Hohlleiter beschränkt. Die abstrakte Vorstellung und Betrachtung von einzelnen Segmenten wird vielmehr in einer möglichen Ausgestaltung der Erfindung auch in einen mechanisch segmentierten Hohlleiter umgesetzt. Dabei sind diese, gemäß den vorstehenden Erläuterungen zunächst als mathematisch abstrakte Segmente betrachteten Schlitzanordnungen durch tatsächliche, mechanisch getrennte Module realisiert.

[0022] Erfindungsgemäß werden dann für die Bildung des Hohlleiters mehrere (mechanische) Module verwendet, die entlang einer mehrerer Raumrichtungen angeordnet werden und, ggf. mit weiteren Komponenten, Bestandteile der Begrenzungen eines geschlitzten Hohlleiters sind. In den Modulen sind jeweils Schlitzgruppen

angeordnet, so dass die Schlitze durch Umordnung der Module in beliebige Reihenfolge gebracht werden können und in gewünschter Anzahl und Erstreckung angeordnet werden können. Der resultierende Hohlleiter kann einen beliebigen Querschnitt (z.B. rechteckig, rund, ellipsenförmig etc.) aufweisen.

[0023] Außerdem können die Module in ihrer Orientierung verändert, z.B. gedreht werden, also in verschiedenen Orientierungen entlang der Längsachse angeordnet werden. Um eine gewünschte Abstrahlcharakteristik zu modellieren, werden Module mit geeigneten Abmessungen (z.B. einer Abmessung in Richtung der Längsachse von einer Wellenlänge der Mode im Hohlleiter) kombiniert und es wird das gewünschte Schlitzmuster durch Aneinanderreihung der Module gebildet. Die Module bilden dabei einen Teil der Begrenzung des Hohlleiters, so dass die Schlitze als Öffnungen in dem Hohlleiter ausgebildet sind. Die Module können grundsätzlich unmittelbar miteinander oder weiteren Bauteilen gekoppelt werden, es ist erfindungsgemäß lediglich erforderlich, dass eine Umordnung verschiedener Module mit darin angeordneten Schlitzgruppen möglich ist. Diese Module entsprechen in ihrer praktischen Umsetzung und bei Kopplung miteinander zu einem Hohlleiter in der Wirkung den oben betrachteten (abstrakten) Segmenten eines erfindungsgemäßen integral verbundenen Hohlleiters mit z.B. gefrästen Schlitzanordnungen.

[0024] Gemäß der Erfindung kann also für eine gegebene Wellenlänge von Strahlung ein Baukastensystem zur Verfügung gestellt und erfindungsgemäß verwendet werden, dessen Bestandteile zur raschen und einfachen Konstruktion eines geschlitzten Mikrowellen-Hohlleiters verwendet werden können.

[0025] Es ist weiterhin vorgesehen, dass Blendenmodule oder Blendenbauteile Teil dieses Baukastensystems sind, wobei die Blenden vor den entlang der Längsachse angeordneten Modulen und je nach gewünschter Abstrahlcharakteristik angeordnet werden können.

[0026] Die Ausbildung einer geeigneten geschlitzten Antenne sieht demnach so aus, dass zunächst der zur vorgesehenen Anregungswellenlänge geeignete Modulsatz mit Schlitzen ausgewählt wird und die geschlitzten Module entlang einer oder mehrerer Raumrichtungen angeordnet werden. Die Abstrahlamplitude der einzelnen Module wird bei dem so gebildeten Hohlleiter schließlich mit der Anordnung der Blenden vor den Modulen erzielt. Die Optimierung des gewünschten Strahlungsmusters kann erfindungsgemäß durch Umordnung oder Austausch entsprechender Blenden vor den Schlitzgruppen bei gleichzeitiger Messung vorgenommen werden.

[0027] Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung bei Realisierung mit getrennten mechanischen Modulen besteht darin, den Hohlleiter mit seinen geschlitzten Öffnungen nicht mehr als Ganzes und für eine bestimmte Verwendung auszubilden, sondern den Hohlleiter zumindest teilweise aus austauschbaren mechanischen Modulen zu bilden und so eine problemlose Umordnung der

Schlitzöffnungen zu erlauben. Dasselbe gilt für die Blenden, welche vor den Modulen anzuordnen sind. Eine äußerst flexible Gestaltung von geschlitzten Hohlleitern ist auf diese Weise möglich und eine In-Situ-Optimierung der Abstrahlcharakteristik ist erreichbar, da durch einfachen Austausch von Modulen bzw. Blenden Einfluss auf die Abstrahlcharakteristik genommen werden kann. Die Anordnung der Module kann dabei z.B. für eine lineare, eindimensionale Gruppenantenne in Längsrichtung des Hohlleiters erfolgen, es ist aber grundsätzlich auch die Anordnung in mehrere Raumrichtungen möglich. Beispielsweise können die Module in mehreren parallelen Raumrichtungen angeordnet werden, um so zweidimensionale Gruppenantennen zu bilden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, das mechanisch konfigurierbare Anordnungsprinzip für sogenannte konforme Antennen zu verwenden, wobei Module mit beliebigen Winkelstücken verbunden werden können und ein quasi gebogener Hohlleiter entsteht.

[0028] Die Module können sämtlich gleichartig ausgebildet sein. Es können jedoch auch Module Verwendung finden, welche bspw. ein Vielfaches der Länge anderer Module aufweisen. Außerdem können die Schlitzgruppen in den Modulen gleichartig sein, wobei jede Schlitzgruppe einen oder mehrere Schlitze enthält. Sinngemäß gilt dies auch für die Blenden, welche jeweils zur Abdeckung eines vorgegebenen Abschnitts eines oder auch mehrerer Module ausgebildet sind. Eine Blende kann sich also auch über zwei benachbarte Abstrahlmodule erstrecken, die Abmessungen der Blenden sind insofern unabhängig von den Abmessungen der Module.

[0029] Wie auch weiter unten klar werden wird, können die Module in ihrer Form nahezu beliebig ausgebildet sein. Es muss erfindungsgemäß nur gewährleistet sein, dass die Module entlang der Längsachse des Hohlleiters, bzw. entlang der Ausbreitungsrichtung der Hohlleiter-Mode anzuordnen und kombinierbar sind. Es kommen daher sowohl flache, geschlitzte Platten als Module in Frage, die eine Öffnung im Hohlleiter überdecken und nur die geschlitzten Öffnungen freigeben als auch z.B. geschlitzte Hohlkörper, welche selbst durch Aneinanderreihung einen Hohlleiterabschnitt bilden.

[0030] Vorzugsweise sind die Module derart ausgebildet und werden derart entlang der Längsachse angeordnet, dass wenigstens bei einigen der Module die Schlitzöffnungen schräg zu der Längsachse des Hohlleiters verlaufen.

[0031] Grundsätzlich ist die Erfindung mit Modulen ausführbar, die jeweils nur über einen einzelnen Schlitz verfügen. Jede Schlitzgruppe enthält dann also nur einen einzelnen Schlitz. Die Schlitzgruppen können jedoch auch mehrere Schlitze aufweisen.

[0032] Wie in der oben genannten Veröffentlichung beschrieben, können für bestimmte Anwendungszwecke vorteilhaft Schlitzpaare verwendet werden, die zueinander in einem Winkel angeordnet sind. Die Schlitze dieser Schlitzpaare sind außerdem in einem Winkel schräg zu der Längsachse des Hohlleiters angeordnet, jedoch

paarweise entgegengesetzt, bilden also beispielsweise eine auseinanderlaufende bzw. zusammenlaufende Schlitzanordnung. Gemäß dem vorgenannten Beispiel können die schräg zueinander angeordneten Schlitze in einer Schlitzgruppe auf einem Modul integriert sein.

[0033] Bei einer derart gewählten Anordnung kommt ein weiterer Aspekt der Erfindung, welcher durch die mechanische Modularität des Systems gemäß der Erfindung erst ermöglicht wird, besonders zum Tragen. Es ist nämlich möglich, durch Drehen eines der geschlitzten mechanischen Module eine Phaseeinstellung vorzunehmen. Diese Umordnung oder Drehung ist noch einfacher zu realisieren als die erfindungsgemäße Ausbildung eines integralen geschlitzten Hohlleiters, bei welchem gespiegelte Schlitzanordnungen zur Phaseeinstellung gefräst wurden.

[0034] Gemäß dieser bevorzugten Ausführungsform werden zwecks Phaseeinstellung demnach wenigstens zwei gleichartig ausgebildete Module verwendet, wobei eines dieser Module um 180° um eine Abstrahlachse gedreht wird. Diese Abstrahlachse verläuft senkrecht zu der geschlitzten Oberfläche und das gedrehte Modul wird zu dem anderen, nicht gedrehten gleichartigen Modul derart angeordnet, dass die Schlitzanordnungen beider Module zur Abstrahlung in dieselbe Raumrichtung weisen.

[0035] Diese Drehung eines Moduls wird mit anderen Worten so vorgenommen, dass bei Betrachtung des Moduls und Wellenleiters aus der Abstrahlrichtung eine Drehung um 180° um die Abstrahlachse vorgenommen wird. Die Abstrahlrichtung bleibt also erhalten, die Schlitzanordnung wird jedoch "auf den Kopf gestellt". Bei den zu diesem Zweck bevorzugt eingesetzten (siehe oben erwähnten Stand der Technik spiegelsymmetrischen Schlitzanordnungen), entspricht diese Drehung einer Spiegelung der Schlitzanordnung bezüglich einer Ebene, welche durch die Längsachse des Hohlleiters und die Abstrahlnormale der Moduls aufgespannt ist.

[0036] Wird also beispielsweise ein Modul, dessen Schlitze bei Betrachtung des gesamten Wellenleiters nach oben auseinander laufen um 180° gedreht (gespiegelt) und an gleicher Stelle eingebaut (wobei die Schlitze wieder in die gleiche Richtung weisen) kann die Phase des Einzelstrahlers von 0° auf 180° oder umgekehrt geändert werden. Durch Drehen bzw. Spiegeln eines der Module und dessen Abdeckung können alle reellen Amplituden, also auch negative Werte aufgrund der Phasendrehung um 180° für jeden Einzelstrahler eingestellt werden. Dass alle reellen Amplituden eingestellt werden können, heißt mathematisch, dass jedes beliebige Abstrahldiagramm realisiert werden kann, welches spiegelsymmetrisch zur Hauptachse der Antenne ist. Eine Diagrammformung bzw. Modellierung von Antennen-Abstrahlcharakteristiken ist gemäß der Erfindung also durch eine rein mechanisch konfigurierbare Gruppenantenne in Form eines geschlitzten Hohlleiters möglich. Dabei unterliegt das erfindungsgemäße System und Verfahren nicht den Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten

einer elektronischen Gruppenantenne und deren durch die elektronischen Bauteile begrenzten Speiseleistung. Außerdem kann das System aufgrund der guten Skalierbarkeit eines Hohlleiters in einem sehr weiten Frequenzbereich zur Modellierung von Antennen-Abstrahlcharakteristiken dienen. Beispielsweise können Abstrahldiagramme realer Instrumenten-Landesysteme in einem entsprechend skalierten Messaufbau bei etwa 16 GHz sehr gut nachmodelliert werden.

[0037] Obwohl üblicherweise die Abstrahlrichtung in eine einzige Vorzugsrichtung erfolgt, ist die Erfindung in diesem Sinne nicht eingeschränkt. Durch die Möglichkeiten der modulartigen Ausbildung ist es grundsätzlich möglich, Abstrahlungen in unterschiedliche Raumrichtungen vorzunehmen, die Module also gewinkelt zueinander anzuordnen, so dass in verschiedene Raumrichtungen entlang der Längserstreckung des Hohlleiters Abstrahlung stattfindet, z.B. auch in entgegengesetzte Richtungen. Auch diese Möglichkeit ist durch das modulare Baukastenkonzept des erfindungsgemäßen Mikrowellenleiters möglich.

[0038] Vorzugsweise werden die Blenden jeweils einzelnen Modulen mit darin angeordneten Schlitzgruppen zugeordnet. Wie oben bereits erläutert ist es auch möglich, eine Blende mit einer Erstreckung über mehrere Module vorzusehen. Des Weiteren ist die Höhe der Blende, also das Maß für die Überdeckung der Schlitze so auszuwählen, dass die gewünschte Abstrahlcharakteristik erreicht wird. Vorzugsweise ist für jedes Modul ein Satz von Blenden verfügbar und gemäß den Verfahren anzuordnen, welcher eine Auswahl verschiedener Blendenhöhen, also verschiedener Verdeckungsgrade ermöglicht. Des Weiteren kann eine derartige Blende wahlweise an jedem der entgegengesetzten Enden der Schlitze angeordnet werden, wodurch ein weiterer Einfluss auf die Modellierung der Abstrahlcharakteristik genommen wird.

[0039] In einer abgewandelten Gestaltung können vor einzelnen oder mehreren Modulen Blenden angeordnet werden, die mit Hilfe von Verstelleinrichtungen (z.B. am Modul gekoppelten Mikrometerschrauben) justierbar sind.

[0040] Es sind dabei wenigstens einige der Blenden mit jeweiligen Verstelleinrichtungen versehen und durch Einwirken auf diese Verstelleinrichtungen ist der Deckungsgrad der Blenden mit den Schlitzen der Module veränderbar.

[0041] Durch Betätigen der Verstelleinrichtung kann die zugehörige Blende nach Bedarf in veränderbare Überdeckung mit den Schlitzen eingestellt werden. Auf diese Weise kann eine einzelne Blende eine justierbare Überdeckung bereitstellen, ohne einen Wechsel zwischen verschiedenen Blendengrößen zu erfordern. Dieser Aspekt der Verstellbarkeit kann in vielfältiger Weise realisiert werden. Beispielsweise können seitliche Schienen an den Modulen angeordnet werden, in denen die Blenden (wie ein Dia in einer Aufnahme einer Projektionseinrichtung) geschoben werden können. Eine Mikro-

meterschraube sitzt oberhalb oder unterhalb des Moduls und ist zur Einstellung der Blende in der Führung betätigbar.

[0042] Eine solche Verstellung kann auch mit einem Antrieb gekoppelt sein, z.B. einem Schrittmotor, so dass vorgegebene Blendeneinstellungen abrufbar sind. Auf diese Weise sind für einen aus Modulen zusammengesetzten Wellenleiter verschiedene Abdeckungsschemata abrufbar, wenn diese zuvor in einer Steuereinrichtung gespeichert werden.

[0043] Gemäß der Erfindung wird weiterhin eine Einrichtung zum Modellieren von Antennen-Abstrahlcharakteristiken bereitgestellt, wobei eine Mehrzahl von Abstrahl-Modulen, die jeweils eine durch Schlitze durchbrochene Abstrahlfläche aufweisen, enthalten ist. Die Abstrahl-Module werden zur Bildung eines geschlitzten Hohlleiters entlang einer Raumrichtung und ggf. sich ändernden Ausbreitungsrichtung einer Hohlleitermode angeordnet. Die Einrichtung weist eine Mehrzahl von Blenden auf, welche zum Abdecken von wenigstens einem Abschnitt der Schlitze vor den Abstrahlflächen der Module angeordnet sind. Ferner ist eine Erregereinrichtung vorgesehen, welche zur Anregung einer Hohlleitermode in den Hohlleiter angeordnet und ansteuerbar ist.

[0044] Der Hohlleiter besteht demnach aus voneinander trennbaren und wieder zusammenfügbaren mechanischen Bestandteilen, wovon einige die sogenannten Abstrahl-Module sind und andere die Blenden sind, welche die Schlitze der durchbrochenen Abstrahlflächen teilweise abdecken können. Die Bestandteile werden in der vorstehend erläuterten Weise kombiniert, um beliebige Abstrahlmuster zu modellieren.

[0045] In einer bevorzugten Ausbildung der Einrichtung ist ein länglicher Träger vorgesehen, an dem oder auf dem die Abstrahl-Module entlang der Längsachse des Trägers angeordnet sind, um den Hohlleiter zu bilden. Bei dieser Gestaltung bildet der Träger eine durchgehende Verbindung der Module. Der Träger kann eine Schiene sein, auf der die Module hintereinander aufgesteckt oder aufgeschoben werden und zur Bildung eines durchgehenden Hohlleiters verbunden werden. Die Aneinanderreihung der Module kann über entsprechende Verbindungssysteme erfolgen, wobei die weitgehend strahlungsdichte Verbindung der einzelnen Module miteinander sicherzustellen ist. Dies kann beispielsweise über entsprechende Nut-Federsysteme geschehen, wobei die Module in Richtung der Längsachse und an den entgegengesetzten Enden des Hohlleiters miteinander über eine entsprechende Spannvorrichtung verspannt werden. Es sind jedoch auch beliebige andere Verbindungsmechanismen möglich.

[0046] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Träger selbst ein Teil der Begrenzung des Hohlleiters.

[0047] In einer besonders bevorzugten Gestaltung ist der Träger dabei als U-Profil ausgebildet, wobei das U-Profil beispielsweise drei Seiten eines Rechteckhohlleiters bildet. Vor die freie Seite des U-Profiles werden die

geschlitzten Abstrahl-Module platziert, um diese offene Seite bis auf die geschlitzten Ausnehmungen zu bedecken. Auch hier ist die Kopplung zwischen Abstrahl-Modulen und dem U-Profil in beliebiger Weise möglich, z.B. durch Verspannen mit einer entsprechenden Klemmeinrichtung, magnetische Halterungen unter Herstellung der Strahlungsdichtheit durch Gestaltung der Kontaktbereiche (z.B. Nut-Feder-System).

[0048] In einer Abwandlung der Gestaltung ist der Träger als C-Profil ausgebildet, also als Teil eines Rundprofils und die Abstrahl-Module sind als Spangen oder Ringe auf das C-Profil aufsteckbar. Diese Abstrahl-Module sind dann um die Längsachse des C-Profiles drehbar und umgreifen das C-Profil. Vor den Abstrahl-Modulen können dann wiederum Blenden angeordnet werden. Bei dieser Gestaltung kann durch ein Drehen eines Abstrahlmoduls erreicht werden, dass die Schlitzöffnungen über einen Abschnitt des C-Profiles liegen, der eine Wandung des Hohlleiters bildet. Der Hohlleiter wird dann in diesen Längsabschnitt vollständig gegen Strahlungsausstritt abgeblendet, da kein Abschnitt der Schlitzöffnungen mit dem freien Bereich des C-Profiles zur Deckung gebracht ist. Die Gestaltung eines solchen Hohlleiters ist äußerst flexibel und gleichzeitig stabil, da die einzelnen Bestandteile sicher auf dem Träger gehalten sind.

[0049] Die Erfindung erlaubt auch eine Anordnung der Module entlang mehrerer Achsen. Wird eine Umlenkeinrichtung für die in den Hohlleiter gekoppelten Wellen zwischen die Module eingebracht, ist eine entsprechende Anordnung möglich. Beispielsweise kann durch eine U-Umlenkung eine Anordnung von zwei oder mehr Modulreihen übereinander realisiert werden. Eine L-Umlenkung bzw. ein 90°-Winkel erlaubt die Ausbildung von Abstrahlungen entlang zueinander senkrechter Raumachsen. Entsprechende Umlenkstücke sind grundsätzlich bekannt und können zur Bildung komplexer Abstrahlmuster mit der Modulbauweise gemäß der Erfindung kombiniert werden, wie anhand einiger Ausführungsformen weiter unten erläutert wird. Denkbar wäre z.B. auch eine kreisförmige oder vieleckförmige Anordnung der Module.

[0050] Die Erfindung wird nun anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1a zeigt eine erste Ausführungsform eines modular aufgebauten Hohlleiters in einer schematischen, perspektivischen Explosionsdarstellung; Figur 1b zeigt die Ausführungsform gemäß Figur 1a in montiertem Zustand;

Figur 1c zeigt einen Hohlleiter gemäß einer zweiten Ausführungsform mit einer Schlitzanordnung gemäß der ersten Ausführungsform, jedoch mit integral ausgebildetem Hohlleiter in einer schematischen, perspektivischen Explosionsdarstellung;

Figur 1d zeigt die Ausführungsform gemäß Figur 1c in montiertem Zustand;

Figur 2a zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung in einer schematischen, perspektivi-

schen Explosionsdarstellung;

Figur 2b zeigt die Ausführungsform aus Figur 2a in einem montierten Zustand;

Figur 3a zeigt ein Modul gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung in einer schematischen, perspektivischen Ansicht;

Figur 3b zeigt die Anordnung mehrerer Module aus der Figur 3a zu einem Hohlleiter;

Figur 4a zeigt eine fünfte Ausführungsform der Erfindung in einer schematischen Aufsicht;

Figur 4b zeigt die Anordnung aus Figur 4a in einer perspektivischen Ansicht;

Figur 5 zeigt eine sechste Ausführungsform der Erfindung in einer schematischen, perspektivischen Ansicht;

Figur 6a zeigt eine siebte Ausführungsform der Erfindung in einer schematischen Aufsicht;

Figur 6b zeigt die Anordnung aus Figur 6a in einer perspektivischen Ansicht;

Figur 7a zeigt eine fünfte Ausführungsform der Erfindung in einer schematischen Aufsicht;

Figur 7b zeigt die Anordnung aus Figur 7a in einer perspektivischen Ansicht;

[0051] Die Figur 1a zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel, welches zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist und einen erfindungsgemäßen geschlitzten Hohlleiter darstellt. Ein rechteckiges U-Profil 1 ist mit seiner Längserstreckung entlang einer Raumachse angeordnet, welche die Längsrichtung des Hohlleiters bildet. In dem U-Profil ist eine Erregereinrichtung 2 angeordnet, welche in der Darstellung nur schematisch wiedergegeben ist. Zur Einkopplung eines elektromagnetischen Feldes in den Hohlleiter ist grundsätzlich jede bekannte und bewährte Methode der Einkopplung in Hohlleiter anwendbar, wie sie den Fachkreisen auch bekannt ist. Außerdem kann eine dezentrale, seitliche Einkopplung vorgenommen werden oder, je nach Anwendung, auch eine zentrale oder an anderer Position angeordnete Einkopplung. Schließlich kann die Erregereinrichtung 2 grundsätzlich auch in jeden der Schenkel des Profils 1 eingesetzt werden.

[0052] Das U-Profil 1 bildet drei seitliche Begrenzungen des Hohlleiters und ist in dieser Gestaltung an beiden Längsenden offen ausgebildet. Die offenen Enden werden durch Abschlussabdeckungen 3a, 3b geschlossen. Diese sind in dieser Darstellung gleichartig ausgebildet, da deren Gestaltung gemäß dem bekannten Aufbau eines Hohlleiters erfolgt. Eine der Abdeckungen wirkt demnach beispielsweise wie ein gewollter Kurzschluss im Abstand eines Viertels der Hohlleiterwellenlänge zum letzten Schlitzelement 3a. An der entgegengesetzten Seite des Hohlleiters befindet sich zusammen mit der Speiseeinrichtung ein Flansch mit Koaxialhohlleiter (nicht dargestellt), so dass ein reflexionsarmer Abschluss realisiert ist. Auf die genaue Darstellung in der schematischen Ansicht wird verzichtet, da diese Abschlüsse bekannten Stand der Technik darstellen und nicht wesentlich für die

Erfindung sind.

[0053] Vor der offenen Front des U-Profiles 1 sind nebeneinander acht Abstrahlmodule 4 angeordnet. Die Abstrahlmodule sind in ihren Abmessungen auf die Abmessungen des Hohlleiters 1 abgestimmt. Die Abstrahlmodule 4 sind ansonsten mit identischen Maßen ausgebildet und austauschbar. Jedes der Abstrahlmodule 4 ist mit geschlitzten Öffnungen ausgestattet, die zueinander bezüglich einer Spiegelachse symmetrisch und schräg ausgebildet sind. Die Abstrahlmodule 4 werden so vor der offenen Seite des U-Profiles 1 angeordnet, dass die Schlitzte schräg zu dessen Längserstreckung verlaufen. Es ist zu erkennen, dass in diesem Beispiel die Abstrahlmodule 4 mit unterschiedlicher Orientierung angeordnet sind, einige also mit nach oben hin reduzierten Schlitzabständen und einige mit nach oben hin erweiterten Schlitzabständen. Diese Umorientierung, also eine Drehung eines einzelnen Abstrahlmoduls um 180° bezüglich einer Querachse zu der Längsachse des U-Profiles 1 bewirkt eine Phasenverschiebung um π bzgl. der Anregung dieses Moduls, also die Umkehrung des Vorzeichens der Amplitude für dieses Modul. Außerdem sind in diesem Beispiel die Abstrahlmodule 4 symmetrisch bezüglich der Mitte der Längserstreckung des Hohlleiters angeordnet. Die linken vier Module sind also spiegelsymmetrisch zu den rechten vier Modulen.

[0054] Die Module werden vor der offenen Seite des U-Profiles angeordnet und bilden zusammen mit dem U-Profil 1 und den Abschlüssen 3a, 3b, einen geschlitzten Hohlleiter. Die Berührungspunkte zwischen den Modulen 4 und dem U-Profil 1, den Abschlussstücken 3a, 3b und dem U-Profil 1 sowie den Modulen 4 und auch die Verbindung der Module untereinander ist möglichst strahlungsdicht bzw. unterbrechungsfrei für die auf der Hohlleiteroberfläche fließenden Ströme ausgebildet. Dafür kommen alle üblichen mechanischen Verbindungsmethoden in Frage, insbesondere können beispielsweise die Module seitlich mit Nuten ausgestattet sein, so dass jeweils zwei Module unter Einbringung eines Einschubelements in die benachbarten Nuten strahlungsdicht miteinander verbunden werden. Geeignete Nut-Feder-Verbindungen können auch zwischen dem U-Profil 1 und den Strahlungsmodulen 4 ausgebildet sein. Es kommen jedoch auch beliebig andere Verbindungskonzepte in Frage, insbesondere gekantete Verbindungen.

[0055] In dem gezeigten Beispiel sind pro Strahlungsmodul zwei zueinander schräg verlaufende Schlitzte zu einer Schlitzgruppe angeordnet. Grundsätzlich könnte jedoch auch jedes der Module mehr oder weniger Schlitzte aufweisen.

[0056] In der Gestaltung in diesem Ausführungsbeispiel sind insgesamt sechs Blenden 5 vor den Abstrahlmodulen 4 angeordnet. Diese Blenden überdecken Teile der geschlitzten Öffnungen in den Abstrahlmodulen 4. Auch die Anordnung der Blenden ist bezüglich einer Mittelachse des Hohlleiters symmetrisch.

[0057] In Figur 1b ist der modular aufgebaute Hohlleiter in montierter Form dargestellt. Die Blenden sind vor

den geschlitzten Öffnungen angeordnet und überdecken Teile der Öffnungen, um die gewünschte Abstrahlcharakteristik zu modellieren. Die Blenden 5 sind vor den Abstrahlmodulen in beliebiger Weise lösbar zu befestigen. In der dargestellten Form sind die Blenden 5 beispielsweise mit einer lösbaren Klebeverbindung vor den Schlitzöffnungen angeordnet. Die Blenden können jedoch auch so ausgebildet sein, dass sie als Klammern oder Spangen das U-Profil 1 mehrseitig umgreifen und eine entsprechende Abdeckung der Schlitzöffnungen bereitstellen.

[0058] Wie bei den von den axialen Enden der Anordnung gezählt jeweils dritten Abstrahlmodulen, kann eine Blende dabei ein Abstrahlmodul auch vollständig bedecken um die Abstrahlung in diesem Bereich gänzlich zu unterbinden. Selbstverständlich kann alternativ auch in die Reihe der Abstrahlmodule ein vollständig geschlossenes Modul, also schlitzloses Modul eingebracht werden.

[0059] In der dargestellten Form können in einfacher Weise durch Kombination verschiedener geschlitzter Abstrahlmodule und Blenden vielfältige Abstrahlcharakteristiken modelliert werden. Die Abmessung des U-Profils und der geschlitzten Abstrahlmodule ist selbstverständlich auf die Wellenlänge der anzuregenden Mode im Innenraum des Hohlleiters abgestimmt. Die grundsätzlichen Kenntnisse über Hohlleiter und deren Abmessung im Zusammenhang zu der Wellenlänge sind jedoch in den Fachkreisen bekannt und beispielsweise auch den oben angegebenen Publikationen zu entnehmen.

[0060] Die Figuren 1c und 1d zeigen einen Hohlleiter 6 gemäß der Erfindung, wobei grundsätzlich dasselbe Muster von Schlitzöffnungen 7a, 7b realisiert wurde wie bei der Ausführungsform der Figuren 1a und 1b.

[0061] Bei dieser Gestaltung sind die Schlitz 7a, 7b jedoch in einem handelsüblichen Hohlleiter durch Fräsen oder sonstige Bearbeitung eingebracht. Der Hohlleiter ist also "aus dem Vollen" gefertigt und besteht nicht aus mechanisch entkoppelbaren Modulen. Diese Gestaltung greift demnach in ihrer Gestaltung wieder die erfindungsgemäße, grundsätzliche mathematische oder modellhafte Abstraktion und Segmente des Hohlleiters auf. Ein (mathematisches) Segment wird hier jeweils aus einem Schlitzpaar der Gruppe 7a oder 7b gebildet. Die Schlitzpaare 7a weisen jeweils nach oben zusammen laufende Schlitz auf. Die Schlitzpaare 7b hingegen laufen nach oben hin auseinander. Jedes der Schlitzpaare 7a ist zu jedem der Schlitzpaare 7b spiegelsymmetrisch bezüglich einer Ebene durch die Längsachse des Wellenleiters und die primäre Abstrahlrichtung. Gegenüber der Abstrahlung von einem 7a-Segment wird durch diese Umorientierung ein Phasenwechsel von 0 zu π oder umgekehrt erreicht. Ein derartiger integral gebildeter Wellenleiter ist robuster, aber weniger flexibel als ein Leiter mit trennbaren mechanischen Modulen.

[0062] Durch Anordnung der Blenden 5 können die Abstrahlamplituden jedoch ebenfalls nachträglich weitgehend variiert werden.

[0063] Die Figuren 2a und 2b zeigen eine alternative Gestaltung einer Vorrichtung, welche zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist und gemäß der Erfindung ausgebildet ist.

[0064] Bei dieser Gestaltung ist ein Rundprofil als seitlich entlang der Längsachse offenes C-Profil 10 ausgebildet. Die Erregereinrichtung ist in dieser Darstellung nicht sichtbar, ist jedoch im Prinzip in ähnlicher Weise anzuordnen wie bei dem vorstehenden Ausführungsbeispiel. Die Abstrahlmodule 11 sind in diesem Beispiel als Ringe mit geschlitzten Öffnungen ausgebildet. Der offene Innendurchmesser der Abstrahlmodule 11 ist abgestimmt auf den Außendurchmesser des C-Profils 10, so dass die Ringe auf das Profil 10 aufgeschoben werden können und durch Drehung, an dem Profil 10 abgleitend um die Längsachse des Profils 10 drehbar sind. Außerdem können die Abstrahlmodule 11 seitlich vom Profil wieder abgezogen werden, um die Orientierung der Schlitzanordnungen zu ändern.

[0065] Je nach Drehstellung der Abstrahlmodule 11 liegen die Schlitzöffnungen vor der offenen Seite des C-Profils 10 oder über einer Wandungsfläche des Profils. Auf diese Weise können aktive und passive Abstrahlbereiche geschaffen werden (in einer alternativen Gestaltung könnten in jedem der Abstrahlmodule verschiedene, entlang des Umfangs versetzte Schlitzgruppen angeordnet sein, die, je nach Drehausrichtung, mit der Öffnung im Profil 10 zur Deckung gelangen - dann wäre ggf. auch ein seitliches Abziehen der Abstrahlprofile nicht mehr nötig).

[0066] Die seitlichen Endabschlüsse 12a und 12b sind in ihrem Durchmesser auf den Durchmesser der Abstrahlmodule 11 abgestimmt. Zwischen den Abstrahlmodulen selbst ist jeweils eine möglichst strahlungsichte und leitende Verbindung gewährleistet, um einerseits die Drehung der Module gegeneinander zu ermöglichen und andererseits die Strahlungsdichtheit des Systems in diesem Berührungsbereichen sicherzustellen. Dazu ist wiederum die Ausbildung einer Nut-Feder-Verbindung entlang des Umfangs möglich.

[0067] Die Blenden für die einzelnen Abstrahlmodule 11 sind als Blendenspannen 13 ausgebildet. Diese werden wiederum über die Abstrahlmodule 11 geschoben und sind ebenfalls um die Längsachse des Hohlleiters rotierbar, um einen Teil der Schlitzöffnungen in den Abstrahlmodulen 11 abzudecken.

[0068] Die montierte Gestaltung ist in Figur 2b dargestellt. Der so realisierte Wellenleiter ist durch einfaches Verdrehen geeignet, zahlreiche Abstrahlmuster zu modellieren. Sofern erforderlich, können selbstverständlich weitere Bauteile die Stabilität eines solchen Aufbaus verbessern. Beispielsweise können axial angeordnete gefederte Klemmen den gesamten Aufbau in axialer Richtung fixieren, wobei dennoch eine Drehung der einzelnen Abstrahlmodule 11 gegeneinander möglich bleibt.

[0069] Das vorstehend erläuterte Ausführungsbeispiel ist im Rahmen der Erfindung auch ohne C-Profil als Träger realisierbar. Die einzelnen Abstrahlmodule werden

dann miteinander z.B. durch umlaufende Nut-Feder-Verbindungen gekoppelt oder mit anderen bekannten und gegeneinander drehbaren Verbindungen versehen. Dazu kann auch eine äußere Fixierungs- oder Spannvorrichtung den axialen Zusammenhalt der Module sicherstellen. Außerdem kann eine Gestaltung realisiert werden, bei welcher die kreisförmigen Module in diskreten Winkelstellungen koppelbar sind. Dann ist es also nicht erforderlich, eine Drehverbindung zu schaffen, sondern es kann jedes Modul von einem benachbarten axial getrennt und in anderer Orientierung (um einen Winkelbetrag gedreht) wieder mit diesem gekoppelt werden.

[0070] Figur 3a zeigt schließlich ein mechanisch realisierbares Abstrahlmodul mit einer Schlitzgruppe welches als Quaderelement ausgebildet ist, dass an gegenüberliegenden Seiten offen ist. Eine Anordnung einer Mehrzahl dieser Quaderelemente nebeneinander bildet den gewünschten Hohlleiter. In Abbildung 3a ist der Quader 20 mit einer Schlitzgruppe 21 ausgebildet und der Quader 20 weist Öffnungen 22 aus, über die mit Stiften 23 eine Verbindung der Quaderelemente untereinander ermöglicht wird.

[0071] Figur 3b zeigt eine entsprechende Anordnung, wobei vor den einzelnen Quaderelementen 20 wiederum Blenden 25 mit unterschiedlichen Abmessungen angeordnet sind. Seitliche Abschlüsse 26A, 26B schließen den Hohlleiter, indem auf üblichem Wege eine elektromagnetische Strahlung angekoppelt wird, die an den offenen Schlitzgruppen in der gewünschten modellierten Form austritt. Zur Einkopplung können spezielle Abstrahlmodule mit entsprechend geeigneten Einkopplvorrichtungen vorgesehen werden, die im Endbereich oder im Mittelbereich platziert werden. Zu bevorzugen sind hier handelsübliche Übergänge von coaxialen Hochfrequenzkabeln (z.B. in SMA-Technik) auf die Grundmode des Hohlleiters.

[0072] Es ist ersichtlich, dass ein äußerst modulares und flexibles System bereitsteht, um Wellenleiter mit beliebigen Abstrahlcharakteristiken zu kombinieren, wobei die Länge des Wellenleiters durch Ergänzung weiterer Module problemlos zu verändern ist.

[0073] Eine weitere Gestaltung der erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Einrichtung ist in den Figuren 4a und 4b gezeigt.

[0074] Bei dieser Gestaltung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass eine Wellenlänge im Hohlleiter (λ_{HL}) immer größer ist als die Freiraumwellenlänge. Das heißt zwangsläufig, dass die Einzelstrahler (in diesem erfindungsgemäßen Beispiel also die Schlitzpaare), welche im Abstand der Hohlleiterwellenlänge angeordnet sind und gleichphasig (oder auch gegenphasig gemäß eines Erfindungsgedankens) angeregt werden, auch einen Abstand aufweisen, der größer als die Freiraumwellenlänge ist.

[0075] Das führt bei einer Gruppenantenne in der Abstrahlcharakteristik zu so genannten "Grating lobes" bzw. Nebenkeulen oder Gitterkeulen, die nicht erwünscht sind. Insbesondere kann es in Richtung dieser Neben-

keulen zu störenden Reflexionen kommen.

[0076] Gemäß dem gezeigten Ausführungsbeispiel werden zwei Hohlleiter 30, 31 parallel zueinander angeordnet. Dabei wird ein Versatz in Richtung der Array-Erstreckung (also in Längsrichtung) von der Hälfte der Hohlleiterwellenlänge vorgesehen. Ein Umlenkstück 32 in Gestalt eines U-Hohlleiters sorgt dafür, dass beide Hohlleiter von derselben Anregung bzw. Mode gespeist und die beiden Hohlleiter in Phase angeregt werden.

[0077] In Hauptstrahlrichtung überlagern sich die Einzeldiagramme der beiden versetzten Hohlleiteranordnungen 30, 31 konstruktiv, da im Fernfeld der Abstand (Parallelversatz) zwischen den U-Schenkeln unerheblich ist. Im Bereich der unerwünschten Grating Lobes hingegen überlagern sich die gestrahlten Felder destruktiv, so dass diese unerwünschten Nebenkeulen verschwinden, was mathematisch anhand des Arrayfaktors auch gezeigt werden kann.

[0078] In der gezeigten Konfiguration ist der U-Leiter 32 mit unterschiedlich langen Kopplungsstücken versehen, deren Längenunterschied eine halbe Hohlleiterwellenlänge beträgt. Die beiden Hohlleiteranordnungen 30, 31 mit den Schlitzpaaren sind identisch ausgebildet, insbesondere sind auch die Blenden vor den Schlitzpaaren paarweise gleich angeordnet.

[0079] Figur 5 zeigt den alternativen Aufbau einer erfindungsgemäßen Einrichtung.

[0080] Ein langgestrecktes U-Profil 40 bildet eine dreiseitige Begrenzung für den Hohlleiter. Auf das U-Profil 40 werden oben und unten an den beiden U-Schenkeln zwei L-förmige Aufnahmen 41, 42 montiert, die auf der offenen Seite des U-Profils einen Spaltraum zwischen L-Aufnahmen und Stirnseiten der Schenkel des U-Profils 40 bilden. Dieser Spaltraum ist in seiner Breite auf die Dicke der Module 45 mit den Schlitzpaaren angepasst. Die Module 45, hier als Metallscheiben mit Schlitzpaaren ausgebildet, werden seitlich in den Spaltraum eingeschoben, wobei ihre Orientierung zum Einstellen der Phase frei wählbar ist. Die beiden äußeren Einschübe 47 werden mit Schrauben am U-Profil 40 fixiert, so dass die Module zwischen ihnen seitlich nicht verrutschen können. Blendenstücke 46, welche die Amplitude jedes Einzelstrahlermoduls 45 bestimmen, werden oben oder unten an der Aufnahme angeordnet. Dort werden sie ebenfalls mit Schrauben befestigt oder per Klemmung an ihrer Position gehalten.

[0081] Die erfindungsgemäße Ausführungsform der Figuren 6a und 6b reiht vier Einzelstrahlmodule 50a, 50b, 50c, 50d derart an, dass vertikal polarisierte Strahlung in einem linearen, eindimensionalen Array abgestrahlt wird. Gekoppelt sind die Module durch U-Verbinder 51a, 51b, 51c mit eckigem Querschnitt. Hier kann die Amplitude durch eine vorgebrachte Blende eingestellt werden und die Phase (0° oder 180°) durch Drehen eines Moduls beeinflusst werden.

[0082] Ein solches Design ist insbesondere bei der Realisierung von strahlungsichten und mechanisch stabilen Steckverbindungen möglich, da die Einzelteile (Mo-

dule und Umleitungen) jeweils gleichartig ausgebildet sind. Die Module können hier in Abständen angeordnet werden, die kleiner als die Freiraumwellenlänge sind und außerdem vertikale Polarisation erzeugen.

[0083] Die in den Figuren 7a und 7b als Ausführungsform gezeigte Gruppenantenne besteht aus vier Einzelstrahlern 60a, 60b, 60c, 60d, wobei zwei sich gegenüberliegende Einzelstrahler (60d und 60b) dieselbe Polarisation (horizontal) haben, während das andere Paar (60a und 60c) durch die orthogonale Anordnung auch die orthogonale Polarisation (vertikal) hat. Verbunden sind die Einzelstrahler 60a, 60b, 60c, 60d mit jeweils 90°-Bogenleitern 61a, 61b, 61c, die so ausgelegt sind, dass sie nacheinander angeordnete Einzelstrahler mit einem Phasenversatz von 90° zum vorigen anregen. Physikalisch wird dadurch ein zirkulares Abstrahlverhalten erzeugt. Gegenüberliegende Module (60b-60d oder 60a-60c) haben durch die Umlenkungen einen Phasenversatz von 180°, so dass für gleichphasige Anregung ein Modul um 180° erfindungsgemäß gedreht werden muss.

[0084] Bei einer Speisung in Modul 60a, ist die vertikale Polarisation 90° vor der horizontalen Polarisation, so dass durch diese Speisung linkszirkulare Polarisation erzeugt wird. Hingegen wird bei Speisung in Modul 60d zuerst die horizontale Polarisation angeregt, so dass hier rechtszirkulare Polarisation folgt. Speist man in Modul 60a und schließt gleichzeitig Modul 60d mit einem Kurzschluss ab, so bleibt lediglich lineare, vertikale Polarisation übrig, da Modul 60b und Modul 60d durch die Umlenkungen und den Kurzschluss sowohl mit der Phase 0° als auch rücklaufend mit der Phase 180° angeregt werden. Entsprechend erhält man bei Speisung in Modul 60d mit Kurzschluss an Modul 60a lineare, horizontale Polarisation.

[0085] Auch elliptische Polarisation ist einstellbar, indem das Anregungsverhältnis durch Blenden an den jeweiligen Modulpaaren eingestellt wird. Das Einstellen der Anregungsamplituden für die horizontalen bzw. vertikalen Module kann zudem auch zur Optimierung des Achsenverhältnisses der zirkularen Polarisation benutzt werden.

[0086] Grundsätzlich kann zirkuläre bzw. elliptische Polarisation auch mit nur zwei Modulen, z.B. 60a und 60b möglich. Die paarweisen Module kompensieren aber teilweise den Umstand, dass ein Modul immer etwas Leistung auskoppelt und das folgende Modul dann mit entsprechend weniger Leistung angeregt wird. So lassen sich in der Anordnung mit vier Modulen tatsächlich Achsenverhältnisse von nahezu 0 dB einstellen. Für die beschriebenen Anregungsmodi gibt es auch Hohlleiterumschalter, die in die Ecke passen könnten und die beschriebenen Polarisationsarten durch Schalten herstellen könnten. Durch diese erfindungsgemäße Ausführungsform wird eine generische Antenne zur Verfügung gestellt, die alle Polarisationsarten durch Umschalten herstellen kann.

[0087] Der Einsatz für dieses modulare System für geschlitzte Hohlleiter ist weitreichend. Insbesondere ist die

Verwendung bei der Modellierung von Abstrahlcharakteristiken der Antennen für Instrumenten-Lande-Systeme (ILS) geeignet, um bei der Planung und bei der Analyse von Flughäfen wertvolle Hinweise auf Störungen und Optimierungen eines derartigen Systems zu erhalten.

[0088] Im Rahmen der Erfindung sind zahlreiche Erweiterungen und Abwandlungen denkbar. Insbesondere können die Module und zugehörigen Komponenten wie Blenden und Träger aus beliebigen Materialien gefertigt sein, solange sie eine Eignung für eine ordnungsgemäße Funktion eines Wellenleiters bzw. Hohlleiters bereitstellen. Die Einrichtung kann auch für Wellenleiter ganz unterschiedlicher Geometrien und Abmessungen verwendet werden. Wesentlich ist, dass durch die modulartige Kombination von Komponenten, ein Wellenleiter mit nahezu beliebiger Abstrahlcharakteristik realisiert werden kann, wobei sogar die Phasenlage bei einzelnen der Abstrahlmodule nach Bedarf (zu 0 oder zu π) zu wählen ist, so dass alle reellen Amplituden für jeden Einzelstrahler realisierbar sind und damit alle Abstrahldiagramme, die spiegelsymmetrisch zur Abstrahlachse sind, also über den Abstrahlwinkel eine gerade Funktion sind, erzeugt werden können.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Modellieren von Antennen-Abstrahlcharakteristiken, aufweisend:

eine Mehrzahl von mechanisch trennbaren Abstrahl-Modulen (4; 11; 20), die jeweils eine durch Schlitze durchbrochene Abstrahlfläche aufweisen, wobei die Abstrahl-Module zur Bildung eines durch Anregung einer Hohlleitermode speisbaren, geschlitzten Mikrowellen-Hohlleiters entlang wenigstens einer Raumrichtung angeordnet und miteinander gekoppelt sind, so dass entlang der Module ein durchgehender Raum gebildet ist, in dem sich eine eingespeiste Welle als Mode ausbreitet und die Schlitze ohne Ausbildung eines zusätzlichen Speisernetzwerks versorgt, wobei wenigstens eines der Abstrahl-Module eine Abmessung in Richtung der Raumrichtung von einer Wellenlänge der Mode im Hohlleiter aufweist,

eine Mehrzahl von austauschbaren Blenden (5; 13; 25), welche zum Abdecken von wenigstens einem Abschnitt der Schlitze vor den Abstrahlflächen der Module angeordnet sind und sich über ein oder zwei Module erstrecken, und eine Erregereinrichtung (2), welche zur Anregung der Hohlleitermode von Mikrowellen in dem Hohlleiter angeordnet ist, wobei sich die Hohlleitermode in die wenigstens eine Raumrichtung, in der die Abstrahl-Module angeordnet sind, ausbreitet.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Abstrahl-Module (4; 11; 20) identische Querschnitte aufweisen.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei ein länglicher Träger (1; 10) vorgesehen ist, an dem die Abstrahl-Module (4; 11) entlang einer Längsachse des Trägers angeordnet sind, um den Mikrowellen-Hohlleiter zu bilden.
4. Einrichtung nach Anspruch 3, wobei der Träger (1; 10) als entlang einer Längsseite offener Hohlkörper ausgebildet ist, wobei die Abstrahl-Module (4; 11) mit ihren Abstrahlflächen vor der offenen Längsseite angeordnet sind.
5. Einrichtung nach Anspruch 4, wobei der Träger (1) als U-Profil ausgebildet ist und wobei die Abstrahl-Module (4) mit dem U-Profil derart gekoppelt sind, dass die Abstrahlfläche vor der offenen Längsseite des U-Profil angeordnet ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 4, wobei der Träger (10) als C-Profil ausgebildet ist und wobei die Abstrahl-Module (11) als Ringe oder Spangen ausgebildet sind und durch Umgreifen mit dem C-Profil derart gekoppelt sind, dass die Abstrahl-Module (11) um die Längsachse des C-Profils drehbar sind und mit der Abstrahlfläche wahlweise vor der offenen Längsseite des C-Profils oder mit der Abstrahlfläche vor einem Wandungsabschnitt des C-Profils ausrichtbar sind.
7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei zwischen wenigstens zwei Abstrahl-Module wenigstens eine Hohlleiter-Umlenkeinrichtung gekoppelt ist, so dass eine Gruppe von Modulen entlang einer ersten Raumrichtung und eine zweite Gruppe von Modulen entlang wenigstens einer weiteren Raumrichtung angeordnet ist, wobei die erste und die wenigstens eine weitere Raumrichtung parallel oder in einem Winkel zueinander verlaufen können.
8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei wenigstens einige der Blenden mit jeweils einer Verstelleinrichtung gekoppelt sind, wobei die Blenden über die Verstelleinrichtungen zur Variation der Abdeckung der Schlitzöffnungen verstellbar angeordnet sind.

Claims

1. A device for modeling antenna radiation characteristics, featuring:

a plurality of mechanically separable radiation modules (4; 11; 20), which respectively feature

a radiating surface that is penetrated by slots, wherein the radiation modules are arranged and coupled to one another along at least one direction in space so as to form a slotted microwave waveguide, which can be fed due to the excitation of a waveguide mode, such that a continuous space is formed along the modules, wherein a wave fed into this continuous space propagates therein in the form of a mode and supplies the slots without requiring an additional feed network, and wherein a dimension of at least one of the radiation modules in the direction in space corresponds to a wavelength of the mode in the waveguide,
a plurality of exchangeable covers (5; 13; 25), which are arranged in front of the radiating surfaces of the modules in order to cover at least a section of the slots and extend over one or two modules, and
an excitation device (2), which is arranged in the waveguide in order to excite the waveguide mode of microwaves, wherein the waveguide mode propagates in the at least one direction in space, in which the radiation modules are arranged.

2. The device according to claim 1, wherein the radiation modules (4; 11; 20) have identical cross sections.
3. The device according to claim 1, wherein an elongate carrier (1; 10) is provided, on which the radiation modules (4; 11) are arranged along a longitudinal axis of the carrier in order to form the microwave waveguide.
4. The device according to claim 3, wherein the carrier (1; 10) is realized in the form of a hollow body that is open along one longitudinal side, and wherein the radiation modules (4; 11) are arranged in front of the open longitudinal side with their radiating surfaces.
5. The device according to claim 4, wherein the carrier (1) is realized in the form of a U-profile, and wherein the radiation modules (4) are coupled to the U-profile in such a way that their radiating surfaces are arranged in front of the open longitudinal side of the U-profile.
6. The device according to claim 4, wherein the carrier (10) is realized in the form of a C-profile, and wherein the radiation modules (11) are realized in the form of rings or clips, which encompass the C-profile in order to be coupled thereto in such a way that the radiation modules (11) are rotatable about the longitudinal axis of the C-profile and can be selectively aligned in front of the open longitudinal side of the C-profile or in front of a wall section of the C-profile

with their radiating surfaces.

7. The device according to one of claims 1-6, wherein at least one waveguide deflection device is coupled between at least two radiation modules such that one group of modules is arranged along a first direction in space and a second group of modules is arranged along at least one other direction in space, wherein the first and the at least one other direction in space may extend parallel or at an angle to one another.
8. The device according to one of claims 1-7, wherein at least a few of the covers are respectively coupled to an adjusting device, and wherein the covers can be adjusted by means of the adjusting devices in order to vary the coverage of the slot openings.

Revendications

1. Dispositif de modélisation de caractéristiques de rayonnement d'antennes, comportent :

une pluralité de modules de rayonnement (4 ; 11 ; 20) mécaniquement séparables qui comportent respectivement une surface de rayonnement percée par des fentes, pour former un guide de micro-ondes fendu, susceptible d'être alimenté par excitation d'un mode de guide d'onde, les modules de rayonnement étant placés le long d'au moins une direction dans l'espace et couplés les uns aux autres de sorte que le long des modules soit créé un espace continu, dans lequel une onde alimentée se propage en tant que mode et alimente les fentes sans former un réseau d'alimentation supplémentaire, au moins l'un des modules de rayonnement présentant dans la direction de la direction dans l'espace une dimension d'une longueur d'onde du mode dans le guide d'onde, une pluralité de caches (5 ; 13 ; 25) interchangeables, qui pour recouvrir au moins un segment des fentes sont placés devant les surfaces de rayonnement des modules et s'étendent par dessus un ou deux modules et un dispositif d'excitation (2), lequel pour exciter le mode guide de micro-ondes est placé dans le guide d'onde, le mode guide d'onde se propageant dans l'au moins une direction dans l'espace dans laquelle sont placés les modules de rayonnement.

2. Dispositif selon la revendication 1, les modules de rayonnement (4 ; 11 ; 20) présentant des sections transversales identiques.

3. Dispositif selon la revendication 1, un support allongé (1 ; 10) étant prévu sur lequel les modules de rayonnement (4 ; 11) sont placés le long d'un axe longitudinal du support, pour former le guide de micro-ondes.

4. Dispositif selon la revendication 3, le support (1 ; 10) étant conçu sous la forme d'un corps creux ouvert le long d'un côté longitudinal, les modules de rayonnement (4 ; 11) étant placés par leurs surfaces de rayonnement à l'avant du côté longitudinal ouvert.

5. Dispositif selon la revendication 4, le support (1) étant conçu sous la forme d'un profilé en U et les modules de rayonnement (4) étant couplés avec le profilé en U de sorte que la surface de rayonnement soit placée à l'avant du côté longitudinal ouvert du profilé en U.

6. Dispositif selon la revendication 4, le support (10) étant conçu sous la forme d'un profilé en C et les modules de rayonnement (11) étant conçus sous la forme d'anneaux ou de boucles et par entourage, étant couplés avec le profilé en C de telle sorte que les modules de rayonnement (11) soient rotatifs autour de l'axe longitudinal du profilé en C et soient orientables au choix par la surface de rayonnement à l'avant du côté longitudinal ouvert du profilé en C ou par la surface de rayonnement à l'avant d'une portion de paroi du profilé en C.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, entre au moins deux modules de rayonnement étant couplé au moins un dispositif de renvoi de guide d'onde, de sorte qu'un groupe de modules soit placé le long d'une première direction dans l'espace et un deuxième groupe de modules soit placé le long d'au moins une autre direction dans l'espace, la première et l'au moins une autre directions dans l'espace pouvant s'étendre à la parallèle l'une de l'autre ou sous un angle, l'une par rapport à l'autre.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, au moins certains des caches étant couplés avec respectivement un dispositif d'ajustage, les caches étant placés en étant ajustables par l'intermédiaire des dispositifs d'ajustage pour faire varier le recouvrement des ouvertures en fentes.

Fig. 1a

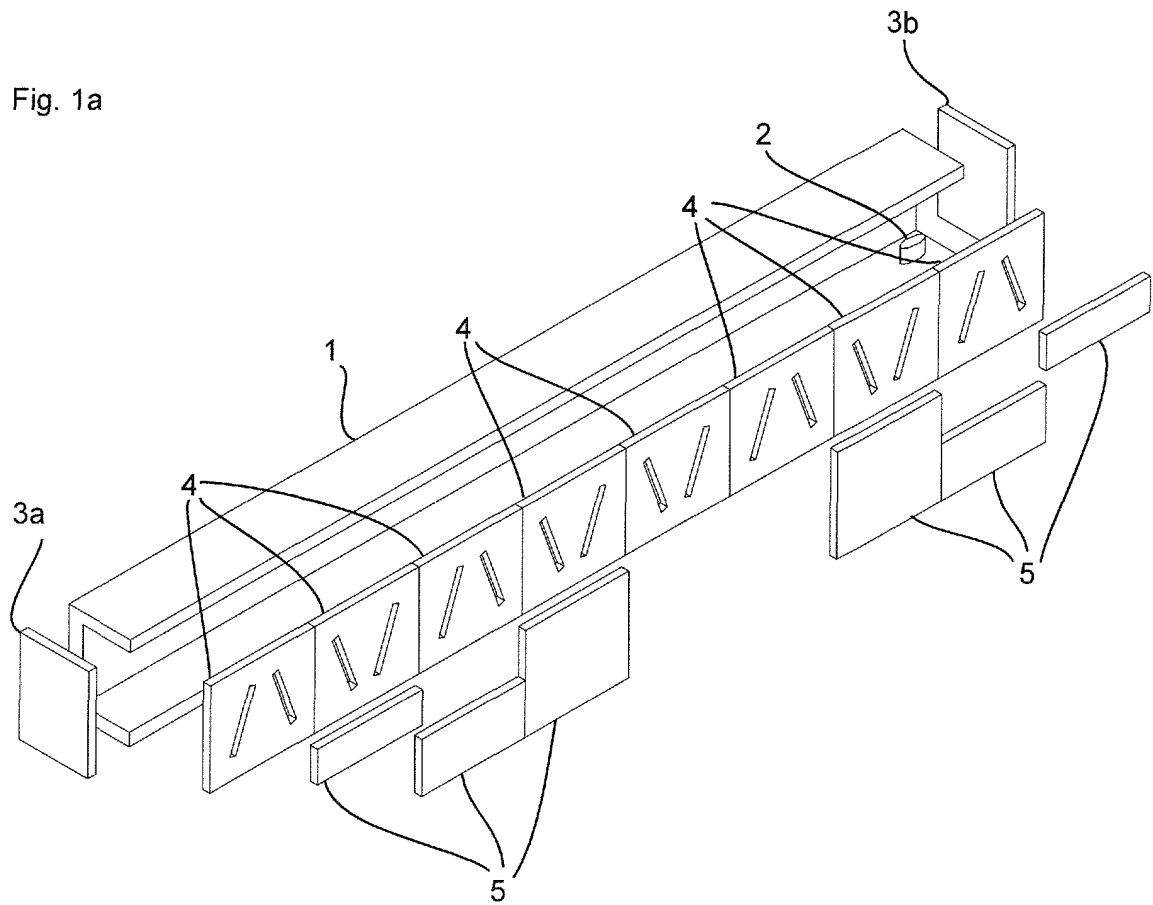


Fig. 1b

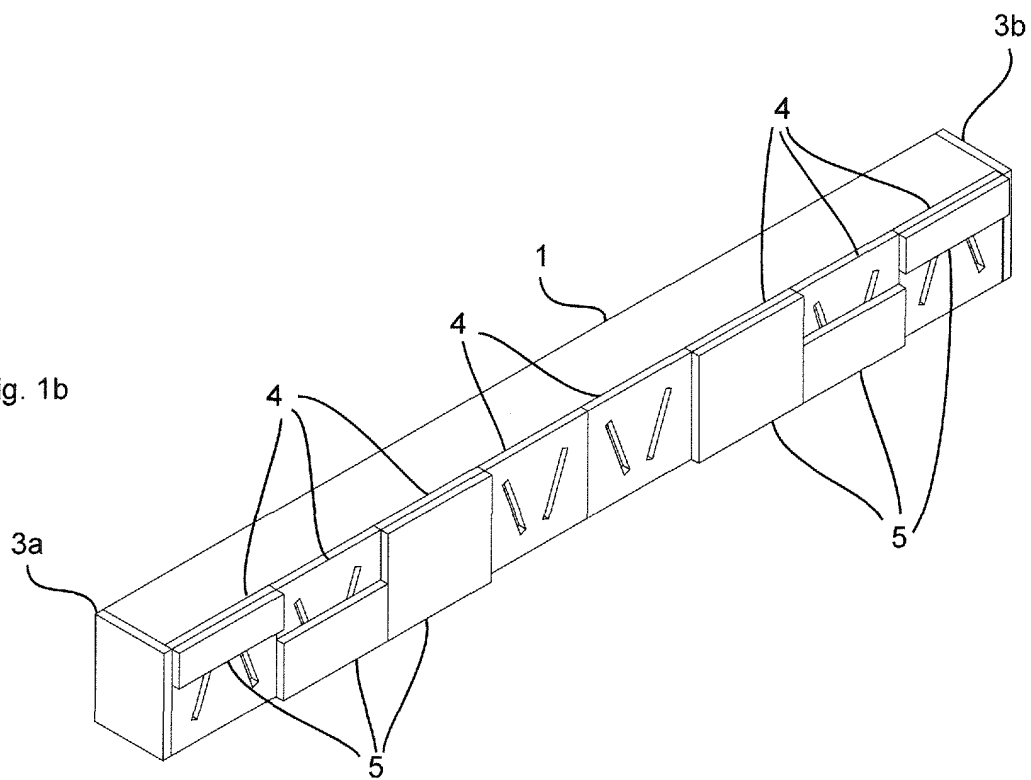


Fig. 1c

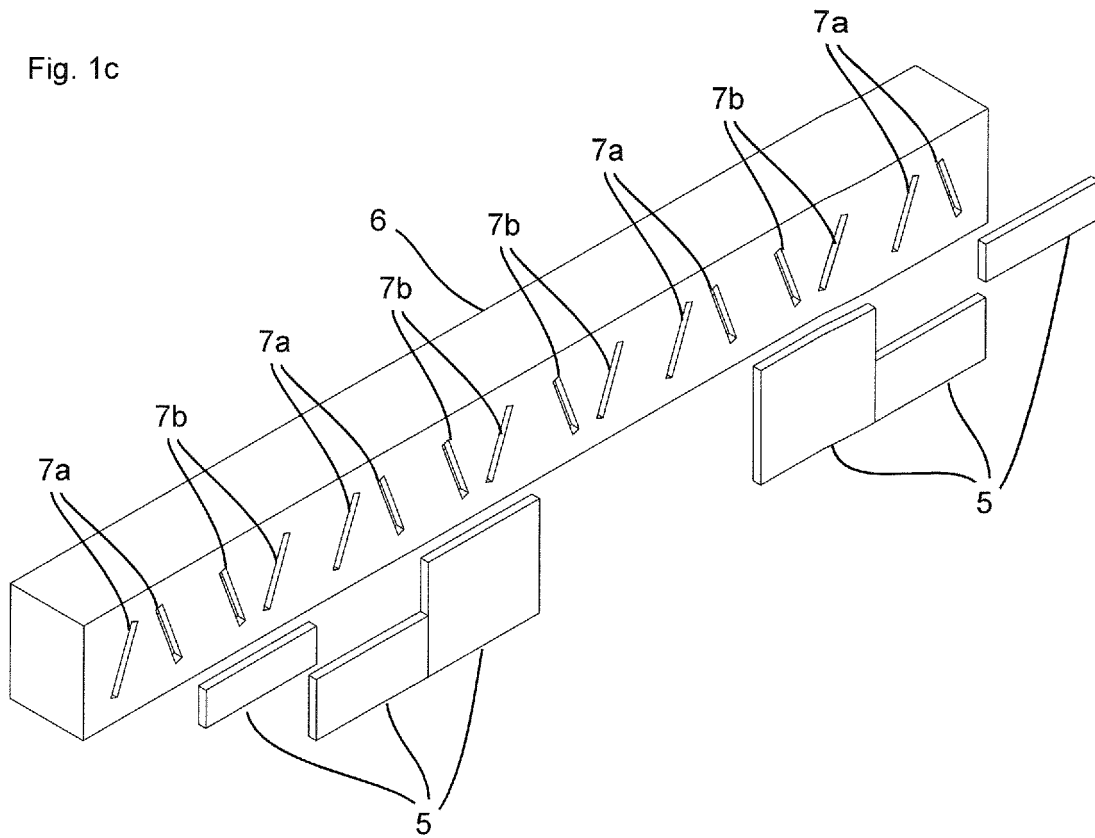


Fig. 1d

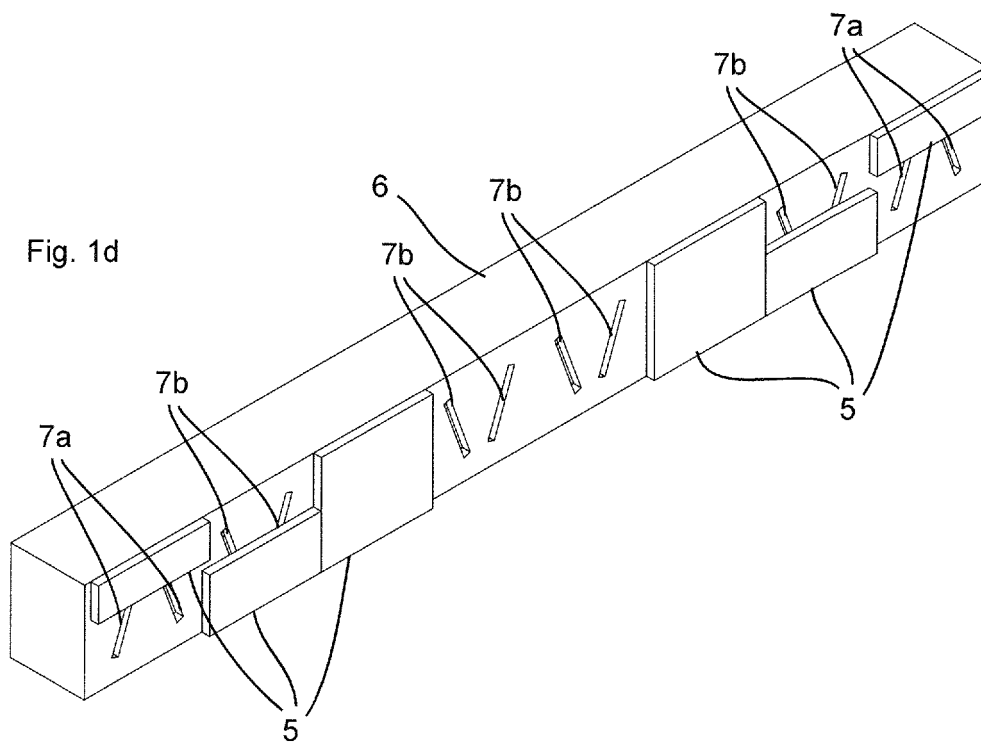


Fig. 2a

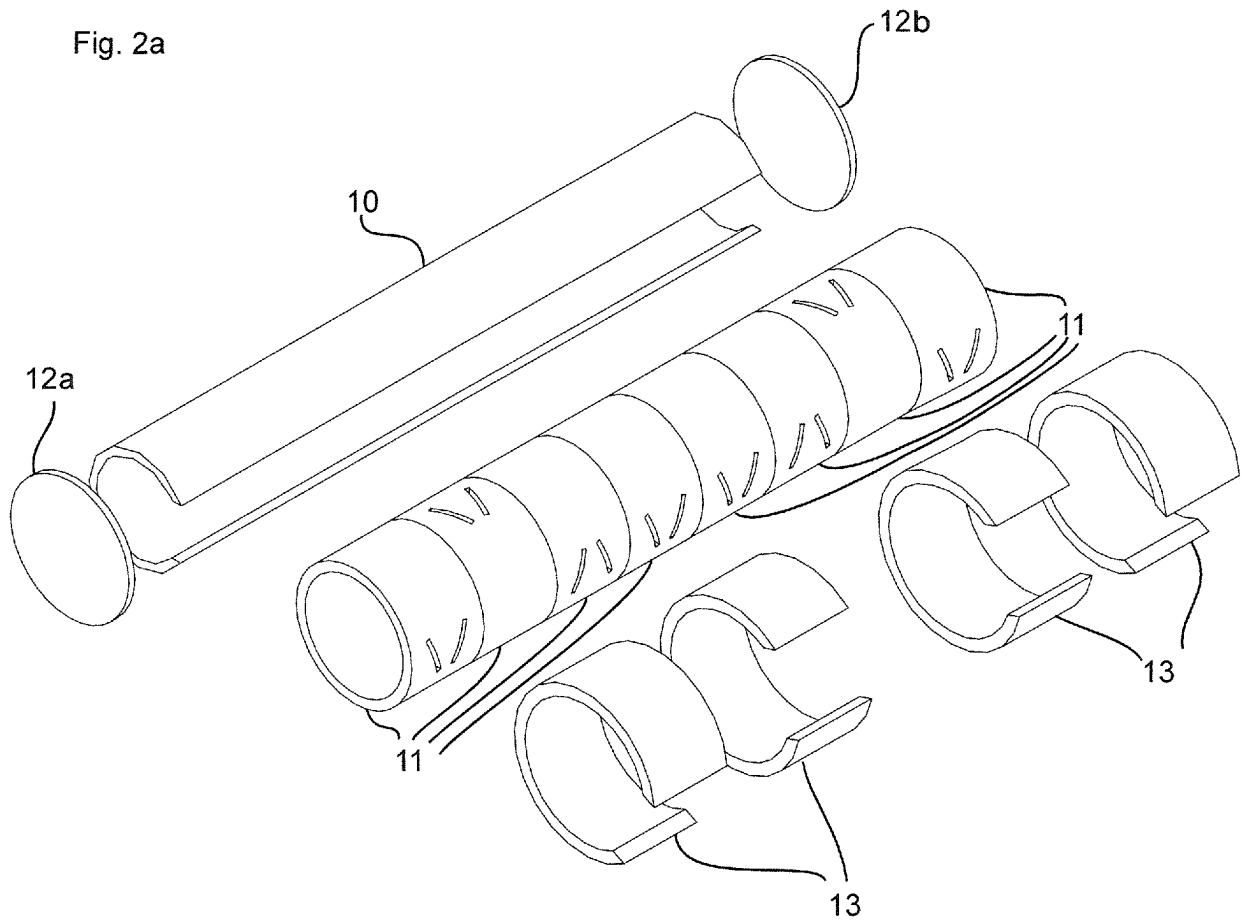


Fig. 2b

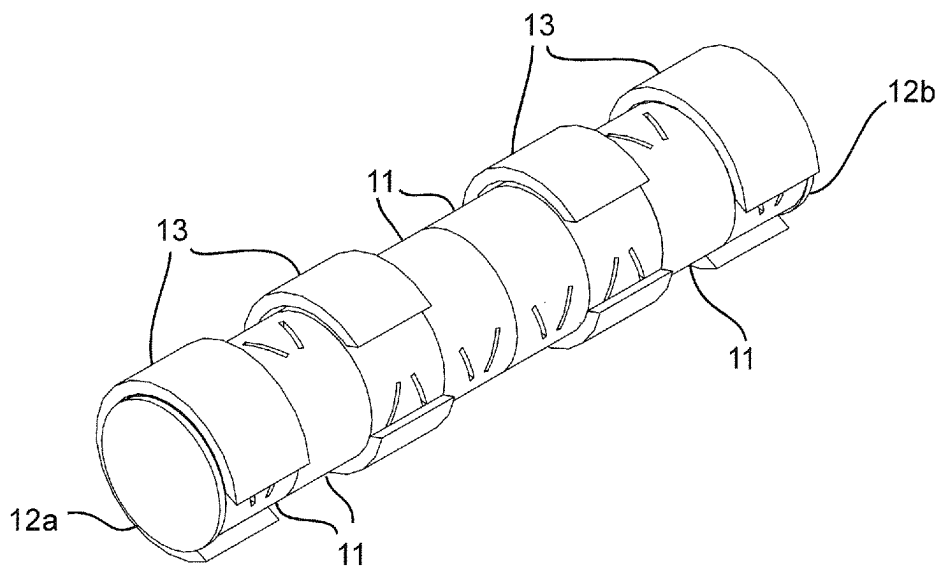


Fig. 3a

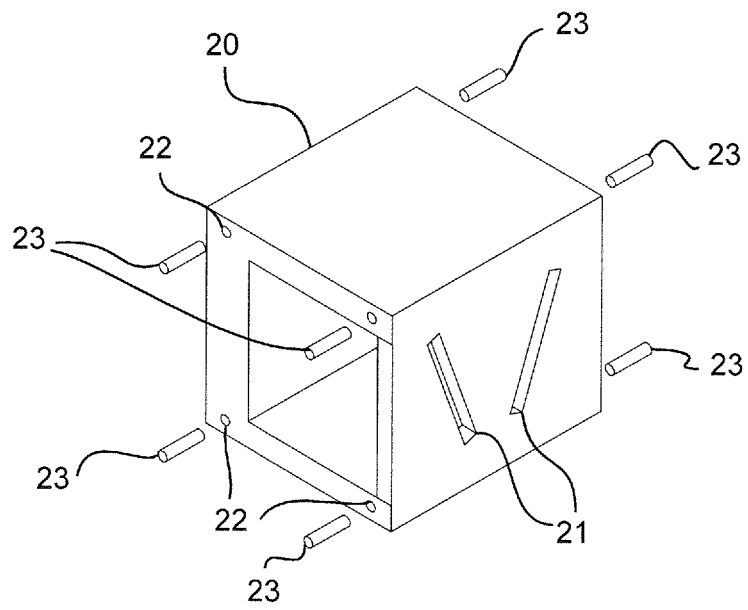


Fig. 3b

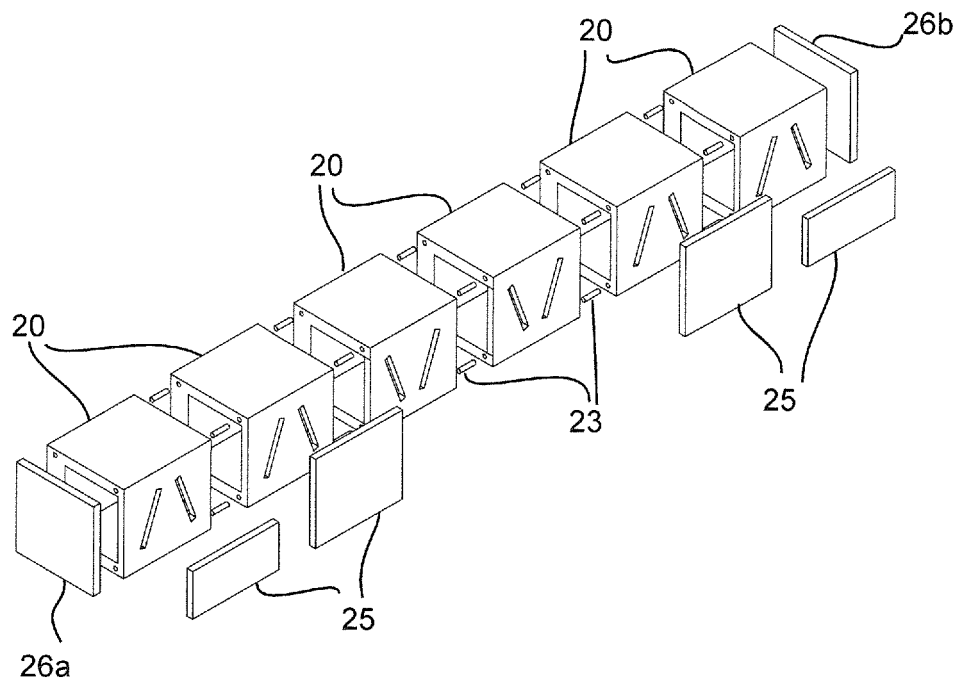


Fig. 4a

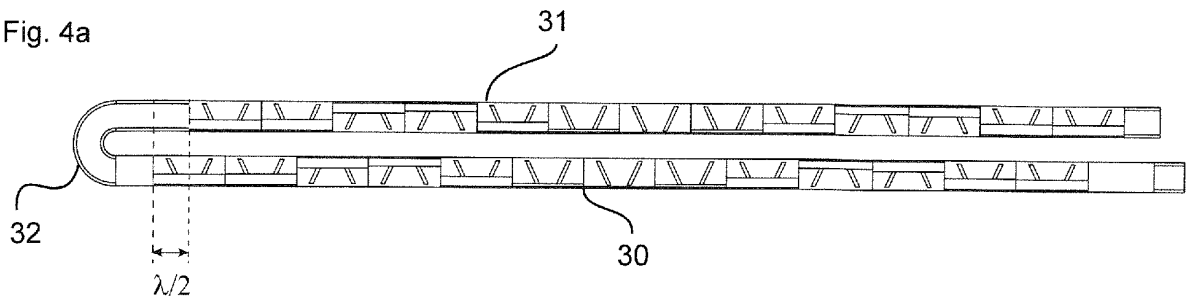


Fig 4b

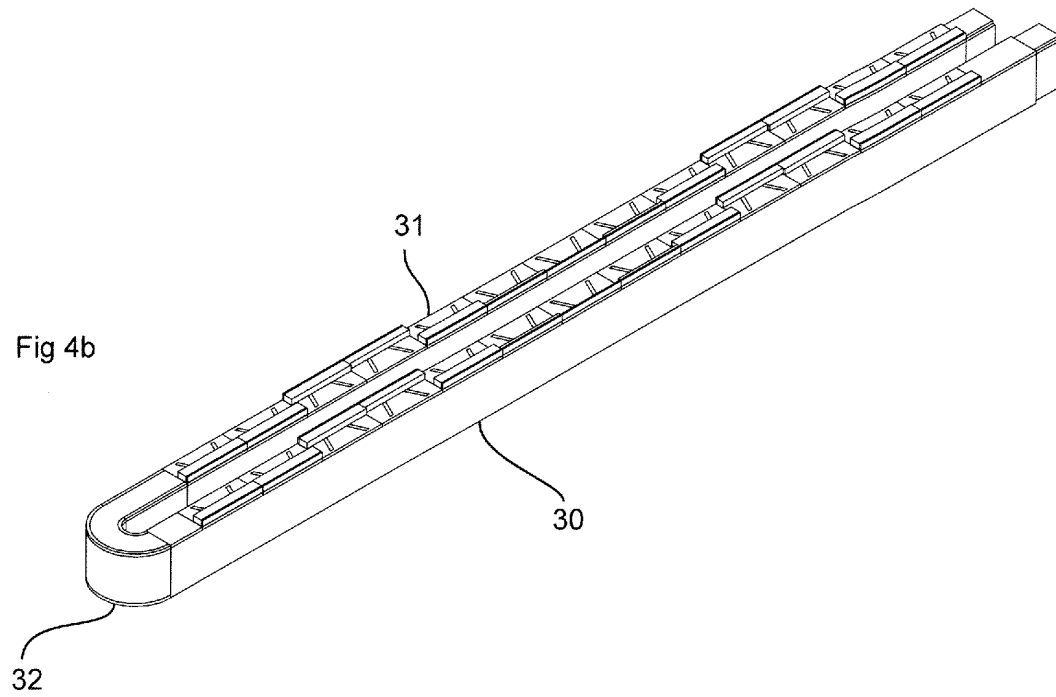


Fig. 5

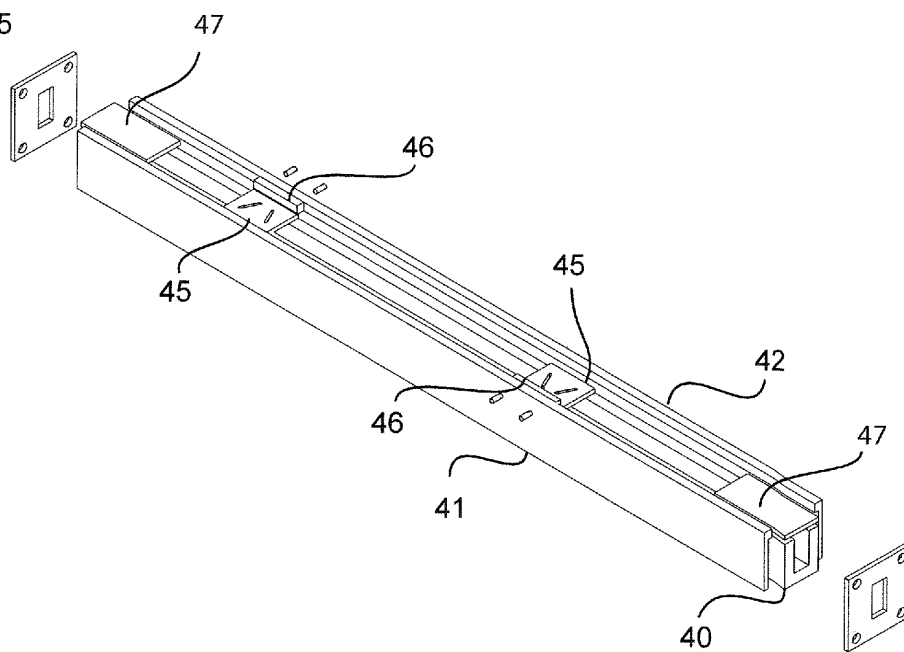


Fig. 6a

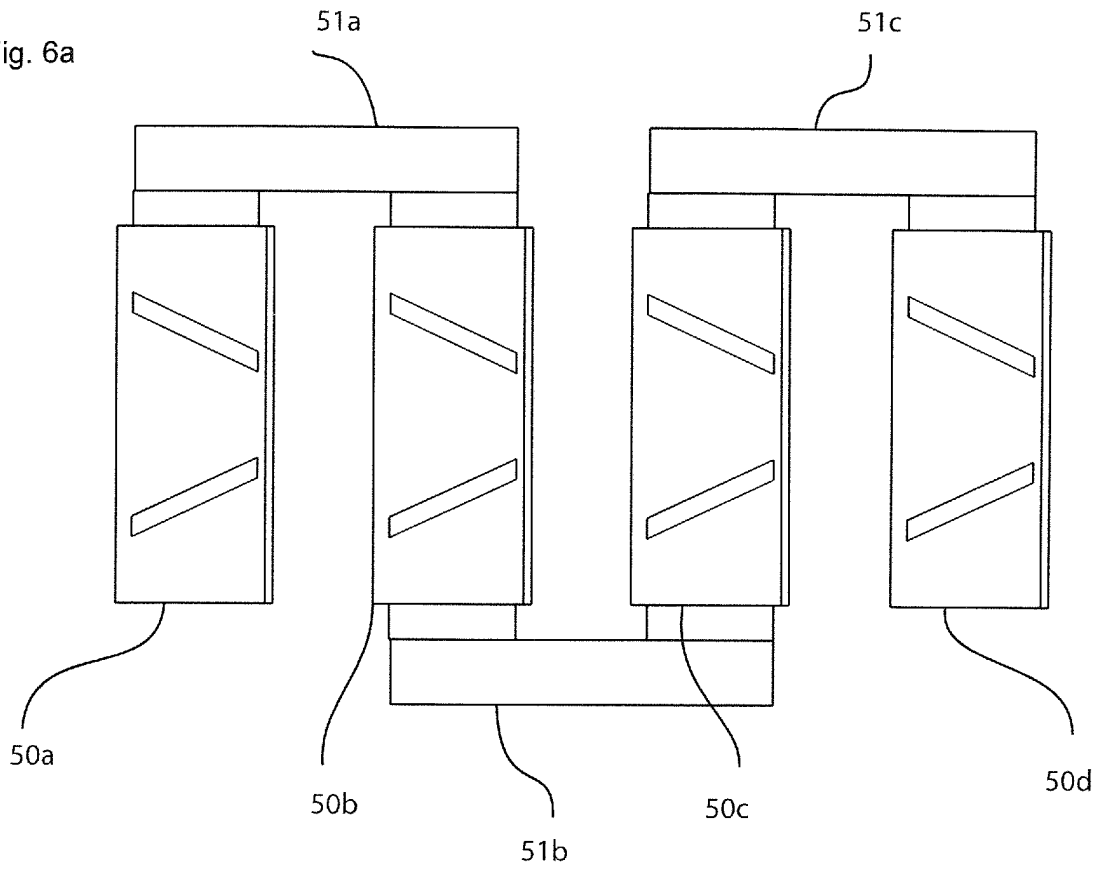


Fig. 6b

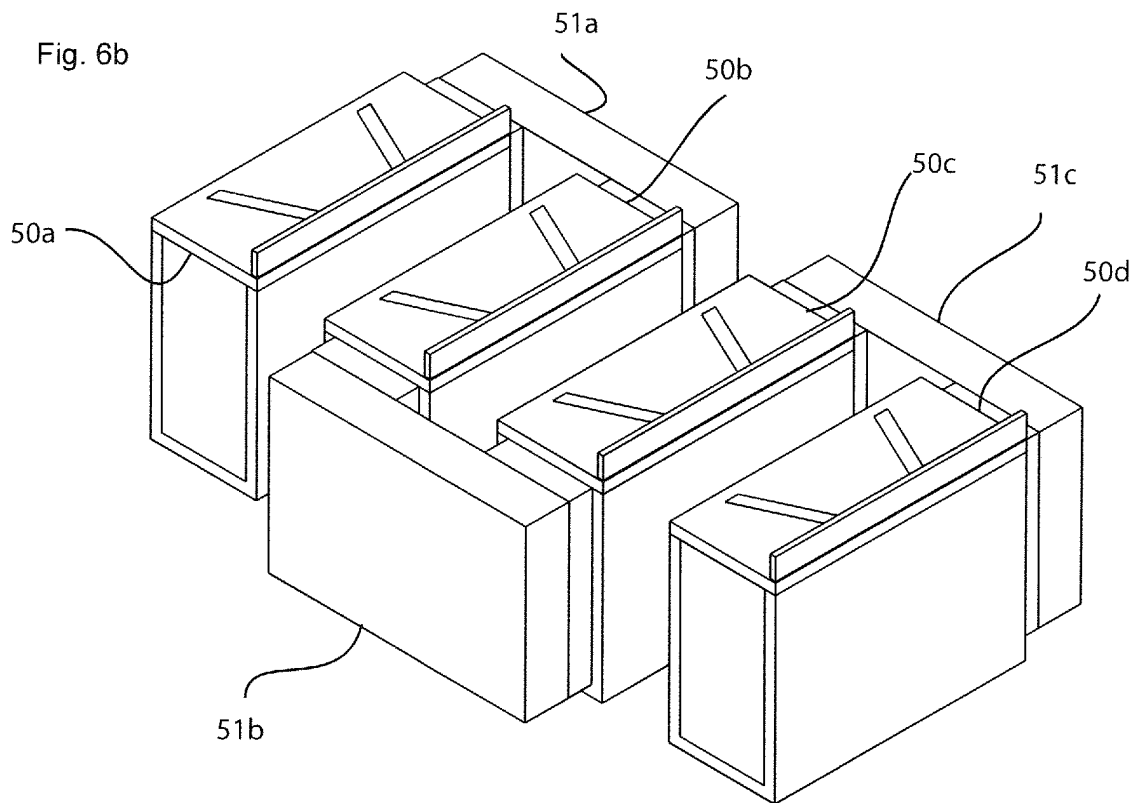


Fig. 7a

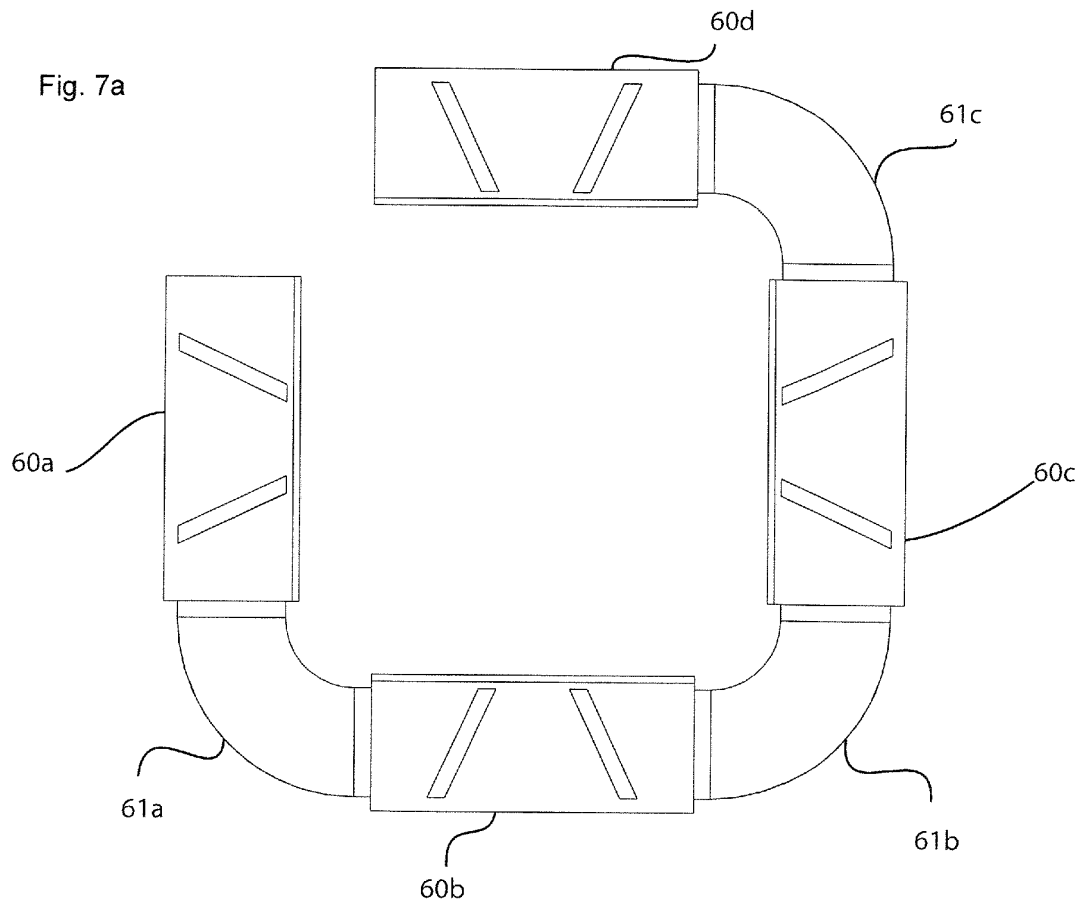
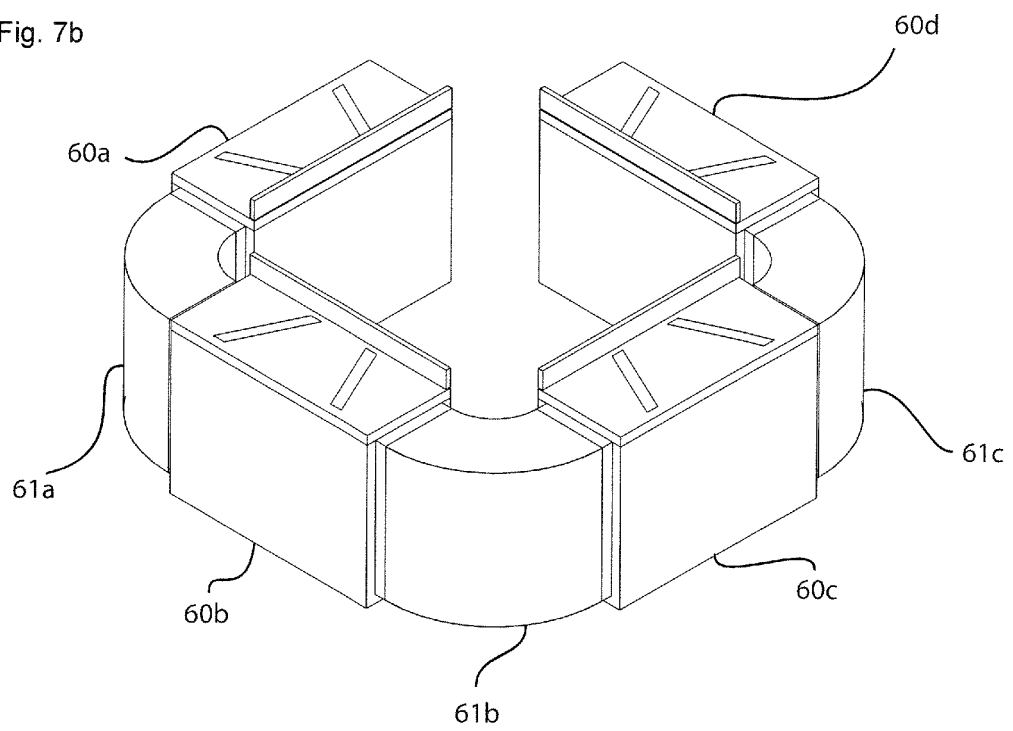


Fig. 7b



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102006057144 A1 [0002]
- DE 10126469 A1 [0003]
- US 7355555 B [0004]
- US 5726666 A [0005]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **J.D. KRAUS.** Antennas. McGraw-Hill, 1988, 628 [0006]
- **R. GEISE ; J. SCHUEUER ; L. THIELE ; K. NOTTE ; T. BECKERS ; A. ENDERS.** A slotted waveguide set-up as scaled instrument-landing-system for measuring scattering of an A380 and large objects. *EUCAP*, April 2010, vol. 2010, 12-16 [0007]
- **R. GEISE.** Skalierte Messungen zu bistatischen Radarquerschnitten und Landekursverfälschungen des ILS. Cuvillier Verlag [0008]