

(19)



(11)

**EP 2 830 156 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**28.01.2015 Patentblatt 2015/05**

(51) Int Cl.:  
**H01Q 13/20 (2006.01) H01Q 21/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **14002534.7**

(22) Anmeldetag: **22.07.2014**

(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**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(71) Anmelder: **Astrium GmbH**  
**82024 Taufkirchen (DE)**

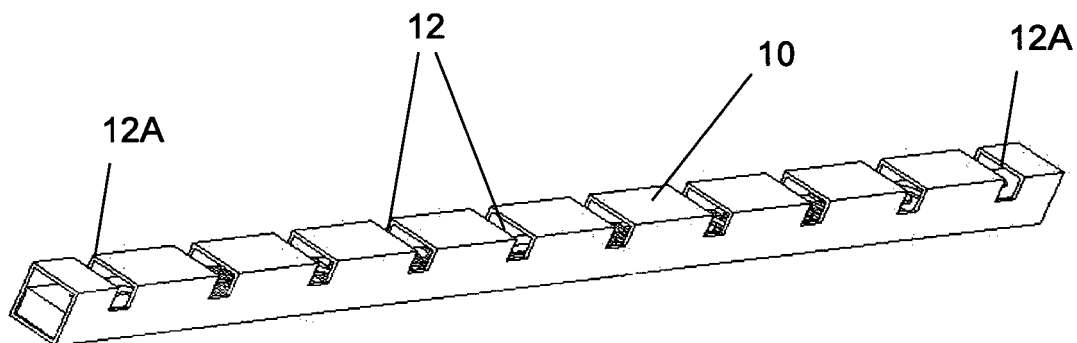
(72) Erfinder:  
• **Römer, Christian**  
**D-88677 Markdorf (DE)**  
• **Herschlein, Alexander**  
**D-76287 Rheinstetten (DE)**

(30) Priorität: **25.07.2013 DE 102013012315**

(54) **Hohlleiter-Strahler, Gruppenantennen-Strahler und Synthetik-Apertur-Radar-Strahler**

(57) Es wird ein Hohlleiter-Strahler beschrieben, der einen geschlitzten Hohlleiter (10; 30) mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter (10; 30) angebrachten transversalen oder longitudinalen Schlitzen (12; 32) und einen in dem Hohlleiter (10; 30) angebrachten zusätzlichen Innenleiter (14; 34) umfasst, wobei der Innenleiter (14; 34)

abhängig von der Ausrichtung der Schlitze (12, 32) derart geformt ist, dass sich eine Speisung nach dem Wanderwellenprinzip ergibt, wobei alle Schlitze (12; 32) des Hohlleiters (10; 30) phasengleich angeregt werden können.



**Fig. 1**

**EP 2 830 156 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Hohlleiter-Strahler mit einem geschlitzten Hohlleiter mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter angebrachten Schlitzen. Die Erfindung betrifft ferner einen Gruppenantennen-Strahler und ein Synthetik-Apertur-Radar-System.

**[0002]** Hohlleiter-Strahler oder Gruppenantennen-Strahler (in der Literatur auch Radiatoren oder Subarrays genannt) werden beispielsweise in Phased Array Antennen von Synthetik-Apertur-Radar (SAR)-Systemen mit einfacher und dualer Polarisierung eingesetzt. Bisher werden als Strahler sogenannte Microstrip-Patch-Antennen oder geschlitzte Hohlleiterantennen verwendet.

**[0003]** Microstrip-Patch-Antennen weisen hohe elektrische Verluste auf und sind durch ihr elektrisches Speisetzwerk nicht effizient in größeren Strahlerlängen als ca. sieben Wellenlängen realisierbar (im X-Band ca. 20 cm). Im Falle einer aktiven Antenne mit verteilter Erzeugung der HF-Sendeleistung durch sog. T/R-Module (Sende- / Empfangsmodule) kommt die Problematik hinzu, die Wärme der aktiven Module, die auf der Rückseite der Strahler angebracht sind, nach vorne abzuführen.

**[0004]** Die geschlitzten Hohlleiterantennen hingegen sind durch ihr elektrisch resonantes Verhalten in der erzielbaren relativen Bandbreite limitiert (<5%). Außerdem erfordern sie eine hohe Fertigungsgenauigkeit und sind als dual polarisierte Gruppenstrahler nur sehr kostenaufwendig herstellbar. Nach dem Stand der Technik angewandte Konzepte sind Hohlleiter mit Innenstegen und longitudinalen Schlitzen für die vertikale Polarisierung sowie Rechteckhohlleitern mit schräg eingebrachten Drähten und transversalen Schlitzen für die horizontale Polarisierung. Hierbei sind auch die notwendigen Übergänge der angeschlossenen Koaxialkabel in die Hohlleiter problematisch.

**[0005]** Aus der DE 10 2006 057 144 A1 ist ein Hohlleiter-Strahler bekannt, der einen geschlitzten Hohlleiter umfasst, in dem ein zusätzlicher Innenleiter, eine sogenannte Barline, angebracht ist. Dieser Innenleiter ist polarisationsabhängig speziell geformt, um alle Schlitze des Hohlleiters phasengleich anzuregen. Im Gegensatz zu herkömmlichen geschlitzten Hohlleitern sind die Ausbreitungsmoden nicht mehr dispersiv, sondern entsprechen denen in Koaxialleitungen, d. h. TEM-Moden. Hierdurch kann sich die Bandbreite erhöhen. Außerdem können die Querschnitte der Hohlleiter erheblich in ihrer Größe reduziert werden, da bei TEM-Moden keine untere Grenzfrequenz (sog. Cutoff) existiert. Die Einkopplung kann durch einen direkten Koaxialübergang erfolgen, der mechanisch sehr einfach zu realisieren ist, beispielsweise durch handelsübliche SMA-Einbaubuchsen.

**[0006]** Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Hohlleiter-Strahler anzugeben, der funktional und/oder baulich verbessert ist. Der Hohlleiter-Strahler soll breitbandig, effizient und kostengünstig herstellbar sein, so dass aus diesem eine planare Gruppenantenne aufgebaut werden kann, die u. a. in raum- oder flugzeuggestützten Synthe-

tik-Apertur-Radar (SAR)-Systemen eingesetzt werden kann.

**[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Hohlleiter-Strahler gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1, einen Gruppenantennen-Strahler gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 12 sowie ein Synthetik-Apertur-Radar-System gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 16. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

**[0008]** Diese Aufgabe wird durch einen Hohlleiter-Strahler gelöst, der einen geschlitzten Hohlleiter (Wellenleiter) mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter angebrachten transversalen oder longitudinalen Schlitzen umfasst. Weist der Hohlleiter transversale Schlitze auf, entspricht die Richtung der abgestrahlten Polarisierung des Hohlleiters der Längsrichtung des Hohlleiters. Weist der geschlitzte Hohlleiter longitudinale Schlitze auf, entspricht die Richtung der abgestrahlten Polarisierung des Hohlleiters der Querrichtung des Hohlleiters. Je nach Ausrichtung der Schlitze, können somit entweder horizontal oder vertikal polarisierte Wellen abgestrahlt werden. Der in dem Hohlleiter angebrachte zusätzliche Innenleiter ist abhängig von der Ausrichtung der Schlitze derart geformt, dass sich eine Speisung nach dem Wanderwellenprinzip ergibt, wobei alle Schlitze des Hohlleiters phasengleich angeregt werden können.

**[0009]** Durch den im Innenraum des geschlitzten Hohlleiters befindlichen Innenleiter (sog. Barline) wird ein dispersionsfreier, transversal elektrisch magnetischer Ausbreitungsmodus unterstützt (TEM-Mode). Der Innenleiter ist polarisationsabhängig speziell geformt, um entweder longitudinale oder transversale Schlitze anregen zu können. Der vorgeschlagene Hohlleiter-Strahler zeichnet sich gegenüber dem in der DE 10 2006 057 144 A1 beschriebenen Hohlleiter-Strahler durch eine nochmals deutlich höhere Bandbreite aus.

**[0010]** Zur Befestigung des Innenleiters wird eine Schicht aus dielektrischem Material in dem Hohlleiter angebracht, auf dessen Oberseite der Innenleiter montiert ist, beispielsweise durch eine Klebung.

**[0011]** Die Höhe bzw. Dicke der dielektrischen Schicht ist entlang des Hohlleiters nicht gleichmäßig, sondern weist einen individuell geformten Höhenverlauf auf. Durch den Höhenverlauf und die Form des Innenleiters kann die Amplitude und Phase der elektrischen Feldstärke in den Schlitzen entlang des Wellenleiters gezielt beeinflusst werden, so dass sich beliebige Aperturbelegungen realisieren lassen, beispielsweise um Nebenmaxima im Antennendiagramm unterhalb eines vorgegebenen Werts zu unterdrücken. Auf gleiche Weise lässt sich auch eine homogene Amplituden- und Phasenbelegung entlang des Wellenleiters erzielen, beispielsweise um den Antennengewinn zu maximieren und die Halbwertsbreite zu minimieren.

**[0012]** Jeder Schlitz des Hohlleiter-Strahlers kann individuelle geometrische Abmessungen aufweisen. Es versteht sich, dass dabei der Hohlleiter-Strahler jedoch entweder nur longitudinale oder transversale Schlitze

aufweist.

**[0013]** Die spezielle Form des Innenleiters setzt sich zusammen aus sich wiederholenden Abschnitten ähnlicher Geometrie entlang des Hohlleiters. Die Länge dieser Abschnitte ist dabei identisch mit dem Abstand benachbarter Schlitze entlang des Hohlleiters. Der zusätzliche Innenleiter kann aus, insbesondere abwechselnd angeordneten, geraden und gewundenen Leiterabschnitten gebildet sein.

**[0014]** Eine Ausprägung gegenüber der resonanten Speisung mit stehender Welle ist ein zusätzlicher Viertelwellentransformator, der sich in jedem der sich wiederholenden Abschnitte befindet. Dieser Viertelwellentransformator wird realisiert durch eine Verjüngung des Innenleiters, d.h. eine Reduktion der Leiterbreite. Die Länge dieser Verjüngung bzw. Leiterbreitenreduktion wird vorzugsweise so gewählt, dass sie einer elektrischen Weglänge von genau dem Viertel einer Leitungswellenlänge entspricht. Die Reduktion der Leiterbreite bewirkt eine Erhöhung des Wellenwiderstandes entlang des verjüngten Abschnitts. Durch die so realisierten Viertelwellentransformatoren werden die Reflexionsstellen ausgeglichen, die sich ansonsten an diesen Positionen ergeben würden.

**[0015]** Der Innenleiter kann im Bereich der Enden des Hohlleiters einen geraden Abschnitt als offene Stichleitung aufweisen.

**[0016]** Während der in der DE 10 2006 057 144 A1 beschriebene Strahler eine Speisung mit stehender Welle einsetzt, kommt in dem erfindungsgemäßen Hohlleiter eine sog. Wanderwellenspeisung zum Einsatz.

**[0017]** Eine Einkopplung eines Signals kann in der Mitte des Hohlleiter-Strahlers durch einen galvanisch gekoppelten Koaxialübergang erfolgen, bei dem der Innenleiter eines angeschlossenen Koaxialkabels (z.B. über SMA, SMP Verbindung) direkt mit dem Einspeisepunkt des Innenleiters verbunden ist. Der Außenleiter des angeschlossenen Koaxialkabels ist direkt mit der Wandung des Wellenleiters verbunden.

**[0018]** Der Einspeisepunkt kann in Querrichtung geringfügig verschoben sein, um somit den Übergang auf eine auf der Rückseite des Strahlers angebrachte Platine an einer geeigneten Stelle zu ermöglichen.

**[0019]** Bei einem geschlitzten Hohlleiter mit transversalen Schlitzen kann der Einspeisepunkt des Hohlleiters gegenüber dem geometrischen Mittelpunkt des Hohlleiters in Längsrichtung verschoben sein. Die Verschiebung kann in einer konkreten Realisierung ca. 6 bis 7 mm betragen, wobei diese von der Wellenlänge bzw. Frequenz des zu erzeugenden Signals abhängig ist.

**[0020]** In einer weiteren Ausgestaltung eines geschlitzten Hohlleiters mit transversalen Schlitzen kann der Einspeisepunkt des Hohlleiters derart in dem Hohlleiter angeordnet sein, dass die elektrische Phasenlage an den Positionen aller Schlitze bei Mittenfrequenz identisch ist.

**[0021]** Bei einem geschlitzten Hohlleiter mit longitudinalen Schlitzen weist der zusätzliche Innenleiter einen

Einspeisepunkt auf, der in Längsrichtung des geschlitzten Hohlleiters im geometrischen Mittelpunkt angeordnet ist. Es kann weiter vorgesehen sein, dass der geschlitzte Hohlleiter mit dem zusätzlichen Innenleiter spiegelsymmetrisch um den Einspeisepunkt ausgebildet ist.

**[0022]** Insgesamt wird erreicht, dass die am Einspeisepunkt des Strahlers eingespeiste Welle in der Mitte des Strahlers sich reflexionsfrei bis zu den Enden des Innenleiters ausbreiten kann.

**[0023]** Die Erfindung hat den Vorteil, dass im Gegensatz zur resonanten Speisung deutlich höhere Bandbreiten realisiert werden können. Die in der DE 10 2006 057 144 A1 genannten Vorteile zu herkömmlichen geschlitzten Hohlleitern bleiben alle ohne Abstriche erhalten, wie z.B. keine Dispersion, Größenreduktion des Querschnitts, keine untere Grenzfrequenz, Robustheit gegenüber Fertigungstoleranzen, größer mögliche Strahlerlängen, geringe Herstellungskosten, kurze Fertigungszeiten, unproblematischer Übergang auf Koaxialkabel, hohe Leistungen einspeisbar, niedrige ohmsche Verluste, hohe kreuzpolare Unterdrückung.

**[0024]** Die Entwicklung der Hohlleiter-Strahler, insbesondere die Bestimmung der exakten geometrischen Abmessungen des Innenleiters und der Schlitze erfolgt mittels elektromagnetischer Simulationsverfahren. Näherungsweise kann das Verhalten des hier beschriebenen Strahlers auch durch Netzwerkmodelle mit geeigneten Ersatzschaltbildern beschrieben werden. Diese Modelle werden üblicherweise in einem ersten Schritt herangezogen, um die Größen der im Ersatzschaltbild vorhandenen Elemente zu optimieren. Im zweiten Schritt werden diese Größen dann in geeignete geometrische Parameter übersetzt. Hierzu können kommerziell verfügbare Softwarepakete angewendet werden, die durch Vollwellenanalyse das elektromagnetische Verhalten der tatsächlichen Geometrie (3D-Modelle) berechnen.

**[0025]** Ein erfindungsgemäßer Gruppenantennen-Strahler umfasst einen oder mehrere geschlitzte Hohlleiter mit transversalen Schlitzen und einen oder mehrere geschlitzte Hohlleiter mit longitudinalen Schlitzen der oben beschriebenen Art. Die geschlitzten Hohlleiter können in einer Ausgestaltung in Querrichtung nebeneinander angeordnet sein, wobei abwechselnd ein Hohlleiter mit transversalen Schlitzen und ein Hohlleiter mit longitudinalen Schlitzen nebeneinander liegen. Hierbei weisen die Hohlleiter, d.h. alle Hohlleiter, vorzugsweise eine identische Länge auf.

**[0026]** Die Hohlleiter mit transversalen Schlitzen können gegenüber den Hohlleitern mit longitudinalen Schlitzen nach oben versetzt sein, so dass eine stufenartige Struktur des Gruppenantennen-Strahlers gegeben ist. Oben ist dabei diejenige Seite eines jeweiligen Hohlleiter-Strahlers, auf der die Hohlleiter die Schlitze aufweisen.

**[0027]** Ein Synthetik-Apertur-Radarsystem, insbesondere ein hochauflösendes Synthetik-Apertur-Radarsystem umfasst wenigstens einen Gruppenantennen-Strahler der oben beschriebenen Art.

**[0028]** Die Erfindung wird nachfolgend näher anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Hohlleiter-Strahlers mit transversalen Schlitten;
- Fig. 2 einen Höhenverlauf einer im Inneren des Hohlleiters aus Fig. 1 angeordneten dielektrischen Schicht;
- Fig. 3 eine Darstellung der Form des Innenleiters (Barline) in dem Hohlleiter-Strahler mit transversalen Schlitten aus Fig. 1;
- Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung des mittleren Bereichs des Innenleiters aus Fig. 3;
- Fig. 5 eine vergrößerte Darstellung des Bereichs der Enden des Innenleiters aus Fig. 3;
- Fig. 6 eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Hohlleiter-Strahlers mit longitudinalen Schlitten;
- Fig. 7 einen Höhenverlauf einer im Inneren des Hohlleiters aus Fig. 6 angeordneten dielektrischen Schicht;
- Fig. 8 eine Darstellung der Form des Innenleiters (Barline) in dem Hohlleiter-Strahler mit longitudinalen Schlitten aus Fig. 6;
- Fig. 9 eine vergrößerte Darstellung des mittleren Bereich des Innenleiters aus Fig. 8;
- Fig. 10 eine vergrößerte Darstellung des Bereichs der Enden des Innenleiters aus Fig. 8;
- Fig. 11 einen dual polarisierten Gruppenantennen-Strahler aus einer Kombination von Hohlleitern mit transversalen Schlitten und Hohlleitern mit longitudinalen Schlitten;
- Fig. 12 eine graphische Darstellung der insgesamt im Strahler auftretenden elektrischen Verluste in dB gegenüber einer idealen Apertur gleicher Größe;
- Fig. 13 eine graphische Darstellung der Anpassung in dB;
- Fig. 14 eine graphische Darstellung der Abstrahlungseigenschaften in dB (Antennendiagramm) eines Strahlers mit Wanderwellenspeisung; und

Fig. 15 eine graphische Darstellung der Abstrahlungseigenschaften in dB (Antennendiagramm) eines Strahlers mit resonanter Speisung und stehender Welle.

**[0029]** Die im Folgenden angegebenen absoluten Werte und Maßangaben sind nur beispielhafte Werte und stellen keine Einschränkung der Erfindung auf derartige Dimensionen dar. Die Darstellungen zeigen die Erfindung lediglich schematisch und sind insbesondere nicht als maßstabsgerecht zu betrachten.

**[0030]** Nachfolgend wird der Aufbau eines erfindungsgemäßen Hohlleiter-Strahlers (kurz: Strahler) mit einem geschlitzten Hohlleiter (nachfolgend als Wellenleiter 10, 30 bezeichnet) und einem in dem Wellenleiter 10, 30 angeordneten Innenleiter 14, 34 beschrieben. Es wird dabei zwischen geschlitzten Wellenleitern 10, 30 mit transversalen Schlitten 12 (Fig. 1) und longitudinalen Schlitten 32 (Fig. 6) unterschieden, bei denen sich die Form des verwendeten Innenleiters 14 und 34 unterscheidet. Die genaue Ausgestaltung des Innenleiters 14 für den Wellenleiter 10 mit transversalen Schlitten 12 ist in den Fig. 3 bis 5 dargestellt. Die genaue Ausgestaltung des Innenleiters 34 für den Wellenleiter 30 mit transversalen Schlitten 32 ist in den Fig. 8 bis 10 dargestellt.

**[0031]** Die nachfolgend angegebenen geometrischen Abmessungen beziehen sich auf eine beispielhafte Ausführung im X-Band bei einer Mittenfrequenz von 9.6GHz. Der hier beschriebene Strahler kann ohne weiteres auch für hiervon abweichende Mittenfrequenzen ausgelegt werden. Die Größenabmessungen skalieren sich in diesem Fall über das Verhältnis der entsprechenden Wellenlängen.

**[0032]** Die Wellenleiter 10, 30 sind aus herkömmlichen rechteckigen Hohlleitern gebildet, in die transversale Schlitte 12 bzw. longitudinale Schlitte 32 eingebracht sind. Das Innere der Wellenleiter 10, 30 ist mit einem dielektrischen Material gefüllt. Die dielektrische Schicht 24, 44 ist in den Fig. 2 und 7 dargestellt. Während Strahler nach Stand der Technik eine konstante Schichtdicke aufweisen, weisen die dielektrischen Schichten 24, 44 der Erfindung in Längserstreckung des Wellenleiters eine variable Höhe bzw. Dicke auf.

**[0033]** Die Wahl des für die dielektrische Schicht verwendeten Materials wird bestimmt durch dessen elektrische Eigenschaften, nämlich der Dielektrizitätszahl und dem Verlustwinkel. Die Dielektrizitätszahl beeinflusst die Ausbreitungsgeschwindigkeit der auf dem Innenleiter laufenden Wanderwelle (Verkürzungsfaktor). Der Abstand zwischen benachbarten Schlitten entlang des Wellenleiters entspricht zur Erzielung einer phasengleichen Anregung genau einer Wellenlänge der Wanderwelle. Zudem ist der Schlitzabstand kleiner als eine Freiraumwellenlänge, um unerwünschte Nebenmaxima zu vermeiden (sog. Grating Lobes). Typischerweise liegt der Schlitzabstand im Bereich des 0,5 bis 0,9 fachen einer Freiraumwellenlänge. Hieraus ergibt sich der Wert der Dielektrizitätszahl, die damit typischerweise im Be-

reich 1,2 bis 3,0 liegt. Der Verlustwinkel sollte dabei möglichst klein sein, um die dielektrischen Verluste so gering wie möglich zu halten, für ein geeignetes Material sollte der Wert kleiner als  $1 \cdot 10^{-3}$  sein.

**[0034]** Die Dicke der dielektrischen Schicht 24, 44 entlang des Wellenleiters weist ein charakteristisches Profil auf. Die Höhe an den Positionen der Schlitze 12, 32 bestimmt den Anteil der ausgekoppelten Leistung der Wanderwelle. Eine größere Höhe resultiert in einer stärkeren Auskopplung, eine geringere Höhe entsprechend umgekehrt.

**[0035]** Das in den Fig. 2 und 7 dargestellte Beispiel zeigt den Fall einer homogenen Anregung aller Schlitze 12, 32. Die Dicke der dielektrischen Schicht 24, 44 nimmt in diesem Fall zu den äußeren Enden des jeweiligen Wellenleiters 10, 30 zu, da aus der abnehmenden Leistung der Wanderwelle ein immer höherer relativer Anteil ausgekoppelt werden muss.

**[0036]** Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden Varianten ist, wie dies aus der nachfolgenden Beschreibung deutlich werden wird, dass die Innenleiter 14, 34 Teilabschnitte mit reduzierter Leiterbreite 18 und 38 (vgl. Fig. 4 und 8) aufweisen. Diese wirken als Transformationsleitungen und verhindern das Auftreten von Reflexionen (stehende Wellen) auf der Leitung.

**[0037]** Im Folgenden werden die Merkmale des Wellenleiters mit transversalen Schlitzen und des Wellenleiters mit longitudinalen Schlitzen getrennt beschrieben:

#### Wellenleiter mit transversalen Schlitzen

**[0038]** Fig. 1 zeigt einen Wellenleiter 10 mit transversalen Schlitzen 12. Die Form des Innenleiters 14 in dem Wellenleiter 10 mit den transversalen Schlitzen 12 ist in Fig. 3 dargestellt. Die Positionen der Schlitze sind in Fig. 3 durch Pfeile gekennzeichnet. Der mittlere Bereich, der einen Einspeisepunkt 16 beinhaltet, ist in Fig. 4 vergrößert dargestellt. Der Einspeisepunkt 16 befindet sich gegenüber dem geometrischen Mittelpunkt in Längsrichtung um ca. 6 mm verschoben. Diese Verschiebung bewirkt eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  der vom Einspeisepunkt 16 ausgehenden Wanderwelle in den rechten und linken Teil des Wellenleiters 10. Auf diese Weise ergibt sich eine phasengleiche Anregung der Schlitze sowohl im rechten als auch im linken Teil des Wellenleiters 10.

**[0039]** Der Innenleiter 14 beginnt unmittelbar am Einspeisepunkt 16 mit Abschnitten 18 (Transformationsleitungen) mit reduzierter Leiterbreite. Diese dienen zur Transformation auf den charakteristischen Wellenwiderstand des angeschlossenen und hier nicht näher dargestellten Koaxialkabels von typischerweise 50 Ohm. Der weitere Verlauf des Innenleiters 14 zu den Enden des Wellenleiters 10 besteht aus geraden Abschnitten 18 mit reduzierter Leiterbreite und gewundenen Abschnitten 20. Die geraden Abschnitte wirken somit als Transformationsleitungen. Die Verwindung der übrigen Abschnitte 20 bewirkt eine Verzögerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wanderwelle in Längsrichtung des

Wellenleiters 10. Eine stärkere Ausprägung der Verwindung bewirkt eine größere Verzögerung und entsprechend umgekehrt. Hiermit kann die Phasendifferenz zwischen benachbarten Schlitzen 12 auf exakt  $360^\circ$  eingestellt werden.

**[0040]** Die Schlitze 12 sind in Querrichtung (transversal) in die äußere Wandung des Wellenleiters 10 geschnitten. Sie ragen in die seitlichen Wände mit einer Schnitttiefe von ca. 4mm ein. Die Breite der Schlitze 12 beträgt ca. 2-3mm. Die Schlitze 12 weisen resonantes Verhalten auf, die Resonanzfrequenz fällt mit der Mittenfrequenz des Strahlers zusammen.

**[0041]** Der äußerste Schlitz 12A an den Enden des Wellenleiters 10 mit dem darunter befindlichen Abschnitt 22 des Innenleiters 14 weist eine Besonderheit auf. Nach Stand der Technik werden in Strahlern mit Wanderwellenprinzip häufig die Enden der Wanderwellenleitung resistiv abgeschlossen. Dies führt zu unerwünschten Verlusten, da die am Ende der Leitung verbleibende Leistung in einem Widerstand dissipiert wird. Bei dem hier vorgestellten Konzept eines Wanderwellenstrahlers mit homogener Anregung aller Schlitze wird die am Ende der Leitung verbleibende Leistung komplett über den äußersten Schlitz abgestrahlt, wodurch zusätzliche Verluste vermieden werden. Hierzu ist das Höhenprofil der dielektrischen Schicht derart ausgelegt, dass die am äußersten Schlitz 12A verbleibende Leistung der an den übrigen Schlitzen ausgekoppelten Leistung entspricht, wodurch unter Einhaltung dieser Randbedingung eine homogene Belegung aller Schlitze 12, 12A erreicht wird. Fig. 5 zeigt hierzu eine vergrößerte Darstellung des Bereichs der Enden des Innenleiters aus Fig. 3, wobei der ungewundene, offene Leitungsabschluss mit dem Abschnitt 22 zu erkennen ist, der die beschriebenen Eigenschaften unterstützt.

#### Wellenleiter mit longitudinalen Schlitzen

**[0042]** Fig. 6 zeigt einen Wellenleiter 30 mit longitudinalen Schlitzen. Die Form des Innenleiters 34 in einem Wellenleiter mit longitudinalen Schlitzen 30 ist in Fig. 8 dargestellt. Der mittlere Bereich, der den Einspeisepunkt 36 beinhaltet ist in Fig. 9 vergrößert dargestellt. Der Einspeisepunkt 36 befindet sich in Längsrichtung gesehen im geometrischen Mittelpunkt. Eine Verschiebung in Längsrichtung, wie bei einem Wellenleiter mit transversalen Schlitzen 10, ist in diesem Fall nicht notwendig, da durch symmetrischen Aufbau der rechten und linken Hälfte des Wellenleiters 30 eine phasengleiche Anregung der Schlitze 32 erzielt werden kann.

**[0043]** Der Innenleiter 34 beginnt unmittelbar am Einspeisepunkt 36 mit Transformationsleitungen mit reduzierter Leiterbreite. Diese dienen zur Transformation auf den charakteristischen Wellenwiderstand des angeschlossenen Koaxialkabels von typischerweise 50 Ohm. Der weitere Verlauf des Innenleiters 34 zu den Enden des Wellenleiters besteht aus geraden Abschnitten 38 und gewundenen Abschnitten 40. Die gewundene Form

der Abschnitte 40 ist so ausgeführt, dass der Innenleiter an den mittleren Positionen der Schlitze 32 in transversaler Richtung verläuft. Dies ist notwendig für eine Ankopplung der longitudinalen Schlitze 32, da hierzu ein Fluss des induzierten Stromes in transversaler Richtung auf der Wandung des Wellenleiters 30 vorhanden sein muss. Die Position der Schlitze ist in Fig. 8 durch Pfeile gekennzeichnet.

**[0044]** Die gewundene Form der Abschnitte 40 bewirkt zusätzlich eine Verzögerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wanderwelle in Längsrichtung des Wellenleiters. Eine stärkere Ausprägung der gewundenen Form bewirkt eine größere Verzögerung und entsprechend umgekehrt. Hiermit kann die Phasendifferenz zwischen benachbarten Schlitzen auf exakt  $360^\circ$  eingestellt werden.

**[0045]** Die Schlitze 32 sind in Längsrichtung (longitudinal) in die äußere Wandung des Wellenleiters 30 geschnitten. Die Schlitze 32 weisen eine Länge von ungefähr einer halben Freiraumwellenlänge auf. Die exakte Länge kann dabei von Schlitz zu Schlitz leicht variieren. Die Breite der Schlitze beträgt ca. 2 mm. Die Schlitze weisen resonantes Verhalten auf, die Resonanzfrequenz fällt mit der Mittenfrequenz des Strahlers zusammen.

**[0046]** Der äußerste Schlitz 32A an den Enden des Wellenleiters 30 mit dem darunter befindlichen Abschnitt 42 des Innenleiters 42 weist eine Besonderheit auf. Nach Stand der Technik werden in Strahlern mit Wanderwellenprinzip häufig die Enden der Wanderwellenleitung resistiv abgeschlossen. Dies führt zu unerwünschten Verlusten, da die am Ende der Leitung verbleibende Leistung in einem Widerstand dissipiert wird. Bei dem hier vorgestellten Konzept eines Wanderwellenstrahlers mit homogener Anregung aller Schlitze 32 wird die am Ende der Leitung verbleibende Leistung komplett über den äußersten Schlitz 32A abgestrahlt, wodurch zusätzliche Verluste vermieden werden. Hierzu ist das Höhenprofil der dielektrischen Schicht 44 derart ausgelegt, dass die am äußersten Schlitz 32A verbleibende Leistung der an den übrigen Schlitzen 32 ausgekoppelten Leistung entspricht, so dass unter Einhaltung dieser Randbedingung kann eine homogene Belegung aller Schlitze 32, 32A erreicht werden. Fig. 10 zeigt eine vergrößerte Darstellung des Bereichs der Enden des Innenleiters aus Fig. 8. Zu erkennen ist der ungewundene, offene Leitungsabschluss mit dem Abschnitt 42 des Innenleiters 34, der die beschriebenen Eigenschaften unterstützt.

#### Dual polarisierte Strahlergruppe

**[0047]** Durch Kombination eines Wellenleiters 10 mit transversalen Schlitzen mit einem Wellenleiter 30 mit longitudinalen Schlitzen lassen sich auf einfache Weise dual polarisierte Strahlergruppen 60 realisieren. Da sich die Breiten der Wellenleiter mit dem hier beschriebenen Strahlerkonzept stark reduzieren lassen (bis zu einem Viertel der Wellenlänge) lassen sich dual polarisierte, elektronisch steuerbare Gruppenantennen mit sehr gro-

ßem Schwenkbereich realisieren ( $>\pm 60^\circ$ ).

**[0048]** Fig. 11 zeigt den Aufbau einer dual polarisierten Strahlergruppe 60 (Gruppenantennen-Strahler). Sie besteht aus einer Zusammensetzung von jeweils abwechselnd einem geschlitzten Wellenleiter 10 mit transversalen Schlitzen 12 und einem Wellenleiter 30 mit longitudinalen Schlitzen 32. Die Wellenleiter 10 mit transversalen Schlitzen 12 sind gegenüber den Wellenleitern 30 mit longitudinalen Schlitzen 32 dabei um ca. 7 mm bis 8 mm nach oben versetzt, so dass eine stufenartige Struktur entsteht.

**[0049]** Der vorgeschlagene Hohlleiter-Strahler zeichnet sich gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Hohlleiter-Strahlern durch eine nochmals deutlich höhere Bandbreite aus. Dies ist in den Figuren 12 bis 15 beispielhaft für einen Strahler der Länge 250 mm für das X-Band dargestellt.

**[0050]** Fig. 12 zeigt eine Darstellung der insgesamt im Strahler auftretenden elektrischen Verluste in dB gegenüber einer idealen Apertur gleicher Größe. Die Kurve mit durchgezogener Linie repräsentiert Verluste des Strahlers mit Wanderwellenspeisung, die Kurve mit gestrichelter Linie repräsentiert Verluste bei resonanter Speisung mit stehender Welle.

**[0051]** Fig. 13 zeigt eine Darstellung der Anpassung in dB, wobei die Kurve mit durchgezogener Linie einem Strahler mit Wanderwellenspeisung und die Kurve mit gestrichelter Linie einem Strahler mit resonanter Speisung (stehende Welle) zuzuordnen ist.

**[0052]** Fig. 14 zeigt eine Darstellung der Abstrahlungseigenschaften in dB (Antennendiagramm) eines Strahlers mit Wanderwellenspeisung, wobei die Kurve mit gestrichelter Linie das Antennendiagramm bei 8,7 GHz, die Kurve mit durchgezogener Linie das Antennendiagramm bei 9,6 GHz (Mittenfrequenz) und die Kurve mit gepunkteter Linie das Antennendiagramm bei 10,5 GHz zeigen.

**[0053]** Fig. 15 zeigt schließlich eine Darstellung der Abstrahlungseigenschaften in dB (Antennendiagramm) eines Strahlers mit resonanter Speisung und stehender Welle, wobei die Kurve mit gestrichelter Linie das Antennendiagramm bei 8,7 GHz, die Kurve mit durchgezogener Linie das Antennendiagramm bei 9,6 GHz (Mittenfrequenz) und die Kurve mit gepunkteter Linie das Antennendiagramm bei 10,5 GHz zeigen.

#### **BEZUGSZEICHENLISTE**

##### **[0054]**

- |    |     |   |
|----|-----|---|
| 50 | 10  | geschlitzter Wellenleiter mit transversalen Schlitzen     |
|    | 12  | transversaler Schlitz                                     |
|    | 12A | transversaler Schlitz am Ende des Wellenleiters           |
|    | 14  | Innenleiter des Wellenleiters mit transversalen Schlitzen |
| 55 | 16  | Speisepunkt des Wellenleiters mit transversalen Schlitzen |
|    | 18  | Transformationsleitungsabschnitt des Innenlei-            |

- ters (Wellenleiter mit transversalen Schlitten)  
 20 gewundener Teilabschnitt des Innenleiters (Wellenleiter mit transversalen Schlitten)  
 22 Endabschnitt des Innenleiters mit offener Stichleitung (Wellenleiter mit transversalen Schlitten)  
 24 dielektrische Schicht des Wellenleiters mit transversalen Schlitten  
 30 geschlitzter Wellenleiter mit longitudinalen Schlitten  
 32 longitudinale Schlitz  
 32A longitudinaler Schlitz am Ende des Wellenleiters  
 34 Innenleiter des Wellenleiters mit longitudinalen Schlitten  
 36 Speisepunkt des Wellenleiters mit longitudinalen Schlitten  
 38 Transformationsleitungsabschnitt des Innenleiters (Wellenleiter mit longitudinalen Schlitten)  
 40 gewundener Teilabschnitt des Innenleiters (Wellenleiter mit longitudinalen Schlitten)  
 42 Endabschnitt des Innenleiters mit offener Stichleitung (Wellenleiter mit longitudinalen Schlitten)  
 44 dielektrische Schicht des Wellenleiters mit longitudinalen Schlitten  
 60 Dual polarisierte Strahlergruppe

### Patentansprüche

#### 1. Hohlleiter-Strahler umfassend

- einen geschlitzten Hohlleiter (10; 30) mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter (10; 30) angebrachten transversalen oder longitudinalen Schlitten (12; 32); und
- einen in dem Hohlleiter (10; 30) angebrachten zusätzlichen Innenleiter (14; 34), der abhängig von der Ausrichtung der Schlitz (12; 32) derart geformt ist, dass sich eine Speisung nach dem Wanderwellenprinzip ergibt, wobei alle Schlitz (12; 32) des Hohlleiters (10; 30) phasengleich angeregt werden können.

2. Hohlleiter-Strahler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der geschlitzte Hohlleiter (10; 30) teilweise mit einem dielektrischen Material (24; 44) gefüllt ist, auf dem der zusätzliche Innenleiter (14; 34) angeordnet ist.
3. Hohlleiter-Strahler nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe des dielektrischen Materials (24; 44) entlang des Hohlleiters (10; 30) zumindest abschnittsweise variiert, um die Amplitudenbelegung der Schlitz (12; 32) entlang des Hohlleiters (10; 30) zu beeinflussen.
4. Hohlleiter-Strahler nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zusätzliche Innenleiter (14; 34) aus, insbesondere abwechselnd

angeordneten, geraden und gewundenen Leiterabschnitten (18; 20; 38; 40) gebildet ist.

5. Hohlleiter-Strahler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zusätzliche Innenleiter (14; 34) Leiterabschnitte (18; 20; 38; 40) umfasst, die gegenüber der übrigen Leitung eine reduzierte Leiterbreite aufweisen und als Transformationsleitungen (18; 38) wirken.
6. Hohlleiter-Strahler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Innenleiter (14; 34) sich aus wiederholenden Leiterabschnitten (18; 20; 38; 40) entlang des Hohlleiters (10; 30) zusammensetzt, wobei die Länge der Leiterabschnitte identisch mit dem Abstand benachbarter Schlitz (12; 32) entlang des Hohlleiters ist.
7. Hohlleiter-Strahler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Innenleiter (14; 34) im Bereich der Enden des Hohlleiters (10; 30) einen geraden Abschnitt als offene Stichleitung (22; 42) aufweist.
8. Hohlleiter-Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem geschlitzten Hohlleiter (10) mit transversalen Schlitten (12) ein Einspeisepunkt (16) des Hohlleiters (10) gegenüber dem geometrischen Mittelpunkt des Hohlleiters in Längsrichtung verschoben ist.
9. Hohlleiter-Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem geschlitzten Hohlleiter (10) mit transversalen Schlitten (12) der Einspeisepunkt (16) des Hohlleiters (10) derart in dem Hohlleiter (10) angeordnet ist, dass die elektrische Phasenlage an den Positionen aller Schlitz (12) bei Mittenfrequenz identisch ist.
10. Hohlleiter-Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei einem geschlitzten Hohlleiter (30) mit longitudinalen Schlitten (32) der zusätzliche Innenleiter (34) einen Einspeisepunkt (36) aufweist, der in Längsrichtung des geschlitzten Hohlleiters (30) im geometrischen Mittelpunkt angeordnet ist.
11. Hohlleiter-Strahler nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der geschlitzte Hohlleiter (30) mit dem zusätzlichen Innenleiter (34) spiegelsymmetrisch um den Einspeisepunkt (36) ausgebildet ist.
12. Gruppenantennen-Strahler, umfassend einen oder mehrere geschlitzte Hohlleiter (10) mit transversalen Schlitten (12) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 und einen oder mehrere geschlitzte Hohlleiter (30) mit longitudinalen Schlitten (32) gemäß einem der

Ansprüche 1 bis 7 sowie 10 oder 11.

13. Gruppenantennen-Strahler nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die geschlitzten Hohlleiter (10; 30) in Querrichtung nebeneinander angeordnet sind, wobei abwechselnd ein Hohlleiter (10) mit transversalen Schlitz (12) und ein Hohlleiter (30) mit longitudinalen Schlitz (32) nebeneinander liegen. 5
- 10
14. Gruppenantennen-Strahler nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlleiter (10; 30) eine identische Länge aufweisen.
15. Gruppenantennen-Strahler nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlleiter (10) mit transversalen Schlitz (12) gegenüber den Hohlleitern (30) mit longitudinalen Schlitz (32) nach oben versetzt sind, so dass eine stufenartige Struktur des Gruppenantennen-Strahlers gegeben ist. 15
- 20
16. Synthetik-Apertur-Radar System, insbesondere hochauflösendes Synthetik-Apertur-Radar System, umfassend einen Gruppenantennen-Strahler (60) nach einem der Ansprüche 12 bis 15. 25

30

35

40

45

50

55



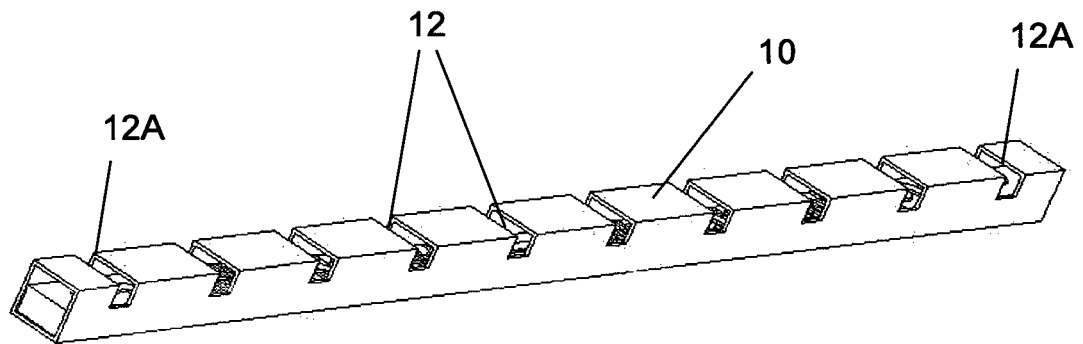


Fig. 1

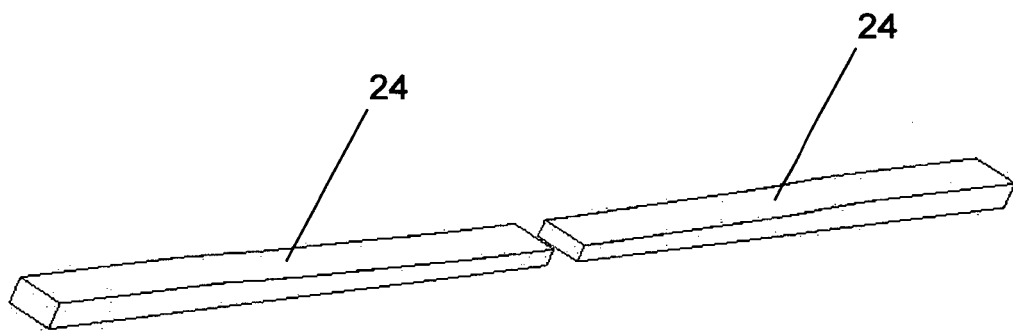


Fig. 2

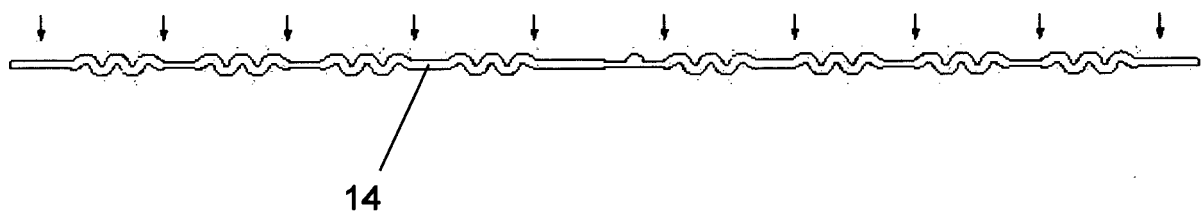


Fig. 3

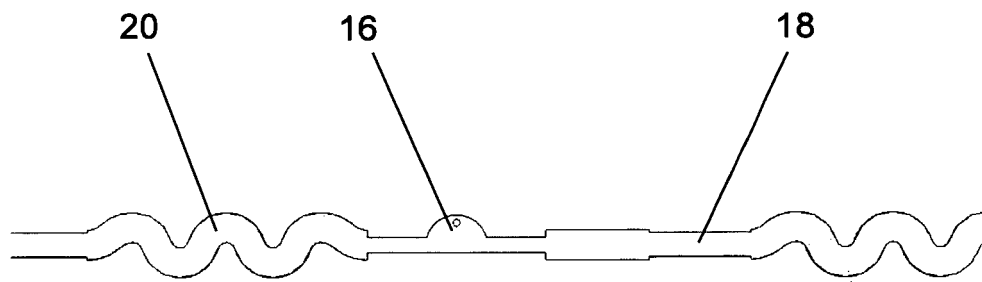


Fig. 4

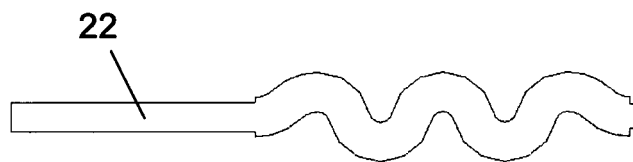


Fig. 5

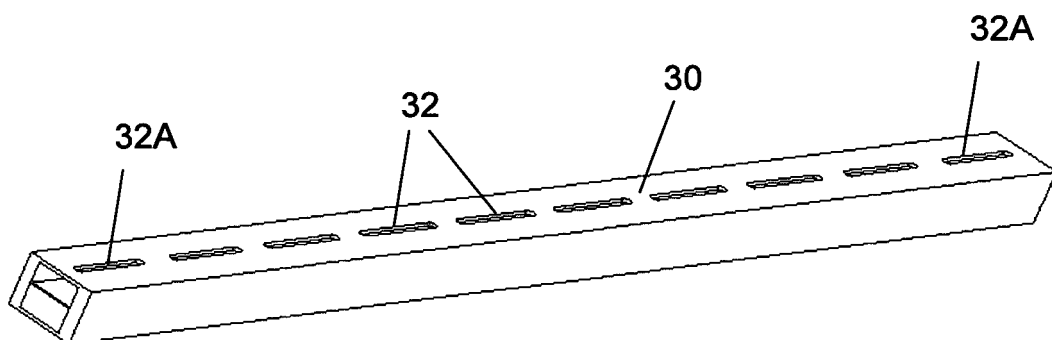


Fig. 6

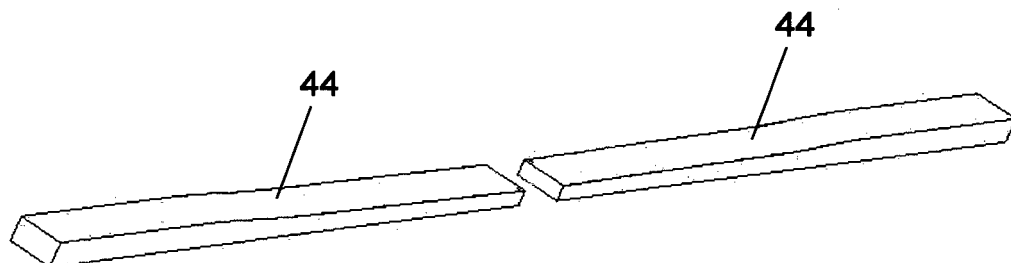


Fig. 7

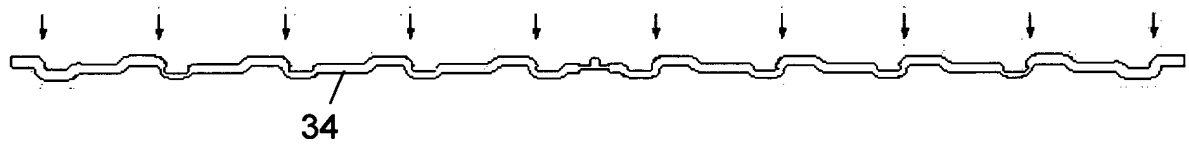


Fig. 8

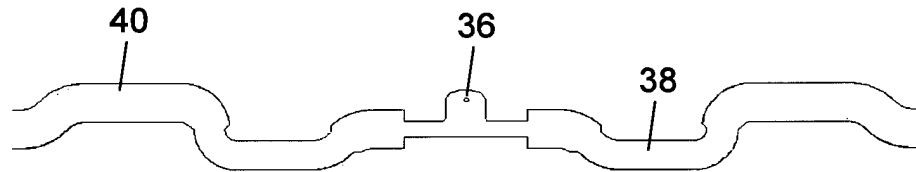


Fig. 9



Fig. 10

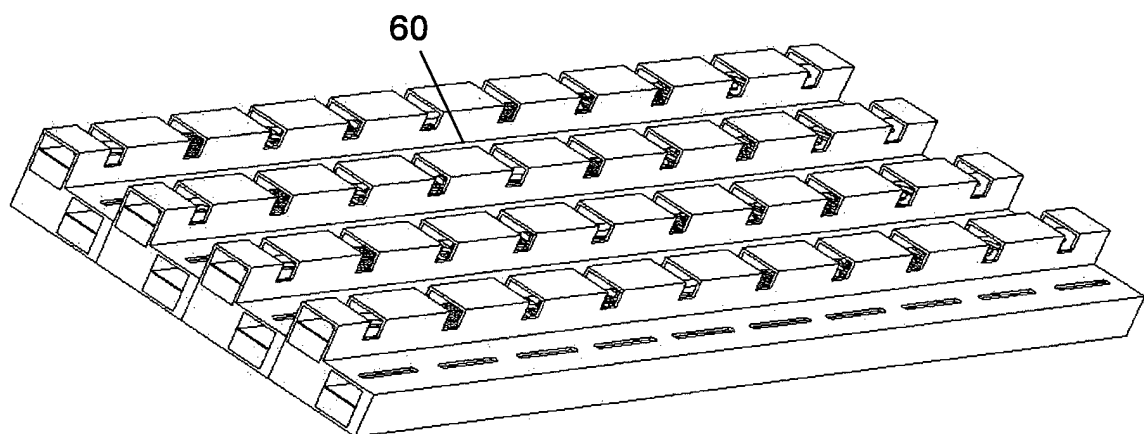


Fig. 11

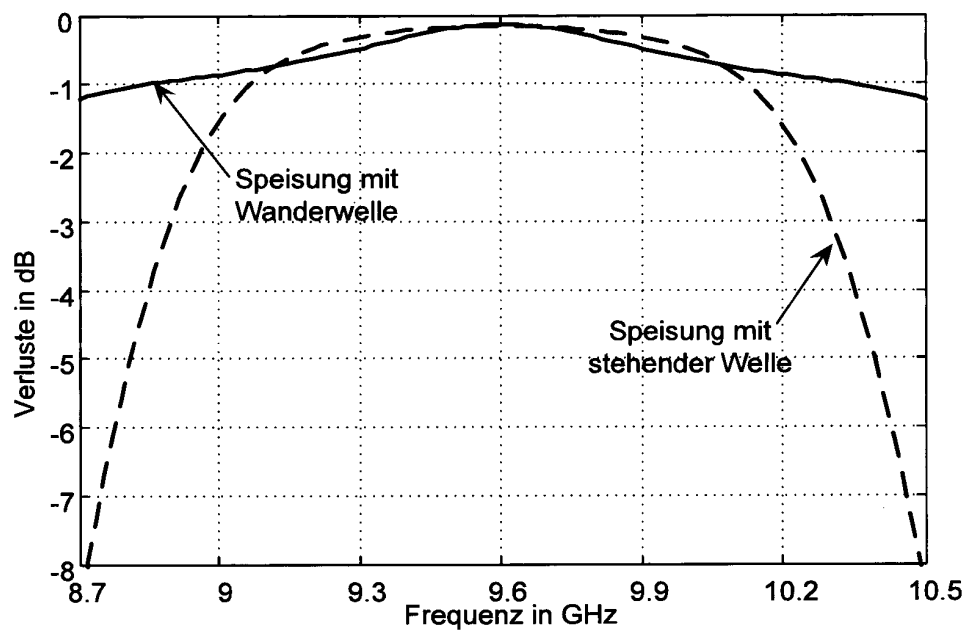


Fig. 12

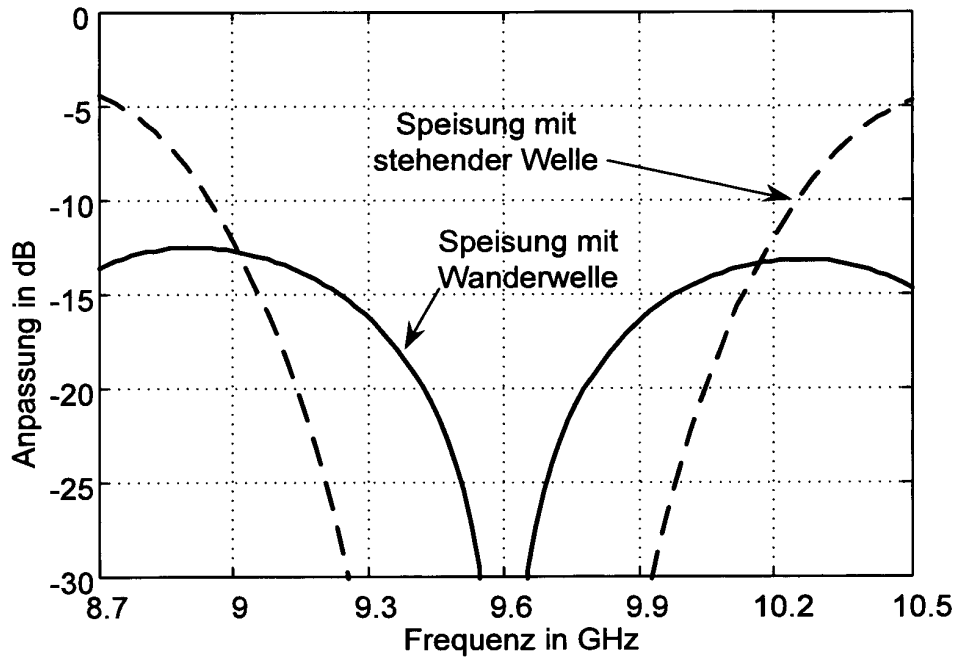


Fig. 13

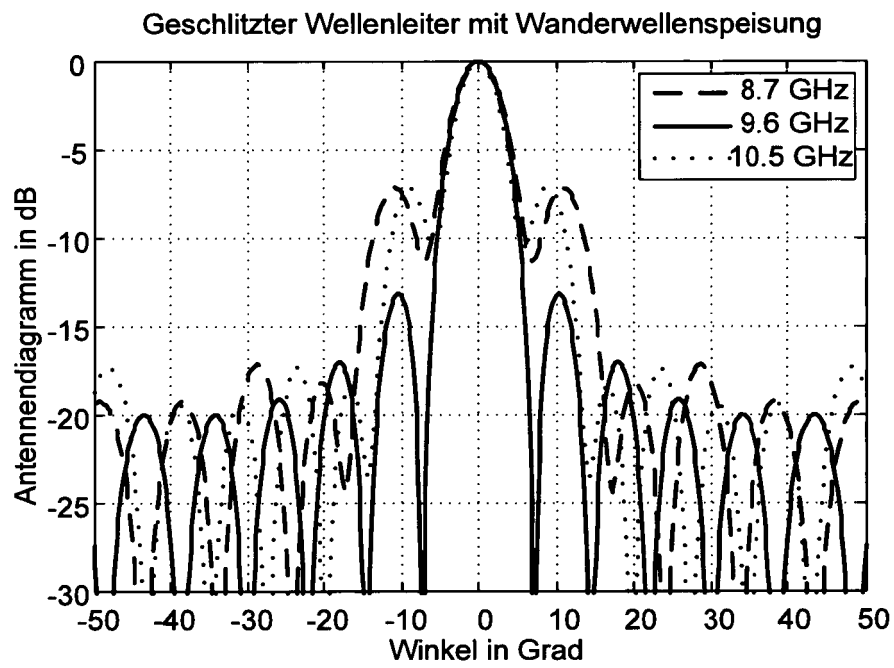


Fig. 14

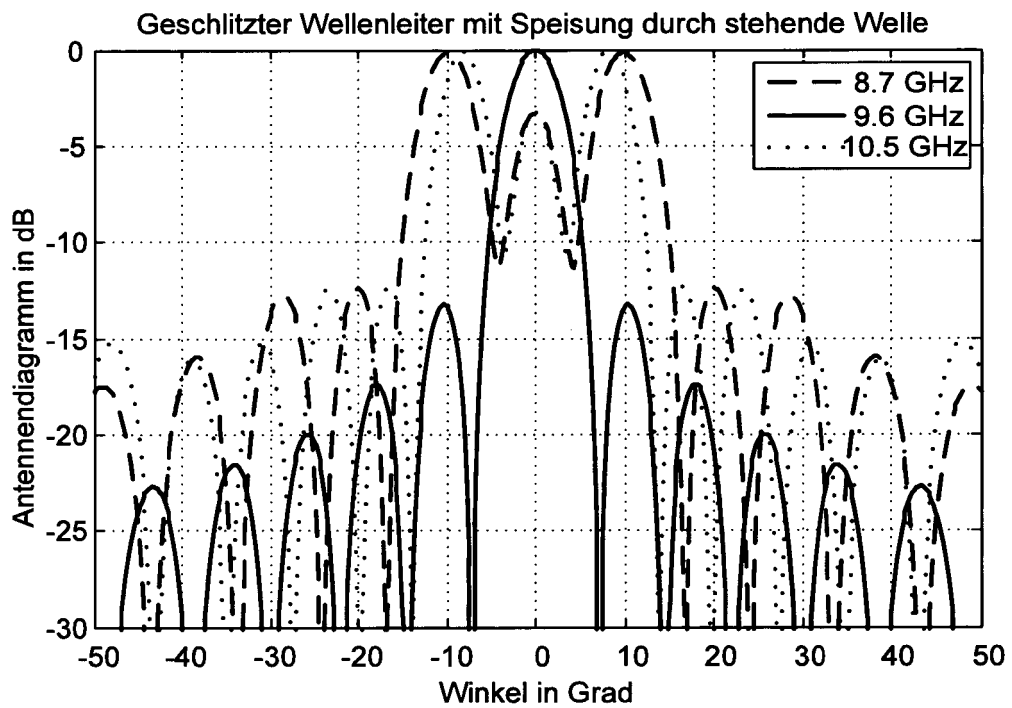


Fig. 15



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 14 00 2534

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CHRISTIAN RÖMER: "Slotted Waveguide Structures in Phased Array Antennas", FORSSCHUNGSBERICHTE AUS DEM INSTITUT FÜR HÖCHSTFREQUENZTECHNIK UN ELEKTRONIK DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE, 29. Februar 2008 (2008-02-29), XP002732697, Karlsruhe ISSN: 0942-2935 * Kapitel 1, 4.3, 5.2, 5.3, 6.1 *	1-16	INV. H01Q13/20 H01Q21/00
X	WO 2008/064655 A1 (ASTRIUM GMBH [DE]; ROEMER CHRISTIAN [DE]) 5. Juni 2008 (2008-06-05) * Abbildungen 1-26 *	1,2,4-16	
Y	----- * Abbildungen 1-26 *	3	
X	SATOSHI YAMAGUCHI ET AL: "Inclined slot array antennas on a rectangular coaxial line", ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), PROCEEDINGS OF THE 5TH EUROPEAN CONFERENCE ON, IEEE, 11. April 2011 (2011-04-11), Seiten 1036-1040, XP031877395, ISBN: 978-1-4577-0250-1 * Seite 1036 - Seite 1040; Abbildungen 2-5 *	1,4-6	
Y	----- * Seite 1036 - Seite 1040; Abbildungen 2-5 *	3	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H01Q
A	----- * Seite 1036 - Seite 1040; Abbildungen 2-5 *	2,7-16	
X	US 2 914 766 A (BUTLER JESSE L) 24. November 1959 (1959-11-24) * Spalte 3 - Spalte 4; Abbildungen 4,10,11 *	1,2,4	
A	----- * Spalte 3 - Spalte 4; Abbildungen 4,10,11 *	3,5,7-16	
X	US 4 409 595 A (PARK PYONG K [US]) 11. Oktober 1983 (1983-10-11) * Abbildung 2 *	1,2,4,6	
A	----- * Abbildung 2 *	3,5,7-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 11. Dezember 2014	Prüfer Sípál, Vít
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 14 00 2534

5

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

11-12-2014

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2008064655 A1	05-06-2008	CA 2671118 A1	05-06-2008
		DE 102006057144 A1	31-07-2008
		EP 2100348 A1	16-09-2009
		US 2010066623 A1	18-03-2010
		WO 2008064655 A1	05-06-2008
-----			
US 2914766 A	24-11-1959	KEINE	
-----			
US 4409595 A	11-10-1983	KEINE	
-----			

EPO FORM P0461

55

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**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 [0005] [0009] [0016] [0023]