

(19)



(11)

EP 2 100 348 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
31.08.2016 Patentblatt 2016/35

(51) Int Cl.:
H01Q 21/00 (2006.01) H01Q 13/22 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07856032.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2007/002139

(22) Anmeldetag: **27.11.2007**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/064655 (05.06.2008 Gazette 2008/23)

(54) **HOHLLEITER-STRAHLER, INSBESONDERE FÜR SYNTHETIK-APERTUR-RADAR-SYSTEME**

WAVEGUIDE RADIATOR, ESPECIALLY FOR SYNTHETIC APERTURE RADAR SYSTEMS

ÉMETTEUR DE RAYONNEMENT À CONDUCTEUR CREUX POUR SYSTÈMES DE RADAR À OUVERTURE SYNTHÉTIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DK EE ES FI FR GB GR HU
IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI
SK TR**

(30) Priorität: **01.12.2006 DE 102006057144**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.09.2009 Patentblatt 2009/38

(73) Patentinhaber: **Airbus DS GmbH
82024 Taufkirchen (DE)**

(72) Erfinder: **RÖMER, Christian
88677 Markdorf (DE)**

(74) Vertreter: **Schicker, Silvia
Wuesthoff & Wuesthoff
Patentanwälte PartG mbB
Schweigerstraße 2
81541 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 747 994 FR-A- 2 555 823
US-A- 2 914 766 US-A- 3 524 189
US-A- 4 409 595**

EP 2 100 348 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Hohlleiter-Strahler, insbesondere für Synthetik-Apertur-Radar-Systeme, gemäß Anspruch 1.

[0002] Hohlleiter- oder Gruppenantennen-Strahler bzw. Strahlergruppen (Radiatoren) werden beispielsweise in Phased Array Antennen von Synthetik-Apertur-Radar (SAR)-Systemen mit einfacher und dualer Polarisation eingesetzt. Bisher werden als Strahler sog. Microstrip-Patch-Antennen oder geschlitzte Hohlleiterantennen verwendet. Erstere weisen hohe elektrische Verluste auf und sind durch ihr elektrisches Speisernetzwerk nicht effizient in größeren Strahlerlängen als ca. sieben Wellenlängen realisierbar (im X-Band ca. 20 cm). Letztere erfordern durch ihr elektrisch resonantes Verhalten eine sehr hohe Fertigungsgenauigkeit und sind als dual polarisierte Strahlergruppen nur sehr aufwendig reproduzierbar. Beispielsweise sind Hohlleiter mit Innenstegen für eine vertikale Polarisation bzw. schräg eingebrachte Drähte für eine horizontale Polarisation sowie komplizierte Hohlleiter-Einkopplungen erforderlich.

[0003] Ein Hohlleiter-Strahler mit longitudinal angeordneten Schlitzten und einem innen angebrachten zusätzlichen Innenleiter, der eine gewundene Form aufweist, ist aus der EP0747994 A2 bekannt.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen effizienten und insbesondere kostengünstig implementierbaren Hohlleiter-Strahler, insbesondere für SAR-Systeme vorzuschlagen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch einen Hohlleiter-Strahler, insbesondere für SAR-Systeme mit den Merkmalen nach Anspruch 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0006] Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, als Strahler einen geschlitzten Hohlleiter zu verwenden, in dem ein zusätzlicher Innenleiter, eine sogenannte Barline angebracht ist. Dieser Innenleiter ist insbesondere polarisationsabhängig speziell geformt, um alle Schlitzte des Hohlleiters phasengleich anzuregen. Zur Befestigung des Innenleiters kann eine Schicht Dielektrikum im Hohlleiter angebracht werden, auf dessen Oberseite der Innenleiter montiert ist, beispielsweise durch eine Klebung. Eine Einkopplung kann in der Strahlermitte durch einen direkten Koaxialübergang erfolgen, bei dem die Seele eines angekoppelten Koaxialkabels mit dem Innenleiter verbunden ist.

[0007] Der erfindungsgemäße Gruppenantennen-Strahler eignet sich besonders gut für Phased Array Antennen von SAR-Systemen mit einfacher und dualer Polarisation, insbesondere für Strahler in satellitengestützten SAR-Systemen mit Receive-only Aperturen wie HRWS (High Resolution Wide Swath)-SAR-Systemen, evtl. für Strahler in C-Band-SAR-Systemen wie Sentinel 1 und für Strahler in X-Band Systemen ähnlich TerraSAR/Tandem-X.

[0008] Die Erfindung hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu herkömmlichen geschlitzten Hohlleitern die Ausbreitungsmoden nicht mehr dispersiv sind, sondern denen in Koaxialleitungen, d.h. TEM-Moden entsprechen. 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. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Resonanz unabhängig vom Querschnitt ist, womit sich Fertigungstoleranzen nicht mehr negativ auf die elektrische Performance auswirken. Ferner ist vorteilhaft, dass die Einkopplung bei der Erfindung durch einen direkten Koaxialübergang erfolgen kann, der mechanisch sehr einfach zu realisieren ist, beispielsweise durch handelsübliche SMA-Einbaubuchsen. Schließlich können mit der Erfindung gegenüber Mikrostrip-Patch-Antennen deutlich größere Strahlerlängen realisiert werden, beispielsweise bis etwa 80 cm im X-Band.

[0009] Ein Beispiel betrifft nun gemäß einer Ausführungsform einen Hohlleiter-Strahler, insbesondere für SAR-Systeme, umfassend

- einen geschlitzten Hohlleiter mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter angebrachten Schlitzten; und
- einen in dem Hohlleiter innen angebrachten zusätzlichen Innenleiter, der polarisationsabhängig derart geformt ist, dass alle Schlitzte des Hohlleiters phasen- und amplitudengleich angeregt werden können.

[0010] In einer weiteren Ausführungsform kann der geschlitzte Hohlleiter teilweise mit einem dielektrischen Material gefüllt sein, auf dem der zusätzliche Innenleiter angeordnet ist. Dies hat den Vorteil, dass eine solche Ausführungsform eine einfache Herstellung und trotzdem robuste Anordnung des zusätzlichen Innenleiters in dem Hohlleiter ermöglicht.

[0011] Auch kann der zusätzliche Innenleiter in einer Ausführungsform eine gewundene Form aufweisen. Dies hat den Vorteil, dass hierdurch eine Anpassung der Ausbreitungsgeschwindigkeit in longitudinaler Richtung vorgenommen werden kann und damit der Phasenverlauf auf dem Innenleiter an den Abstand der Schlitzte angepasst werden kann, so dass durch die gewundene Form sichergestellt wird, dass alle Schlitzte des geschlitzten Hohlleiter-Strahlers phasengleich angeregt werden.

[0012] Ferner kann auch der zusätzliche Innenleiter unsymmetrisch sein. Dies bietet insbesondere dann einen Vorteil, wenn die Speisung des Hohlleiters in longitudinaler Richtung aus dem Zentrum versetzt ist. Hierdurch kann ein beliebiges Phasenverhältnis zwischen linker und rechter Hälfte des Hohlleiters eingestellt werden, insbesondere lässt sich eine phasengleiche Abstrahlung einer Welle aus allen Schlitzten des Hohlleiters erreichen.

[0013] Auch kann der geschlitzte Hohlleiter transversale Schlitzte aufweisen, wodurch der Hohlleiter ausgebildet ist, um horizontal polarisierte Wellen abzustrahlen. Hierdurch lassen sich in Kombination mit dem Innenleiter eine hohe

Effizienz und eine hohe Reinheit der horizontal polarisierten Welle sicherstellen.

[0014] Weiterhin kann gemäß einer Ausführungsform eine Speisung des Hohlleiters in longitudinaler Erstreckungsrichtung unsymmetrisch angeordnet sein. Dies bietet den Vorteil dass eine solche Speisung des Hohlleiters zwei Hälften desselben definiert, so dass ein auf dem zusätzlichen Innenleiter geleitetes Signal in den beiden Hohlleiter-Hälften eine voneinander unterschiedliche Phase aufweisen kann. Dies ermöglicht eine Anpassung des Strahlungsverhaltens von sich auf dem zusätzlichen Innenleiter von der Speisung in entgegengesetzten Richtungen fortbewegenden Wellen.

[0015] Auch ist es günstig, wenn die Speisung des Hohlleiters derart in demselben angeordnet ist, dass durch die Speisung zwei Hohlleiterabschnitte definiert werden, in denen sich bei Betrieb des Hohlleiters eine Welle mit einer Phasendifferenz von etwa 180° bezogen auf das Zentrum des Hohlleiters ausbreitet. Dies ermöglicht, dass alle Schlitze bei der Mittenfrequenz mit gleicher Phase angeregt werden, wodurch sich die hohe Reinheit des Strahlungsverhaltens eines solchen Hohlleiter-Strahlers erzielen lässt.

[0016] Der zusätzliche Innenleiter kann auch in einer weiteren Ausführungsform eine gewundene Form aufweisen. Die Länge und Anzahl der Windungsabschnitte ist dabei derart an den Abstand der Schlitze angepasst, so dass sich immer eine feste Anzahl von Windungsabschnitten zwischen aufeinanderfolgenden Schlitzen befindet. Insbesondere so, dass die gewundene Form in einem Windungsabschnitt einen Rotationswinkel ϕ_h und einen Radius x_h hat, bei dem

$$x_h = \frac{mea_{wh}^2 + mea_{lh}^2}{4 \cdot mea_{wh}} \quad \phi_h = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{wh}}{2 \cdot mea_{lh}}\right)$$

gilt, wobei mea_{wh} die transversale Ausprägung eines Windungsabschnitts und mea_{lh} die Länge eines Windungsabschnitts des zusätzlichen Innenleiters definiert. Dies hat den weiteren Vorteil, dass sich durch geeignete Wahl der Windungsstärke und Anzahl der Windungsabschnitte des zusätzlichen Innenleiters zwischen aufeinanderfolgenden Schlitzen sicherstellen lässt, dass die gewünschte Anregung der einzelnen Schlitze in dem vorgegebenen Phasenverhältnis zueinander erfolgt.

[0017] Ferner kann in einer weiteren Ausführungsform der zusätzliche Innenleiter ausgehend von einem in einem Mittelbereich des zusätzlichen Innenleiters angeordneten Speisepunkt in Richtung der Hohlleiter-Enden eine Mehrzahl von gleichen Windungsabschnitten aufweisen. Dies unterstützt zusätzlich die gleichphasige Anregung der einzelnen Schlitze des Hohlleiters.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann zwischen dem Speisepunkt und einem ersten Windungsabschnitt des Innenleiters ein gerades Segment des Innenleiters angeordnet sein. Dies bietet den Vorteil, dass durch das Vorsehen eines solchen kurzen geraden Segments zwischen dem Speisepunkt und dem ersten Windungsabschnitt des Innenleiters eine fein einstellbare Abstimmung des Phasenganges einer Schwingung auf diesem Abschnitt des zusätzlichen Innenleiters möglich ist, ohne eine Korrektur oder Anpassung der Geometrie des Windungsabschnitts durchführen zu müssen.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform kann der Innenleiter im Bereich eines Endes des Hohlleiters ein gerades Innenleiter-Segment als offenen Leitungsabschluss aufweisen. Die elektrische Länge dieses Leitungsabschlusses ist dabei auf ein Viertel der Leitungswellenlänge dimensioniert. Damit lässt sich erreichen, dass die Stromüberhöhungen der sich ausbildenden stehenden Welle sich exakt unter den Schlitzen befinden und somit eine optimale Anregung der Schlitze zum Strahlen gewährleistet ist. Dies lässt sich durch den offenen Leitungsabschluss in Form des geraden Segmentes gut und einfach realisieren.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der geschlitzte Hohlleiter longitudinal angeordnete Schlitze aufweisen, wodurch der Hohlleiter ausgebildet ist, um vertikal polarisierte Wellen abzustrahlen. Eine solche Ausführungsform bietet dann auch wieder den Vorteil, dass eine vertikal polarisierte Welle hoch-effizient und mit einem hohen Reinheitsgrad erzeugt und von dem Hohlleiter-Strahler abgestrahlt werden kann.

[0021] Günstig ist es auch, wenn der zusätzliche Innenleiter einen Speisepunkt aufweist, der mittig in dem geschlitzten Hohlleiter und symmetrisch zu den Schlitzen angeordnet ist. Dies ermöglicht bei longitudinal angeordneten Schlitzen in dem Hohlleiter eine Phasen-synchrone Anregung, so dass die einzelnen Schlitze eine Welle phasengleich abstrahlen.

[0022] Der zusätzliche Innenleiter kann in einer weiteren Ausführungsform eine gewundene Form mit einer Mehrzahl von Windungsabschnitten aufweisen. Hierdurch lässt sich vorteilhaft eine Anpassung der Wellenlänge einer auf dem zusätzlichen Innenleiter geführten Wellen an die Abstände der einzelnen Schlitze durchführen. Zusätzlich kann hierdurch erreicht werden, dass eine phasengleiche Abstrahlung aller Schlitze sichergestellt ist.

[0023] Auch kann ein Windungsabschnitt einen geraden Abschnitt und einen gekrümmten Abschnitt aufweisen. Insbesondere kann der gekrümmte Abschnitt eine transversale Führung einer sich auf dem zusätzlichen Innenleiter fortbewegenden Welle im Bereich der Schlitze bewirken, so dass durch den Stromfluß transversal zur Schlitzlänge eine optimale Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle durch den Schlitz sichergestellt wird. Insbesondere kann der gekrümmte Abschnitt drei Krümmungsabschnitte aufweisen, von denen ein erster und dritter Krümmungsabschnitt je

einen ersten bzw. dritten Krümmungsradius x_1 und einen ersten bzw. dritten Krümmungswinkel ϕ_{1v} gemäß

$$x_1 = \frac{\left(\frac{mea_{w_v}}{2}\right)^2 + mea_{d_v}^2}{2 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi_{1v} = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{2 \cdot mea_{d_v}}\right)$$

und ein zwischen dem ersten und dritten Krümmungsabschnitt angeordneter zweiter Krümmungsabschnitt aus zwei Teilkrümmungsabschnitten mit jeweils einem zweiten Krümmungsradius x_2 und einem zweiten Krümmungswinkel ϕ_{2v} gemäß

$$x_2 = \frac{mea_{w_v}^2 + mea_{d_v}^2}{4 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi_{2v} = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{mea_{d_v}}\right)$$

aufweist, wobei mea_{w_v} die transversale Ausprägung des zweiten Krümmungsabschnitts und mea_{d_v} die Länge der drei Krümmungsabschnitte des zusätzlichen Innenleiters definiert. Bei dieser Geometrie ergibt sich eine transversale Ausprägung des ersten und dritten Krümmungsabschnitts, die genau halb so groß ist wie die transversale Ausprägung des zweiten Krümmungsabschnitts. Durch eine solche Geometrie im Bereich des gekrümmten Abschnitts des zusätzlichen Innenleiters verläuft dieser im mittleren Bereich des darüberliegenden Schlitzes transversal. Die hierdurch erzeugten transversalen Ströme regen den Schlitz zum Abstrahlen einer vertikal polarisierten Welle an.

[0024] Weiterhin kann der Innenleiter im Bereich eines Endes des Hohlleiters einen offenen Leitungsabschluss aufweisen, der einem Teil eines gekrümmten Abschnitts mit einem ersten Krümmungsabschnitt, gefolgt von einem geraden Leitersegment und weiter gefolgt von einem zweiten Krümmungsabschnitt sowie einem weiteren geraden Innenleiter-Segment aufweist. Hierdurch wird eine Art "halber" Windungsabschnitt im Bereich eines Endes des Hohlleiters gebildet, so dass auch am Ende des Hohlleiters eine transversale Wellenführung und damit eine transversale Auslenkung des Wellenfeldes ermöglicht wird, so dass der äußerste Schlitz in gleicher Weise wie die sich davor befindenden Schlitz zum Strahlen angeregt wird. Der offene Leitungsabschluss ist dabei von seiner Länge so dimensioniert, dass die sich auf dem Innenleiter ausbildende stehende Welle Stromüberhöhungen an den transversal geführten Leitungsabschnitten mittig unter den darüberliegenden Schlitz aufweist. Hierdurch wird ein optimales Abstrahlverhalten aller Schlitz sichergestellt.

[0025] Gemäß einer anderen Ausführungsform weist ein Gruppenantennen-Strahler folgende Merkmale auf:

- einen ersten Hohlleiter-Strahler, der ausgebildet ist, um bei einem Betrieb horizontal polarisierte Wellen auszugeben; und
- einen zweiten Hohlleiter-Strahler, der ausgebildet ist, um bei einem Betrieb vertikal polarisierte Wellen auszugeben.

[0026] Weiterhin können der erste und zweite Hohlleiter-Strahler longitudinal zueinander ausgerichtet sein und eine gleiche Länge aufweisen. Hierdurch kann eine TEM-Welle durch die beiden Hohlleiter-Strahler in einem räumlich kleinen Bereich ausgegeben werden, so dass in einer größeren Entfernung von den Öffnungen der Hohlleiter-Strahler nicht mehr unmittelbar erkennbar ist, dass die TEM-Welle von den beiden Hohlleiter-Strahlern erzeugt wurde. Auch kann der erste Hohlleiter-Strahler gegenüber dem zweiten Hohlleiter-Strahler horizontal und vertikal versetzt angeordnet sein. Hierdurch können vorteilhaft Einsatzparameter für den Gruppenantennen-Strahler variiert oder angepasst werden, die sich aus dem verwendeten Wellenlängen-Bereich ergeben, für den der Gruppenantennen-Strahler vorgesehen ist.

[0027] In einer anderen Ausführungsform kann ein elektrisch leitfähiges Material in dem durch den Versatz entstehenden Bereich angeordnet sein. Dies bietet den Vorteil, dass bei einem Versatz der beiden Hohlleiter-Strahler gegeneinander in dem durch den Versatz auftretenden Bereich keine Störstrahlungen entstehen können.

[0028] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist eine Synthetik-Apertur (SAR)-Radarvorrichtung, insbesondere hochauflösende Synthetik-Apertur-Radarvorrichtung, vorgesehen, die einen Hohlleiter-Strahler nach der Erfindung oder einen Gruppenantennen-Strahler umfasst. Bei der SAR-Vorrichtung kann es sich insbesondere um ein HRWS-System handeln. Der Gruppenantennenstrahler kann hierzu insbesondere als Strahler für ein C-Band-SAR-System wie Sentinel 1 ausgebildet sein sowie als Strahler für ein X-Band System ähnlich TerraSAR/Tandem-X.

[0029] Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbin-

dung mit den in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen.

[0030] In der Beschreibung, in den Ansprüchen, in der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

[0031] Die Zeichnungen zeigen in:

Fig. 1 eine Ansicht eines horizontal-polarisierenden (HP-) Hohlleiters gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Figur 2 eine interne Konfiguration des in Fig. 1 dargestellten HP-Hohlleiters;

Figur 3 einen Querschnitt eines HP-Hohlleiters gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Figur 4 eine transversale Schlitzverteilung auf einem HP-Hohlleiter;

Figur 5 eine Übersicht über die Schlitzparameter auf einem HP-Hohlleiter;

Figur 6 Asymmetrien zwischen der Mitte und dem ersten Schlitz in jeder Richtung;

Figur 7 eine Darstellung der geometrischen Parameter des HP-Innenleiterdesigns;

Figur 8 eine Darstellung eines Windungsabschnitts des HP-Innenleiters;

Figur 9 eine Darstellung der Geometrie der Windungslinie gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Figur 10 einen offenen Leitungsabschluss am Ende eines Innenleiter-HP-Hohlleiters gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Figur 11 eine Darstellung des Versatzes einer HP-Hohlleiterspeisung;

Figur 12 eine Darstellung des Querschnitts einer Hohlleiter-Speisung;

Figur 13 eine Darstellung der Draufsicht der Hohlleiterspeisung;

Figur 14 eine Ansicht eines vertikal-polarisierenden (VP-) Hohlleiters;

Figur 15 eine Darstellung des inneren Aufbaus eines VP-Hohlleiters;

Figur 16 eine Querschnittsdarstellung durch einen VP-Hohlleiter;

Figur 17 eine Darstellung der Schlitz-Verteilung entlang einem VP-Hohlleiter;

Figur 18 eine Übersicht über die Schlitzparameter eines VP-Hohlleiters;

Figur 19 eine Seitenansicht der Geometrie einer Hohlleiterspeisung;

Figur 20 eine Draufsichtdarstellung der Hohlleiterspeisung in Form einer Koaxialspeisung;

Figur 21 eine Darstellung einer Form eines Innenleiters in einem VP-Hohlleiter;

Figur 22 eine Übersicht über die geometrischen Parameter eines Innenleiter-Designs;

Figur 23 eine Darstellung von zwei ersten Windungsabschnitten eines Innenleiter-VP-Hohlleiters;

Figur 24 eine Darstellung eines offenen Leitungsabschlusses am Ende eines VP-Hohlleiters;

Figur 25 eine Ansicht eines HP-VP-Hohlleiters als Gruppenantennen-Strahler;

Figur 26 eine Übersicht über die geometrischen Parameter eines dualpolarisierten Strahlers;

Figur 27 eine graphische Darstellung der Reflexionsdämpfung in dB für einen VP- und einen HP-Strahler;

Figur 28 eine graphische Darstellung eines Kopplungsverhaltens zwischen VP- und HP-Strahler in dB;

Figur 29 eine graphische Darstellung der Direktivität eines HP-Strahlers im Azimuth-Fernfeld; und

Figur 30 eine graphische Darstellung der Direktivität eines VP-Strahlers im Azimut-Fernfeld.

[0032] Im Folgenden können gleiche und/oder funktional gleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen sein. Die im Folgenden angegebenen absoluten Werte und Maßangaben sind nur beispielhafte Werte und stellen keine Einschränkung der Erfindung auf derartige Dimensionen dar.

[0033] Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben die Konfiguration eines dual polarisierten Mikrowellenantennenstrahlers, genannt TEM-Strahler. Das Anwendungsgebiet sind die planaren Phased-Array-Antennen, wie sie in den Synthetik-Apertur-Radarsystemen (SAR) der Luftfahrt oder Raumfahrt als strahlendes Element benutzt werden. Für diese Anwendungen werden gewöhnlich Mikrostreifen-Patch oder geschlitzte Hohlleiterantennen verwendet, obwohl sie einige Nachteile mit sich bringen, die mit dieser neuen Strahlerart überwunden werden können.

[0034] Die erforderlichen Eigenschaften der Strahler sind hohe elektrische Effizienz (niedrige ohmsche Verluste), ausreichend hohe Bandbreite und kreuzpolare Unterdrückung. Für ein flexibles Gruppenantennendesign ist es zusätzlich wünschenswert, Strahler zu haben, die leicht in der Größe skalierbar sind.

[0035] Das Mikrostreifen-Patch ist ein Strahler, der verhältnismäßig einfach herzustellen ist, auch wenn die elektrische Leistungsfähigkeit durch hohe ohmsche Verluste begrenzt wird, die für längere Strahlerlängen besonders ausgeprägt sind. Folglich ist der Einsatz von Mikrostreifen-Patches eingeschränkt auf Anwendungen mit kurzen Phasenzentren, die nur für einen hochauflösenden Betriebsmodus (z.B. Spotlight-Modus) erforderlich sind.

[0036] Die geschlitzte Hohlleiterantenne ist ein hoch effizienter Strahler, der in einigen Ramfahrt-SAR-Missionen zur Anwendung kam (z.B. X-SAR, SRTM, TerraSAR-X). Doppelpolarisationsfähigkeit wird durch ein paralleles Hohlleiterkonzept erzielt, in dem zwei separate Hohlleiter, mit einem für jede lineare Polarisation, nebeneinander ausgerichtet sind. Wegen des Resonanzverhaltens ist die Anwendung dieser Strahler auf Schmalband-Anwendungen begrenzt. Zusätzlich ist seine Herstellung sehr teuer, da sehr hohe mechanische Präzision erforderlich ist und die Geometrie des

Strahlers sehr komplex ist. Nachdem der Trend in modernen SAR-Systemen hin zu höheren Bandbreiten und zugleich niedrigeren Einsatzkosten geht, wird der geschlitzte Hohlleiter für zukünftige SAR-Missionen immer weniger attraktiv. Stattdessen sind alternative Strahlerdesigns gefordert, die die elektrische Leistungsfähigkeit des geschlitzten Hohlleiters (hohe Effizienz und Polarisationsreinheit) zusammen mit niedrigen Produktionskosten kombinieren. Zu diesem Zweck ist der TEM-Strahler entwickelt worden.

[0037] Der TEM-Strahler ist eine Verbesserung herkömmlicher geschlitzter Hohlleiter-Antennen. Diese Verbesserung wird erzielt, indem man einen inneren Leiter (Innenleiter, Barline) in den Hohlleiter hinzufügt, der für jede Polarisation speziell angepasst ist. Der innere Leiter ändert das grundlegende elektrische Verhalten des Hohlleiters. Der Name "TEM-Strahler" stammt von den elektrischen Moden, die sich in diesem Hohlleiter ausbreiten. TEM bedeutet "transversal-elektrisch-magnetisch". Eine Haupteigenschaft dieser Moden ist, dass sie nicht dispersiv sind. An diesem Punkt unterscheidet sich der TEM-Strahler von den herkömmlichen geschlitzten Hohlleitern die auf TE-Moden basieren, die dispersives Verhalten zeigen und deren Resonanz in hohem Maße vom Querschnitt des Hohlleiters abhängig ist. Abhängig von der Grenzfrequenz des Hohlleiters (Cutoff) schränkt die Dispersion erheblich die erreichbare Bandbreite ein.

[0038] Die Innenleiter im TEM-Strahler können durch einen Ätz- oder einen Fräsprozess leicht zu sehr niedrigen Kosten hergestellt werden. Die Hohlleiter können aus Aluminium mit einer attraktiven Eigenschaft gefertigt werden, derart, dass mehrere Strahler zusammen in einem Block gruppiert werden (Fliesen-Konzept).

[0039] Nachfolgend wird die detaillierte geometrische Konfiguration der TEM-Strahler beschrieben, beginnend mit einer separaten Beschreibung für jede Polarisation (H/V-pol.). Dann wird die Konfiguration des kompletten dual-polarisierten Strahlers beschrieben. Schließlich wird die gemessene elektrische Leistungsfähigkeit gezeigt. Das Design ist exemplarisch für einen Strahler im X-band (Mittelfrequenz: 9,65 GHz) und eine Strahlerlänge von 400 mm entworfen. Der Strahler kann leicht auf eine andere Mittenfrequenz (z.B. C-Band) oder auf andere Strahlerlängen skaliert werden, indem man die Zahl der Schlitze ändert.

Geometrische Beschreibung

[0040] In diesem Abschnitt wird eine Zusammenfassung aller Parameter und Designverfahren von HP- und VP-Hohlleiter gegeben.

- Horizontale Polarisation (HP)

[0041] In Figur 1 wird eine allgemeine Perspektive des horizontal polarisierten Hohlleiters 10 gezeigt.

[0042] Die in den Entwurf eines HP-Strahlers angewendete Technik folgt den gleichen Prinzipien wie bei dem VP-Strahler. Die externe Form des Hohlleiters 10 entspricht der des HP-Strahlers im Terra-SAR X. Doch um die Schlitze anzuregen, wird ein entlang dem Hohlleiter 10 auf eine dielektrische Schicht aufgesetzter gewundener Innenleiter 12 eingeführt (siehe Figur 2).

[0043] Die folgenden Abschnitte geben eine ausführlichere Erklärung des HP-Hohlleiterdesigns.

- Querschnitt

[0044] Die Grundlage für den HP-Strahler ist ein herkömmlicher rechteckiger Hohlleiter 10 mit Ausmaß a_h , (breite Wandbreite) und b_h (schmale Wandbreite) wie in Figur 3 gezeigt wird. Alle Wände haben eine Dicke w und die Länge des Hohlleiters 10 wird durch l definiert.

[0045] Außerdem wird der Hohlleiter 10 entlang seiner Länge mit *Eccostock Lok*, einem dielektrischen Material mit ϵ_r gleich 1.7 gefüllt. Die Höhe des Dielektrikums wird durch h_{dih} parameterisiert.

- Schlitzdesign

[0046] Um den rechteckigen Hohlleiter 10 in einen Strahler umzuwandeln sind einige Querschlitz 14 in die obere Wand entlang der Länge des Hohlleiters 10 geschnitten worden (siehe Figur 4). Insgesamt 16 Schlitz 14 werden symmetrisch zur Mitte des Hohlleiters 10, acht auf jeder Hälfte von ihr, gesetzt. Der Abstand d_{sloth} zwischen den Schlitz 14 ist eine Leitungswellenlänge λ_g .

[0047] Die Geometrie der transversalen Schlitz 14 wird in Figur 5 gezeigt. Wie gezeigt ist, ist die Schlitzbreite durch w_{sloth} definiert, und der Schlitz 14 wird in die seitliche Wand des Hohlleiters 10 in einer Länge l_{ov} geschnitten.

- Innenleiterdesign

[0048] Da der Speisepunkt 16 nicht mitten in dem Hohlleiter 10 gesetzt wird, ist der Innenleiter 12 im HP-Hohlleiter auch nicht symmetrisch. Jedoch werden die Asymmetrien zwischen die Mitte des Hohlleiters 10 und dem ersten Schlitz

14 in jeweils jeder Richtung gesetzt (siehe Figur 6). Das bedeutet, um das Design zu vereinfachen berücksichtigen wir, dass der Innenleiter 12 entlang beiden Hälften des Hohlleiters 10 vom ersten Schlitz bis zum Ende des Innenleiters 12 symmetrisch ist.

[0049] Das Design des Innenleiters 12 zwischen den Mittelschlitzten wird nachfolgend beschrieben, wo die Speisung 16 des Hohlleiters 10 erklärt wird.

[0050] In Figur 7 ist ein ausführlicheres Bild der Windungsform, sowie der verwendeten Parameter gezeigt.

[0051] Um die Windung zu entwerfen, ist es nötig, einen passenden Drehungswinkel und die Mitte der Rotationsachse zu wählen. Figur 8 zeigt den Windungsabschnitt, der entlang dem ganzen Hohlleiter wiederholt wird, genauer.

[0052] Bevor mit dem Leiter-Design fortgefahren wird, ist es interessant, die Ausdrücke im Detail zu sehen, die für die Berechnung des Radius und des Winkels verwendet wurden. Figur 9 zeigt einen allgemeinen Fall von zwei Innenleiterabschnitten mit Breite m , die durch einen Windungsabschnitt verbunden werden müssen. Die erforderlichen Parameter zur Konstruktion des Windungsabschnitts sind die Mitte c oder der Radius R und der Winkel φ , um den gedreht werden soll.

[0053] Entsprechend der vorhergehenden Geometrie können zwei gleichlange Dreieck-Schenkel (die Seitenlängen entsprechen m , m und $2 \cdot a$) in beiden geraden Linien-Abschnitten definiert werden. Die "Verbindungskante" (auch "join edge" genannt, wo die zwei Windungsabschnitte zusammengeführt werden) wird dadurch definiert, dass man die mittlere parallele Linie durch das Parallelogramm heranzieht, das zwischen beiden Dreiecken gebildet wird. Diese Kante und die Verlängerung der schmalen Seite des Wellenabschnitts definieren den Umdrehungsradius.

[0054] Diese Geometrie beachtend, können einige Aussagen getroffen werden:

$$\begin{aligned}\varphi &= 2\alpha & \alpha &= \arctan \frac{w}{d} \\ a &= m \cdot \sin \alpha & o &= \frac{b - 2a}{2} \\ b &= \sqrt{w^2 + d^2}\end{aligned}\tag{2.1}$$

[0055] Daher kann φ leicht durch Gleichung (2.2) errechnet werden.

$$\varphi = 2\alpha = 2 \cdot \arctan \frac{w}{d}\tag{2.2}$$

[0056] Um R zu erhalten kann der Strahlensatz für die beiden gleichen Dreieck-Schenkel aus Figur 9 angewendet werden.

$$\frac{2a}{m} = \frac{b}{m + 2r}\tag{2.3}$$

[0057] Wird der Wert von r ausgerechnet und in (2.1) eingesetzt, wird der folgende Ausdruck erhalten:

$$r = \frac{mb}{4a} - \frac{m}{2} = \frac{b}{4 \cdot \sin \alpha} - \frac{m}{2} = \frac{\sqrt{w^2 + d^2}}{4 \cdot \sin(\arctan w/d)} - \frac{m}{2}$$

$$r = \frac{\sqrt{w^2 + d^2}}{4 \cdot \frac{w/d}{\sqrt{1 + \frac{w^2}{d^2}}}} - \frac{m}{2} = \frac{w^2 + d^2}{4 \cdot w} - \frac{m}{2} \quad (2.4)$$

[0058] Hieraus folgt:

$$R = r + \frac{m}{2} = \frac{w^2 + d^2}{4 \cdot w} \quad (2.5)$$

[0059] Der Geometrie-Erläuterung im vorhergehenden Abschnitt folgend, können insbesondere die Gleichungen (1.2) und (2.5), der Rotations-Winkel ϕ_{ih} und der Radius x_h wie folgt definiert werden:

$$x_h = \frac{mea_{w_h}^2 + mea_{l_h}^2}{4 \cdot mea_{w_h}} \quad \phi_{ih} = 2 \cdot \arctan \left(\frac{mea_{w_h}}{2 \cdot mea_{l_h}} \right) \quad (2.6)$$

[0060] Die Windung wird entlang des Hohlleiters 10 vom ersten Schlitz 14 an symmetrisch wiederholt. Der Innenleiter 12 ist auf beiden Seiten mit einem offenen Leitungsabschluss 20 der Länge l_{stubb} begrenzt, wie in Figur 10 gezeigt ist.

- Hohlleiterspeisungsdesign

[0061] Im HP-Hohlleiter 10 ist die Speisung 16 in Longitudinalrichtung (z-Achse) nicht symmetrisch, obwohl die Schlitze 14 symmetrisch gesetzt werden. Sie ist etwas verlegt worden, um eine Phase von 180° zwischen beiden Hälften des Hohlleiters 10 einzufügen. So werden alle Schlitze 14 mit gleicher Phase bei der Mittenfrequenz angeregt (siehe Figur 11).

[0062] Abgesehen von diesem Versatz ist das Speisungsdesign genau dasselbe wie im Falle des VP-Hohlleiters. Eine Koaxialspeisung 16 (SMA-Buchse) wird in den Hohlleiter gesteckt und der Mittelleiter wird mit dem Innenleiter-Speisungskreis mittels einer Bohrung für den inneren Koaxialleiter verbunden.

[0063] In Figur 12 wird ein Querschnitt der Koaxialspeisung 16 gezeigt und die unterschiedlichen Designparameter werden eingeführt.

[0064] Wie vorstehend erläutert wurde, werden die Asymmetrien in dem Innenleiter 12 zwischen die Mitte des Hohlleiters 10 und den ersten Schlitz 14 in jeder Richtung gesetzt. Wie in Figur 13 zu sehen ist, ist die Speisung 16 durch ϕ_{feed} entlang der +z-Achse verlegt worden. Der Windungsabschnitt wird entlang dem Hohlleiter 10 bis zum ersten Schlitz 14 links und rechts vom Speisungspunkt 16 wiederholt. Wegen des Speisungsversatzes werden eineinhalb Windungen dem rechten Zweig des Innenleiters 12 (-z-Achse) addiert.

[0065] Um die Koaxialspeisung 16 und den Innenleiter 12 zusammenzubringen, wird eine Leitung der Breite w_{tff} hinzugefügt und wird auf die Breite des Innenleiters w_{barh} konisch verjüngt. Diese Transformationsleitung ist in Bezug auf den speisenden Koaxialpunkt 16 symmetrisch. Schließlich wird ein gerader Abschnitt des Innenleiters 12 auf dem rechten Zweig hinzugefügt, um den Abstand zwischen der Speisung 16 und der Windung zu füllen.

Vertikale Polarisation VP

[0066] In Figur 14 wird eine allgemeine Ansicht eines vertikal polarisierten Hohlleiters 10 gezeigt.

[0067] Der innere Aufbau mit dielektrischer Schicht und Innenleiter wird in Figur 15 gezeigt.

[0068] In diesem neuen Design wird der Hohlleiter 10 teilweise mit einem Dielektrikum gefüllt und er strahlt dank eines Innenleiters 12, der entlang der Hohlleiterlänge gesetzt wird, welcher die Längsschlitze 14 anregt, die in den Hohlleiter gefräst worden sind. In den folgenden Abschnitten ist eine ausführlichere Erklärung dieses VP-Hohlleiters gegeben.

- Querschnitt

[0069] Die Grundlage für den VP-Strahler ist ein gewöhnlicher rechteckiger Hohlleiter 10 mit Kanten a_v (breite Wandbreite) und b_v (schmale Wandbreite) wie in Figur 16 gezeigt ist. Alle seine Wände haben eine Dicke von w und die Länge des Hohlleiters 10 wird durch l definiert.

[0070] Außerdem wird der Hohlleiter 10 entlang seiner Länge mit Eccostock SH1 aufgefüllt, einem dielektrischen Material mit ϵ_r gleich 1.04. Die Höhe des Dielektrikums wird durch h_{div} parameterisiert.

Schlitzdesign

[0071] Um den rechteckigen Hohlleiter 10 in einen Strahler umzuwandeln, werden Longitudinalschlitze 14 in die obere Wand und entlang der Länge des Hohlleiters 10 und symmetrisch zum Speisepunkt 16 geschnitten wie Figur 17 zeigt.

[0072] Die elektrische Länge zwischen Schlitzen 14 ist eine Leitungswellenlänge λ_g , folglich müssen die Innenleiter-Parameter so justiert werden, dass 360 Grad Phasendifferenz zwischen aufeinanderfolgenden Schlitzen erhalten werden.

[0073] Die Form des Schlitzes 14 wird in Figur 18 gezeigt. Die Schlitzenden sind abgerundet, da dies den Fräsprozess erleichtert.

- Hohlleiterspeisungsdesign

[0074] Der Strahler wird durch eine Koaxialspeisung 16 (SMA-Stecker) versorgt, die mitten in den Hohlleiter 10 gesetzt wird, wie Figur 19 zeigt. Der Radius des Koaxial-Schirmes, des Koax-Dielektrikums und des Koax-Innenleiters sind r_{co} , r_{di} beziehungsweise r_s . Die Speisung 16 ist in den Hohlleiter 10 eingefügt mit einer Höhe der Mutter im Inneren des Hohlleiters h_{nutv} . Der Koax-Innenleiter steht über dem Leiter in Höhe von l_{solev} hinaus.

[0075] Figur 20 zeigt die Draufsicht der Koaxialspeisung 16.

-Innenleiter-Design

[0076] Anstatt einen geraden Innenleiter 12 zu verwenden, wurde ein komplexerer in einem Entwurf des Hohlleiters 10 verwendet. Figur 21 zeigt eine Draufsicht davon. Er besteht aus einem gewundenen Leiter, dem ein gerades Stück folgt, was periodisch entlang der Länge des Hohlleiters 10 wiederholt wird.

[0077] Im VP-Hohlleiter wird der Speisepunkt 16 in die Mitte des Hohlleiters 10 gelegt. So ist der Innenleiter 12 in Bezug auf die Zufuhr symmetrisch und wird mit einem offenen Leitungsabschluss abgeschlossen, dessen Länge angepasst werden muss.

[0078] In Figur 22 wird ein genaueres Bild der Windungsform, sowie die zum Entwurf verwendeten Parameter gezeigt. Die ursprünglichen kartesischen Koordinaten werden genau in der Mitte der Hohlleiterlänge gesetzt und zeigen, wohin die Koaxialspeisung 16 gesetzt wird. Die Windungskurven sind entworfen, um einen Strom transversal zum Schlitz 14 zu erhalten. Dieser transversale Strom regt den Schlitz zum Strahlen an. Der Innenleiter 12 hat eine Breite von w_{barv} und eine Dicke von t_{barv} .

[0079] Der schwierigste Teil des Designs des Innenleiters 12 ist die Definition der gebogenen Abschnitte. Hierzu muss ein geeigneter Radius und eine geeignete Mitte errechnet werden, um beide geraden Abschnitte zusammenzubringen. Im VP-Hohlleiter sind drei gebogene Abschnitte erforderlich. Sie werden in Figur 22 bezeichnet. Der erste (Krümmungs-) Abschnitt (1) (auch mit dem Bezugszeichen 30 bezeichnet) und der letzte (dritte Krümmungs-) Abschnitt (3) (ebenfalls mit dem Bezugszeichen 30 bezeichnet) haben den gleichen Radius und Winkel. Das bedeutet, dass nur zwei unterschiedliche Geometrien erforderlich sind, die eine für den ersten Teil der Windung und die andere für den zweiten Teil 32 (zweiten Krümmungsabschnitt) der Windung, wie Figur 23 zeigt.

[0080] Unter Berücksichtigung der Geometrien in Figur 23 und in Figur 9 und der Gleichungen (2.2) und (2.5), können der Radius und der Winkel für beide Windungsabschnitte wie folgt errechnet werden.

$$x_1 = \frac{\left(\frac{mea_{w_v}}{2}\right)^2 + mea_{d_v}^2}{2 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi_{il_v} = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{2 \cdot mea_{d_v}}\right) \quad (2.7)$$

$$x_2 = \frac{mea_{w_v}^2 + mea_{d_v}^2}{4 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi 2_v = 2 \cdot \arctan \left(\frac{mea_{w_v}}{mea_{d_v}} \right) \quad (2.8)$$

[0081] Die Windung wird 6-mal entlang jeder Hälfte des Hohlleiters 10 wiederholt. Am Ende jeder Seite des Innenleiters 12 wird die Hälfte einer Windung hinzugefügt und der vollständige Innenleiter 12 wird mit einem offenen Leitungsb-schluss der Länge l_{stubv} beendet, wie Figur 24 zeigt.

[0082] Abschließende Strahlerkonfiguration gemäß einem Ausführungsbeispiel.

[0083] Die Strahler für beide Polarisationen sind separat entworfen und simuliert worden, aber jetzt ist es notwendig, die vollständige Strahlerleistungsfähigkeit zu bewerten. Um den endgültigen dual-polarisierten Strahler zu erhalten ist es notwendig, beide Hohlleiter zusammenzusetzen. Hiermit befasst sich der nächste Abschnitt.

[0084] In Figur 25 wird eine perspektivische Ansicht des kompletten Strahlers gezeigt. Es ist ersichtlich, wie der VP-Hohlleiter und der HP-Hohlleiter mit der gleichen Länge l longitudinal (d.h. in z-Richtung) ausgerichtet sind. Beide Hohlleiter werden durch einen Versatz in x- und y-Richtung verschoben.

[0085] Beim Aufbau von Gruppenantennen werden mehrere dual-polarisierte Strahler in x- und y-Richtung aneinand-
dergereit. Hierbei kann es erforderlich sein, den Abstand der Strahler größer zu wählen als deren tatsächliche Breite. Die hierbei entstehenden Lücken sollten durch elektrisch leitfähiges Material geeignet geschlossen werden um so un-
erwünschte Störstrahlungen zu unterdrücken. Der Abstand zweier Strahler in y-Richtung wird mit d_{el} bezeichnet. Der Wert dieses Abstandes stammt aus den Anforderungen des SAR-Systems und bestimmt die Schwenkfähigkeit des Hauptstrahles der Gruppenantenne. Für eine Schwenkfähigkeit von ± 20 Grad ergibt sich hierbei ein Abstand d_{el} von 22 Millimetern im X-Band. Da die Breite beider Hohlleiter 10 kleiner als d_{el} ist, werden die Abstände zwischen den Hohlleitern 10 mit leitendem Material aufgefüllt.

[0086] Außerdem wird der HP-Hohlleiter in y-Richtung aufwärts um einen Abstand von $offset_{hp}$ verschoben. Dies ist erforderlich, um den in die seitliche Wand des HP-Hohlleiters eingeschnittenen Teil der Schlitze freizulegen.

Ergebnisse der elektrischen Vermessung

[0087] Nachdem das Design der HP- und VP-Strahler eingeführt wurde, ist es notwendig, die Leistung beider Hohlleiter zusammen auszuwerten. So werden die Anpassung und die Richtcharakteristik dieser Antenne durch elektrische Ver-
messung ermittelt.

- Anpassung

[0088] Wie in Figur 27 gezeigt wird, liegt die Anpassung unter -15dB bei ca. 600 MHz zentriert um 9.65 GHz.

[0089] Figur 28 zeigt die Isolation zwischen H- und V-Polarisation. Es ergeben sich hinreichend gute Werte, die weit unter den typisch geforderten Werten (z.B. <-40dB) liegen.

- Richtcharakteristik

[0090] Die gemessenen Richtcharakteristiken in Azimuth bei Mittenfrequenz von 9,65 GHz und den zwei Randfre-
quenzen von 9,35 und 9,95 GHz bei einer Bandbreite von 600MHz für HP- und VP-Strahler sind in Figur 29 und Figur 30 dargestellt.

Bezugszeichen

[0091]

- 10 Hohlleiter
- 12 Innenleiter
- 14 Schlitze
- 16 Speisepunkt, Speisung
- 18 Windungsabschnitt
- 20 offenes Ende des Innenleiters
- 22 gerades Segment

- 24 erster Krümmungsabschnitt
 26 gewundenes Element des Krümmungsabschnitts
 28 gerades Element aus einem Windungsabschnitt
 30 erster und dritter Krümmungsabschnitt
 5 32 zweiter Krümmungsabschnitt

Patentansprüche

1. Hohlleiter-Strahler umfassend

- einen geschlitzten Hohlleiter (10) mit einer Mehrzahl von in dem Hohlleiter (10) angebrachten Schlitzen (14); und
- einen in dem Hohlleiter (10) innen angebrachten zusätzlichen Innenleiter (12), der eine gewundene Form aufweist,

wobei der geschlitzte Hohlleiter (10) longitudinal angeordnete Schlitze (14) aufweist, wodurch der Hohlleiter (10) ausgebildet ist, um vertikal polarisierte Wellen abzustrahlen, und wobei der zusätzliche Innenleiter (12) eine gewundene Form mit einer Mehrzahl von Windungsabschnitten (18) aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Innenleiter (12) derart geformt ist, dass alle Schlitze (14) des Hohlleiters (10) phasen- und amplitudengleich angeregt werden können, wobei ein Windungsabschnitt (18) einen geraden Abschnitt (28) und einen gekrümmten Abschnitt (26) aufweist, und wobei der gekrümmte Abschnitt (26) drei Krümmungsabschnitte (30, 32) aufweist, von denen ein erster und dritter Krümmungsabschnitt (30) je einen ersten bzw. dritten Krümmungsradius x_1 und einen ersten bzw. dritten Krümmungswinkel $\phi 1_v$ gemäß

$$x_1 = \frac{\left(\frac{mea_{w_v}}{2}\right)^2 + mea_{d_v}^2}{2 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi 1_v = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{2 \cdot mea_{d_v}}\right)$$

und ein zwischen dem ersten und dritten Krümmungsabschnitt (30) angeordneten zweiten Krümmungsabschnitt (32) aus zwei Teilkrümmungsabschnitten mit jeweils einem zweiten Krümmungsradius x_2 und einem zweiten Krümmungswinkel $\phi 2_v$ gemäß

$$x_2 = \frac{mea_{w_v}^2 + mea_{d_v}^2}{4 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi 2_v = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{mea_{d_v}}\right)$$

aufweist, wobei mea_{w_v} eine transversale Ausprägung des zweiten Krümmungsabschnitts und mea_{d_v} jeweils eine Länge der drei Krümmungsabschnitte (30, 32) definiert.

2. Hohlleiter-Strahler gemäß Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

der geschlitzte Hohlleiter (10) teilweise mit einem dielektrischen Material gefüllt ist, auf dem der zusätzliche Innenleiter (12) angeordnet ist.

3. Hohlleiter-Strahler gemäß Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

der zusätzliche Innenleiter (12) unsymmetrisch ist.

4. Hohlleiter-Strahler gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

der zusätzliche Innenleiter (12) einen Speisepunkt (16) aufweist, der mittig in dem geschlitzten Hohlleiter (10) und symmetrisch zu den Schlitz (14) angeordnet ist.

5. Hohlleiter-Strahler gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Innenleiter (12) im Bereich eines Endes des Hohlleiters (10) einen offenen Leitungsabschluss aufweist, der einen Teil eines gekrümmten Abschnittes mit einem ersten Krümmungsabschnitt, gefolgt von einem geraden Leitersegment und weiter gefolgt von einem zweiten Krümmungsabschnitt sowie einem weiteren geraden Innenleiter-Segment, aufweist.

Claims

1. Waveguide radiator comprising:

- a slotted waveguide (10) with a plurality of slots (14) inserted in the waveguide (10); and
- an additional inner conductor (12) which is installed inside the waveguide (10) and which has a coiled shape,

wherein the slotted waveguide (10) has slots (14) arranged longitudinally, whereby the waveguide (10) is adapted to radiate vertically polarized waves, and wherein the additional inner conductor (12) has a coiled shape with a plurality of coil sections (18),

characterized in that the inner conductor is shaped such that all of the slots (14) of the waveguide (10) can be excited with identical phase and amplitude, wherein a coil section (18) has a straight section (38) and a curved section (26), and wherein

the curved section (26) has three curvature sections (30, 32) of which a first and third curvature section (30) has respectively a first or third radius of curvature x_1 and a first or third angle of curvature ϕ_{1v} , according to

$$x_1 = \frac{\left(\frac{mea_{w_v}}{2}\right)^2 + mea_{d_v}^2}{2 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi_{1v} = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{2 \cdot mea_{d_v}}\right)$$

and a second curvature section (32) arranged between the first and third curvature section (30) comprises two partial curvature sections with respectively one second radius of curvature x_2 and a second angle of curvature ϕ_{2v} , according to

$$x_2 = \frac{mea_{w_v}^2 + mea_{d_v}^2}{4 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi_{2v} = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{mea_{d_v}}\right)$$

where mea_{w_v} defines a transversal configuration of the second curvature section (32) and mea_{d_v} respectively defines a length of the three curvature sections (30, 32).

2. Waveguide radiator according to claim 1,

characterized in that the slotted waveguide (10) is partially filled with a dielectric material on which the additional inner conductor (12) is arranged.

3. Waveguide radiator according to claim 1 or 2,

characterized in that the additional inner conductor (12) is asymmetrical.

4. Waveguide radiator according to any one of claims 1 to 3,

characterized in that the additional inner conductor (12) has a feed point (16) arranged centrally in the slotted waveguide (10) and symmetrically with respect to the slots (14).

5. Waveguide radiator according to any one of claims 1 to 4,
characterized in that the inner conductor (12) in the area of one end of the waveguide (10) has an open line termination, which has to a part of a curved section with a first curvature section, followed by a straight conductor segment and further followed by a second curvature section and a further straight inner conductor segment.

Revendications

1. Emetteur de rayonnement à conducteur creux, comprenant

- un conducteur creux (10) fendu dans lequel sont ménagées plusieurs fentes (14), et
- un conducteur interne (12) supplémentaire qui est placé à l'intérieur dudit conducteur creux (10) et qui présente une forme sinueuse,

le conducteur creux (10) fendu présentant des fentes (14) disposées longitudinalement, grâce à quoi le conducteur creux (10) est formé pour émettre des ondes à polarisation verticale, et le conducteur interne (12) supplémentaire possédant une forme sinueuse et présentant une pluralité de segments sinueux (18),

caractérisé en ce que

le conducteur interne (12) est formé de telle sorte que toutes les fentes (14) du conducteur creux (10) peuvent être excitées avec la même phase et la même amplitude, un segment sinueux (18) présentant un segment droit (28) et un segment courbé (26), et

le segment courbé (26) présentant trois segments en courbe (30, 32), dont un premier et un troisième segment en courbe (30) présentent chacun un premier et un troisième rayon de courbure x_1 et un premier et un troisième angle de courbure $\phi 1_v$ selon

$$x_1 = \frac{\left(\frac{mea_{w_v}}{2}\right)^2 + mea_{d_v}^2}{2 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi 1_v = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{2 \cdot mea_{d_v}}\right)$$

et un deuxième segment en courbe (32) disposé entre le premier et le troisième segment courbe (30) et constitué par deux segments en courbe partiels présente un deuxième rayon de courbure x_2 et un deuxième angle de courbure $\phi 2_v$ selon

$$x_2 = \frac{mea_{w_v}^2 + mea_{d_v}^2}{4 \cdot mea_{w_v}} \quad \phi 2_v = 2 \cdot \arctan\left(\frac{mea_{w_v}}{mea_{d_v}}\right)$$

le terme mea_{w_v} définissant une variante transversale du deuxième segment en courbe, et le terme mea_{d_v} la longueur respective des trois segments courbes (30, 32).

2. Emetteur de rayonnement à conducteur creux selon la revendication 1,

caractérisé en ce que

le conducteur creux (10) fendu est rempli d'un matériau diélectrique sur lequel est disposé le conducteur interne (12) supplémentaire.

3. Emetteur de rayonnement à conducteur creux selon la revendication 1 ou la revendication 2,

caractérisé en ce que

le conducteur interne (12) supplémentaire est asymétrique.

4. Emetteur de rayonnement à conducteur creux selon l'une des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que

le conducteur interne (12) supplémentaire présente un point d'alimentation (16) qui est disposé au centre du conducteur creux (10) fendu et de manière symétrique par rapport aux fentes (14).

5. Emetteur de rayonnement à conducteur creux selon l'une des revendications 1 à 4,

caractérisé en ce que

le conducteur interne (12) présente dans la zone terminale du conducteur creux (10) une terminaison ouverte qui présente une partie d'un segment en courbe comprenant un premier segment en courbe, suivi d'un segment de conducteur droit et suivi ensuite d'un deuxième segment en courbe ainsi que d'un autre segment de conducteur interne droit.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

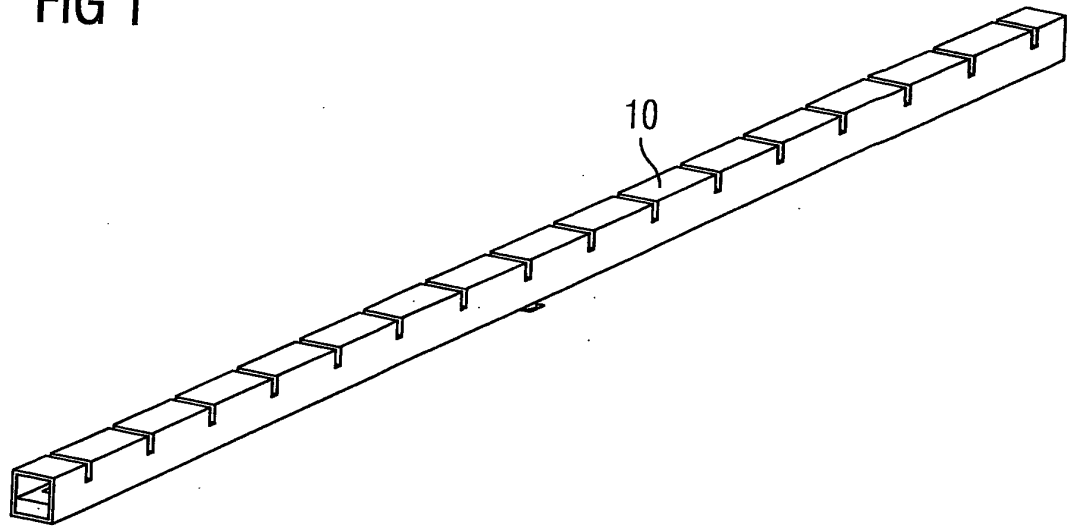


FIG 2

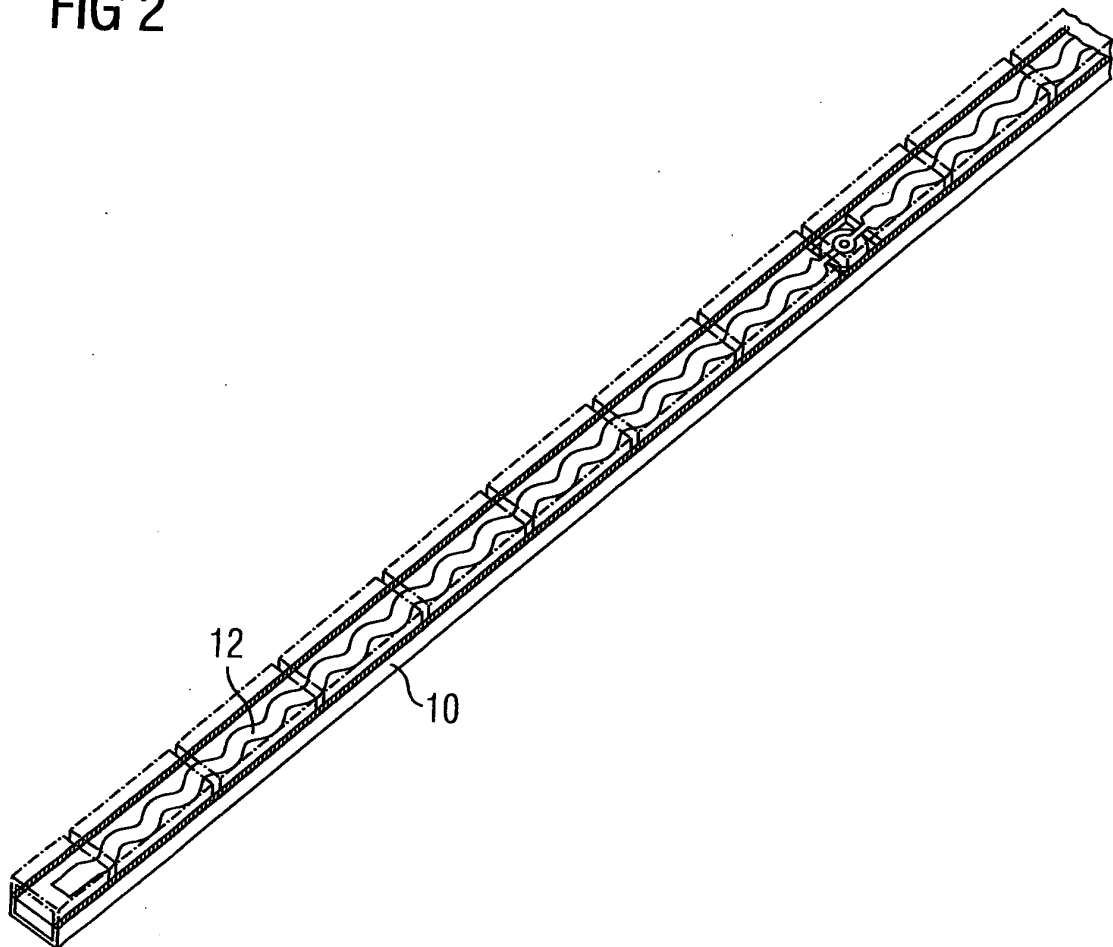


FIG 3

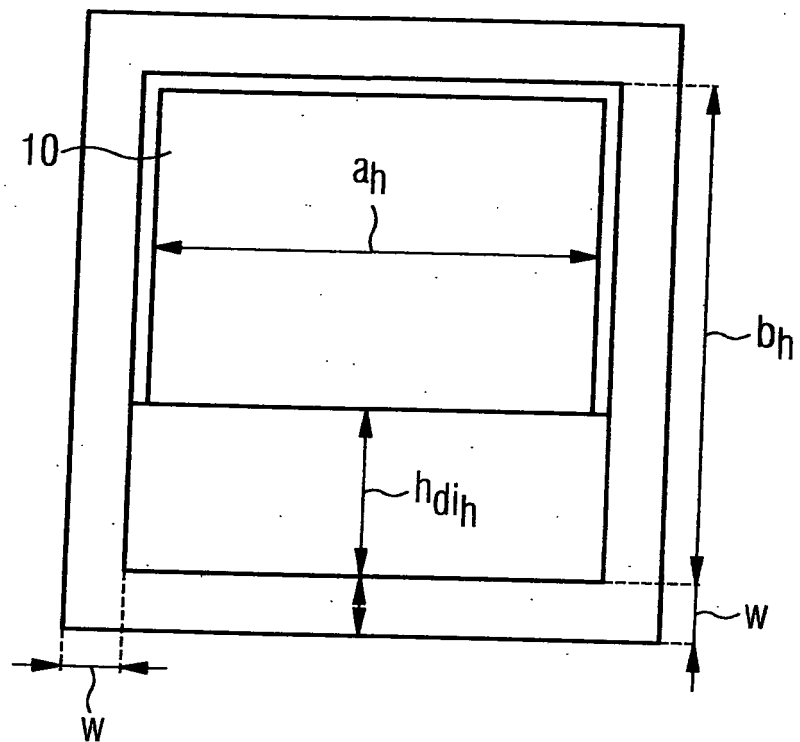


FIG 4

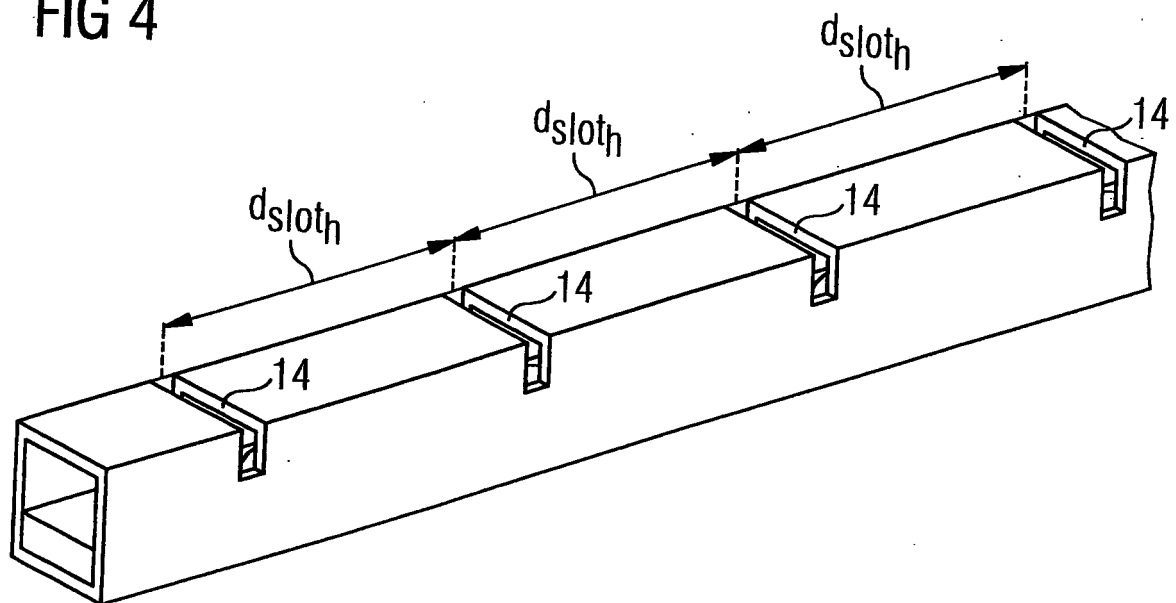


FIG 5

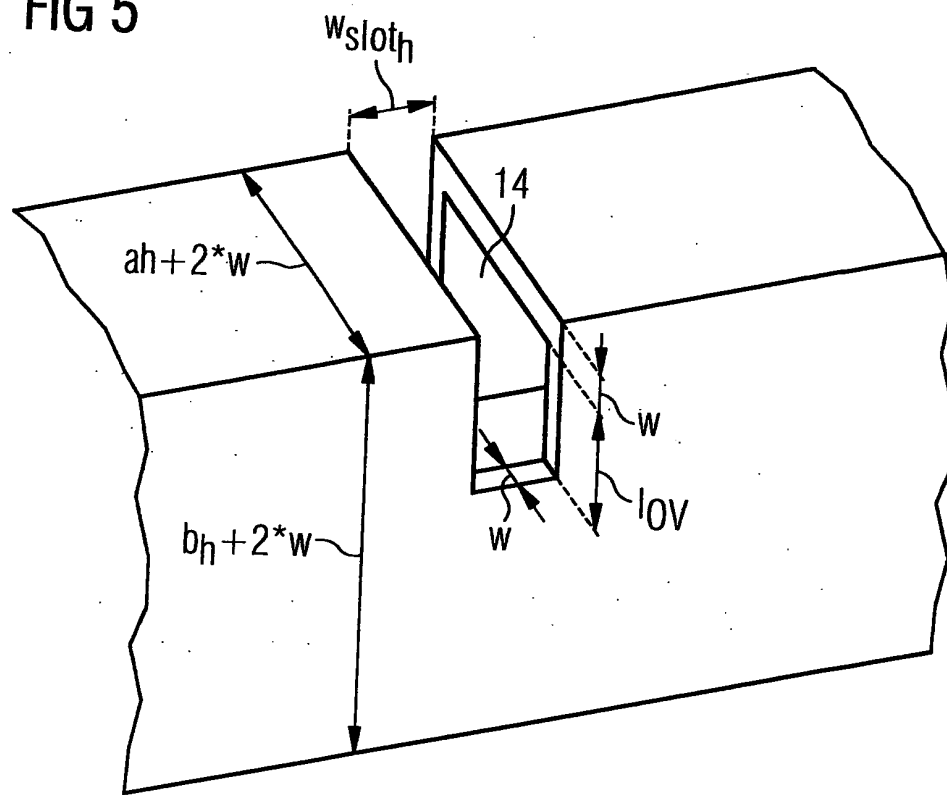


FIG 6

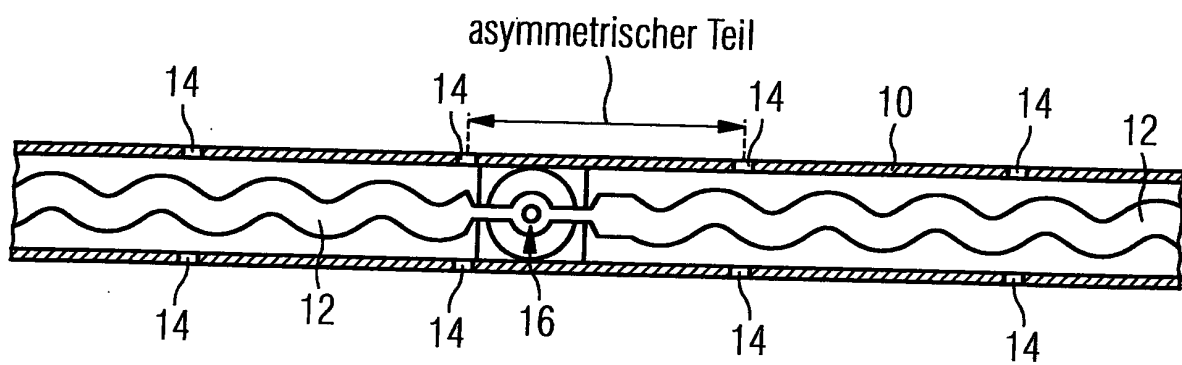


FIG 7

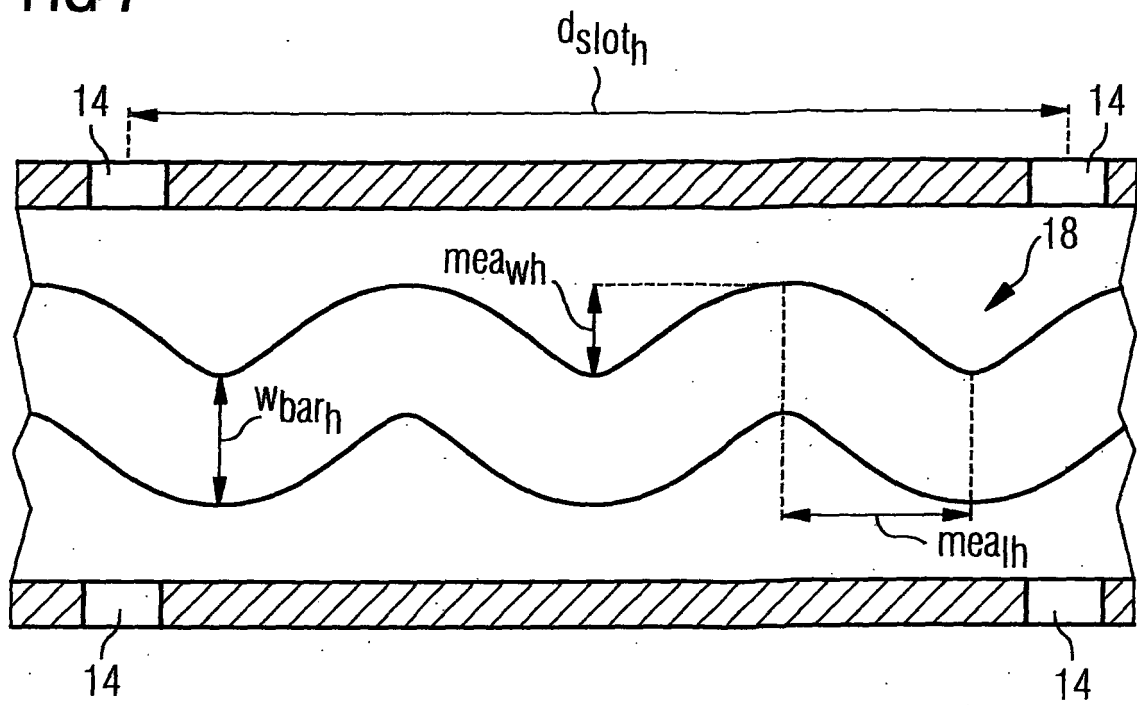


FIG 8

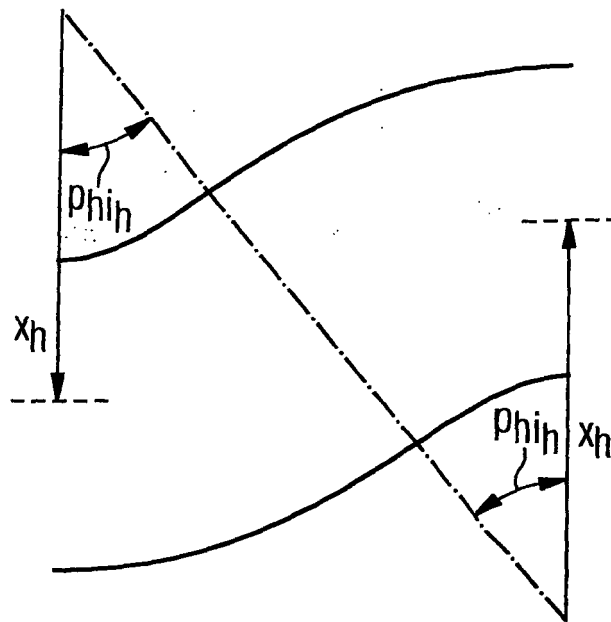


FIG 9

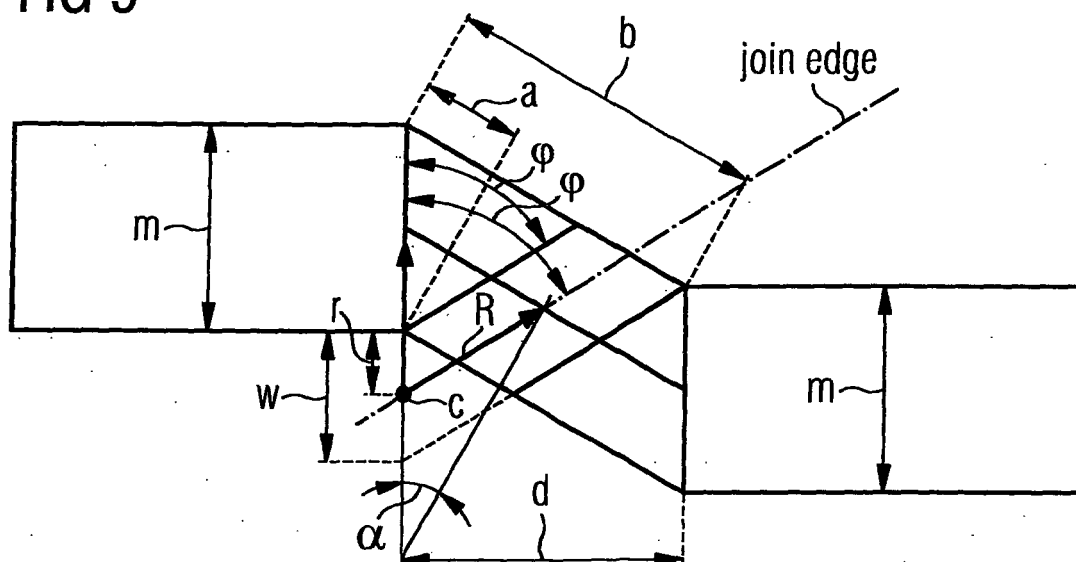


FIG 10

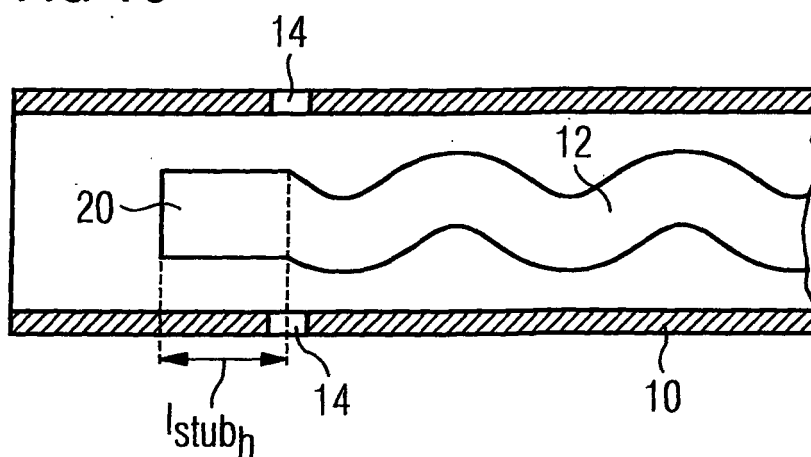


FIG 11

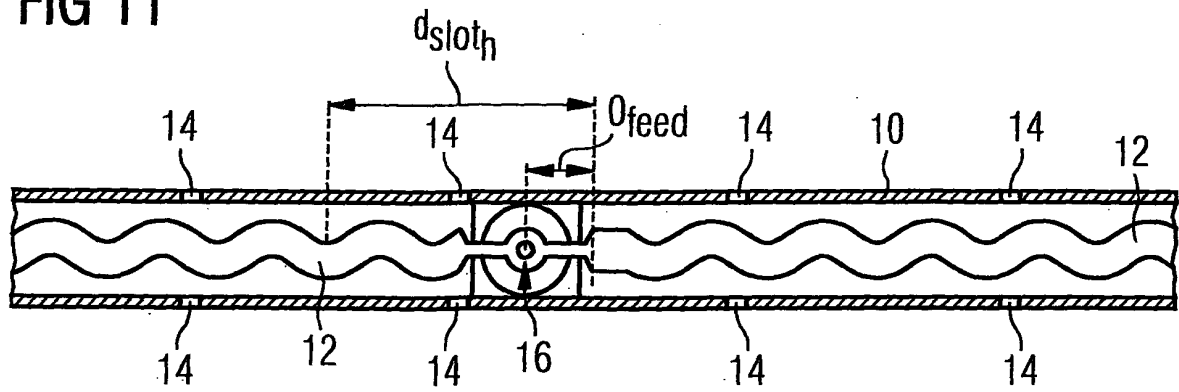


FIG 12

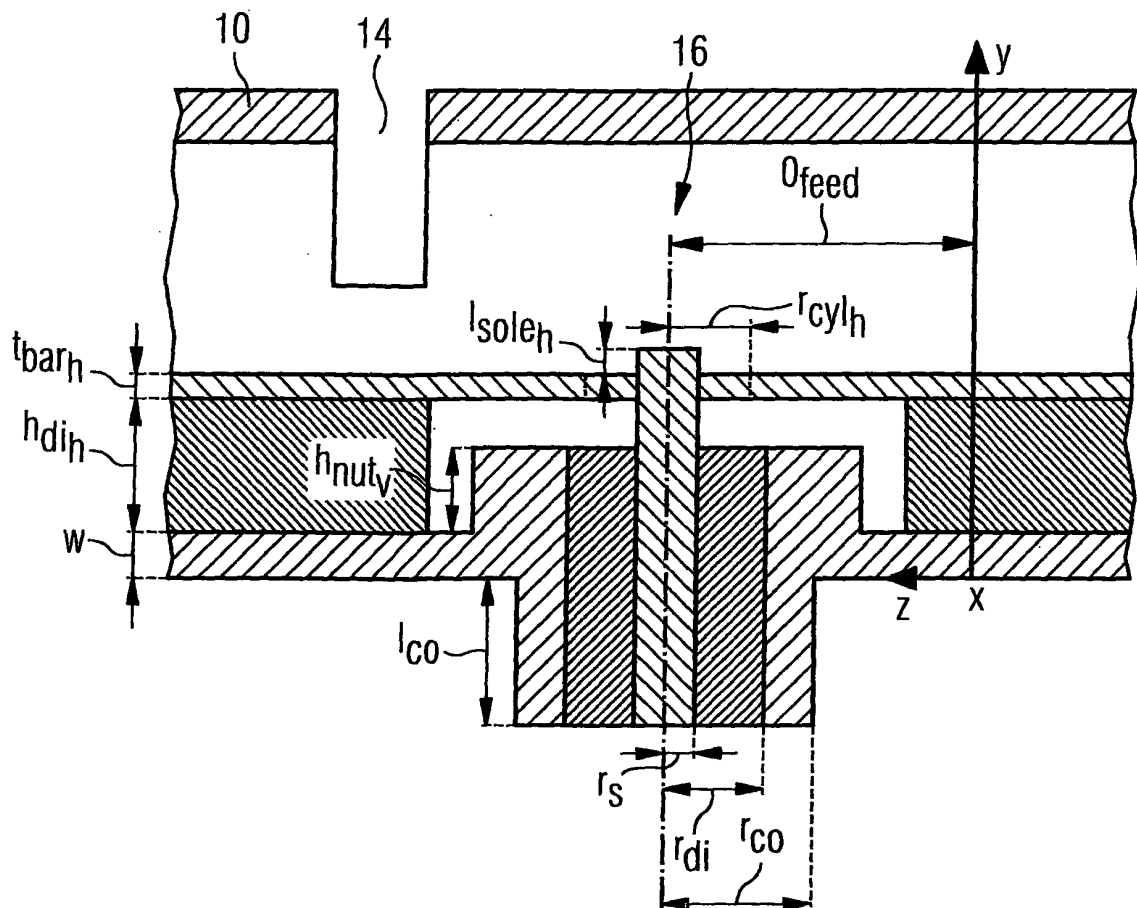


FIG 13

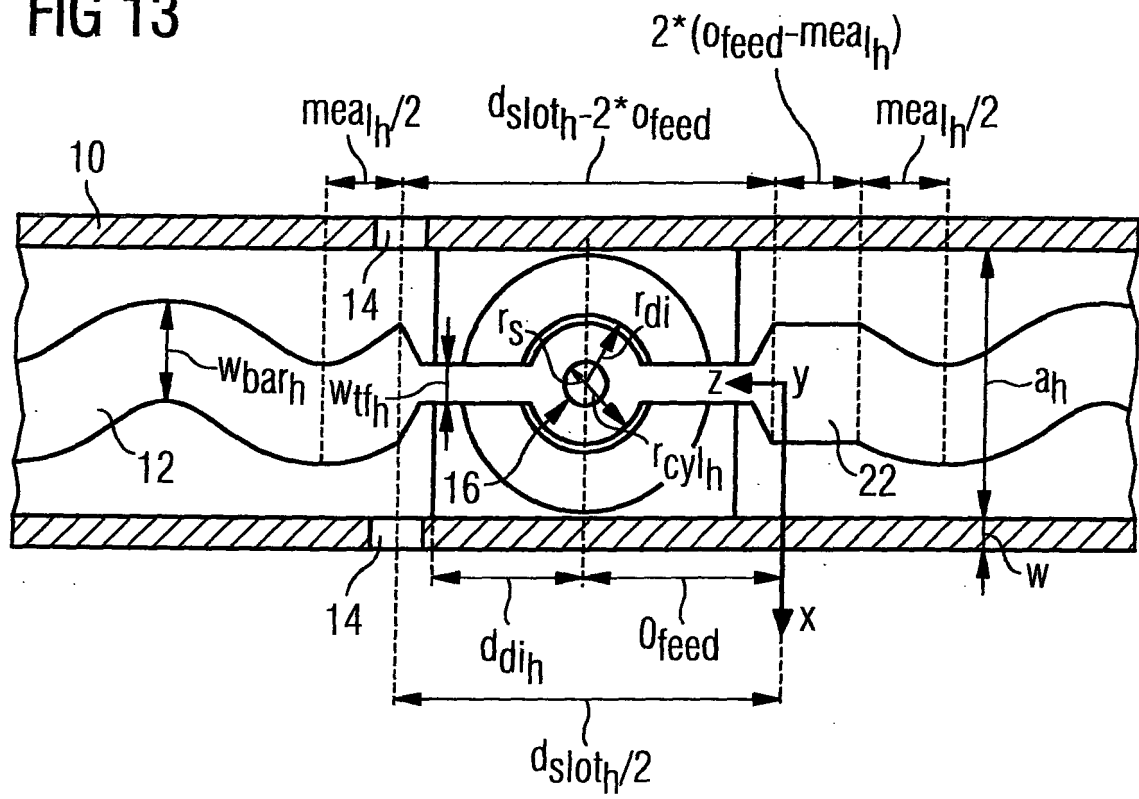


FIG 14

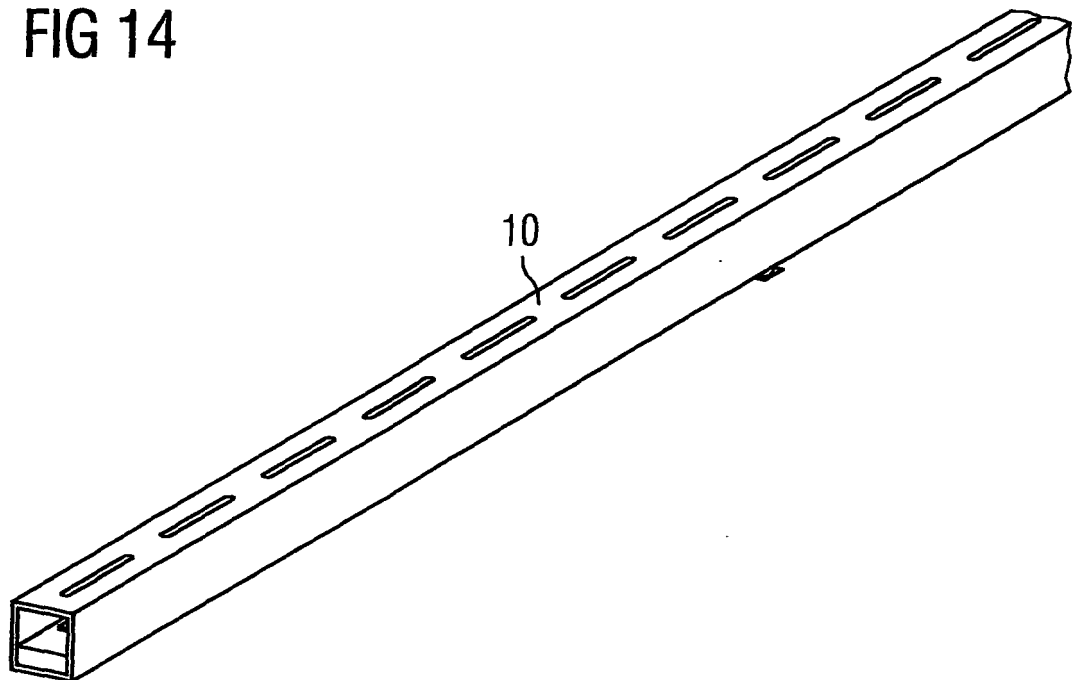


FIG 15

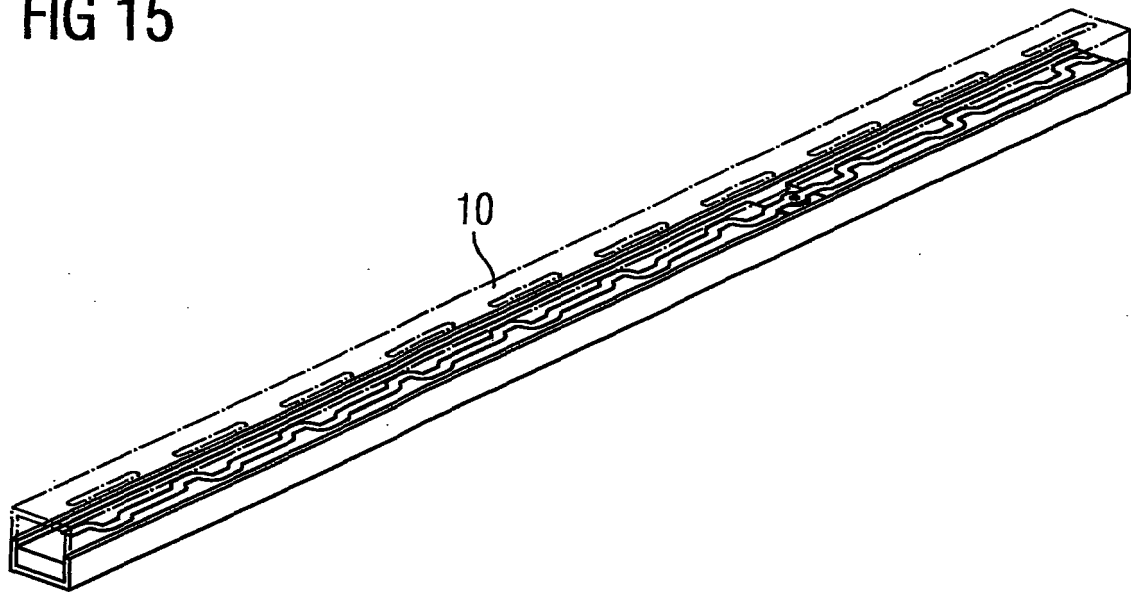


FIG 16

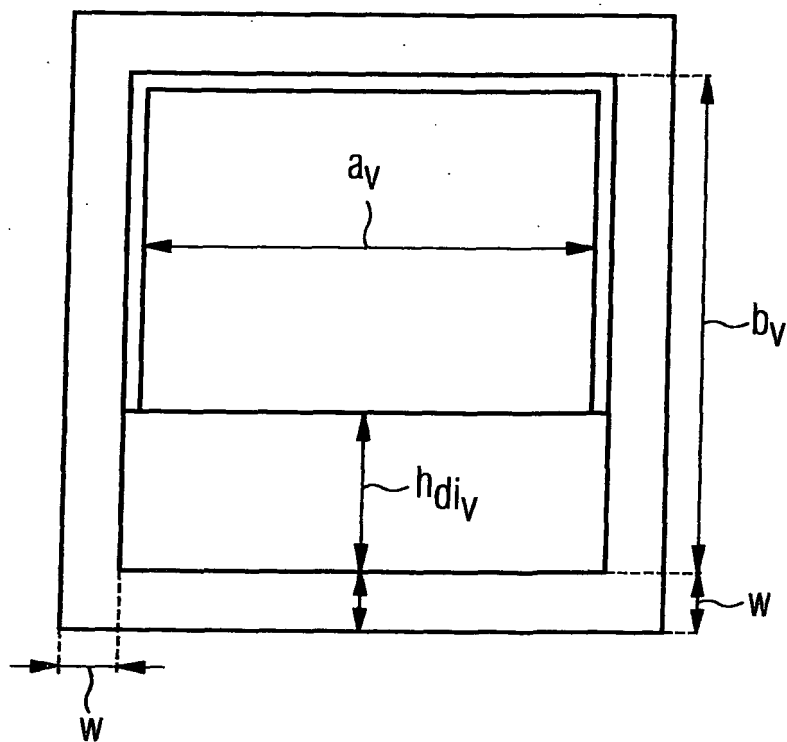


FIG 17

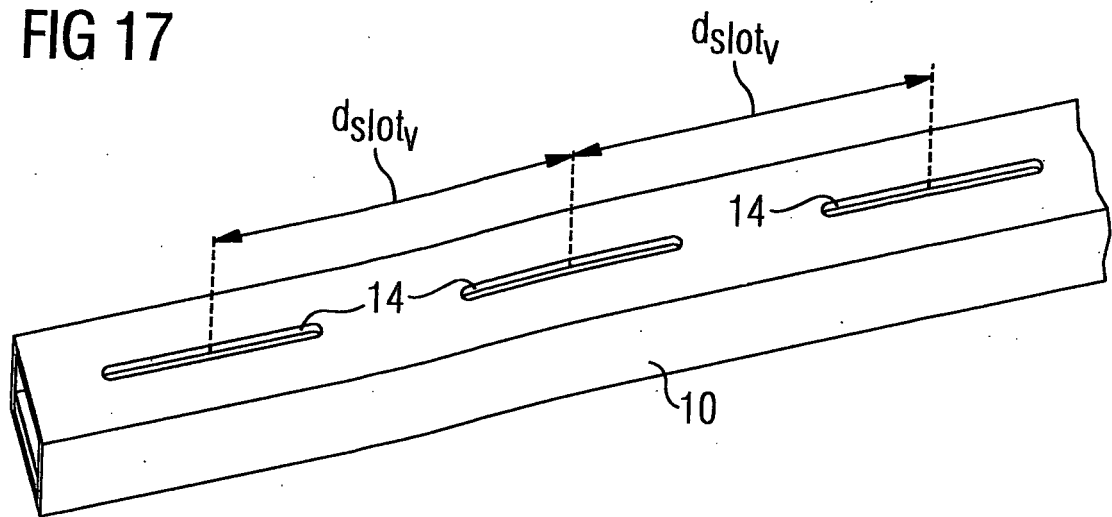


FIG 18

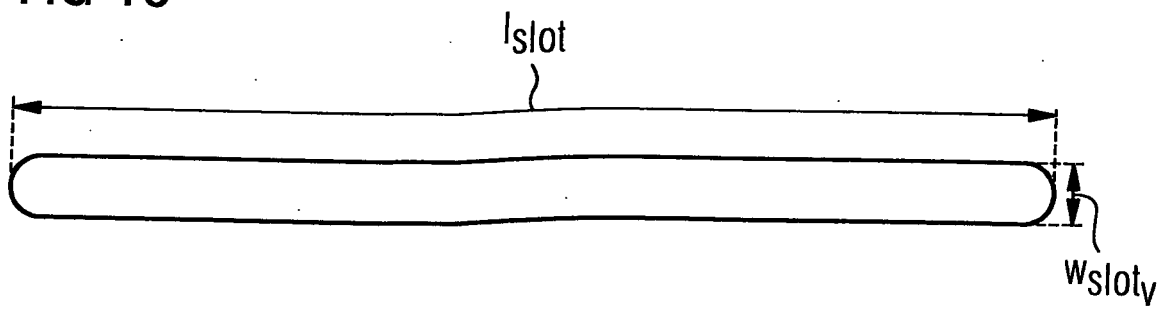


FIG 19

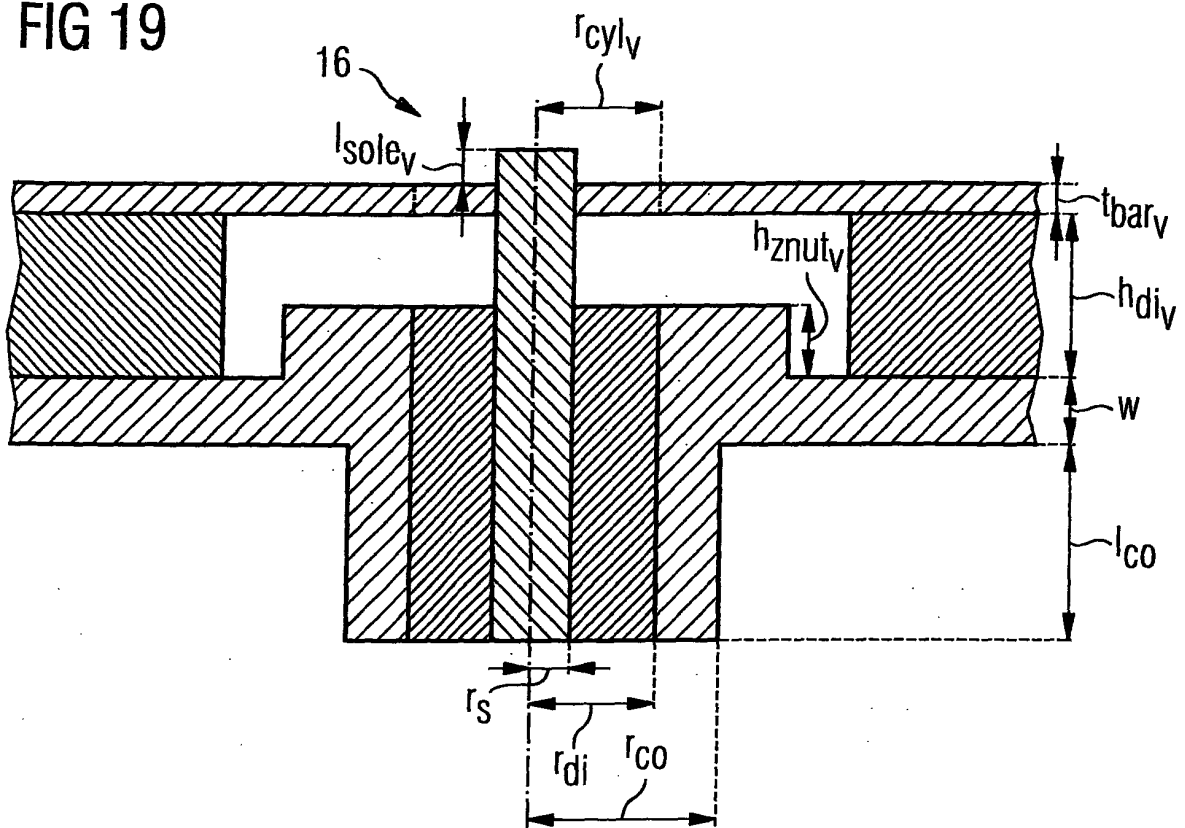


FIG 20

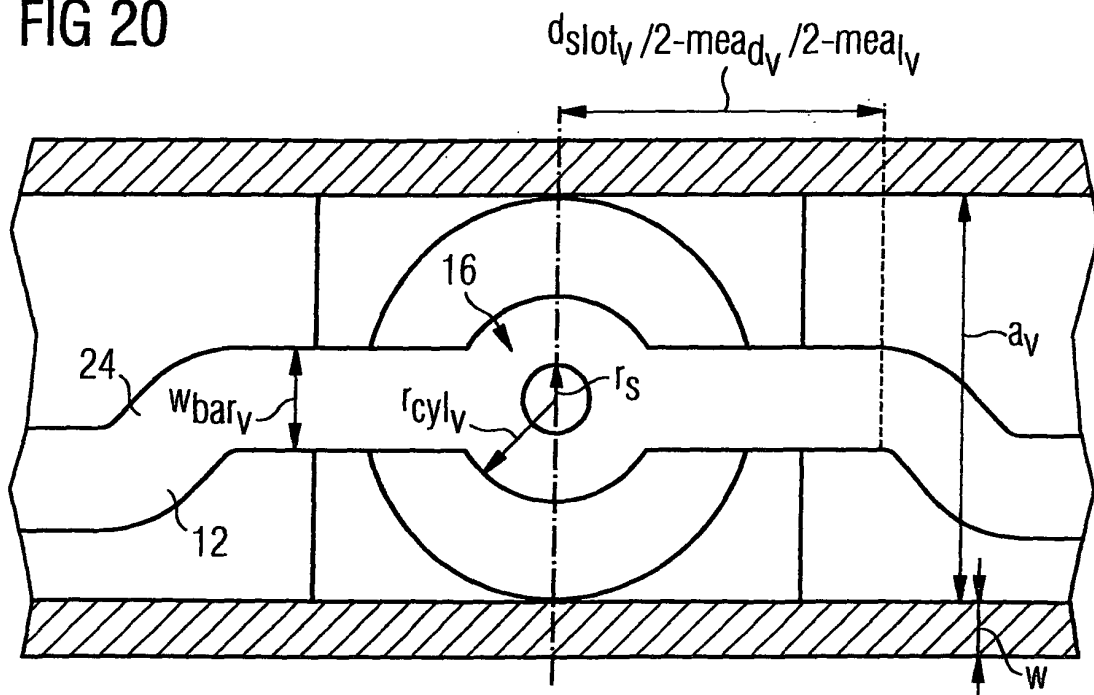


FIG 21

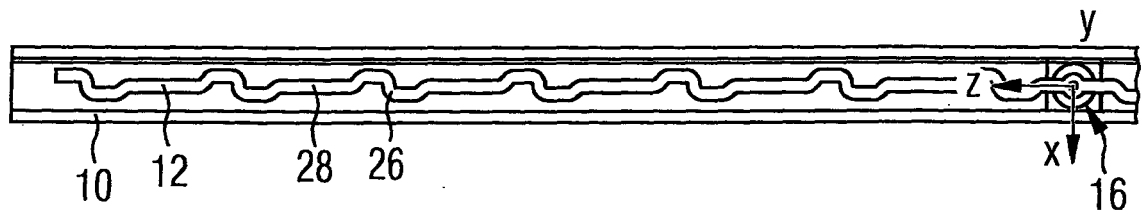


FIG 22

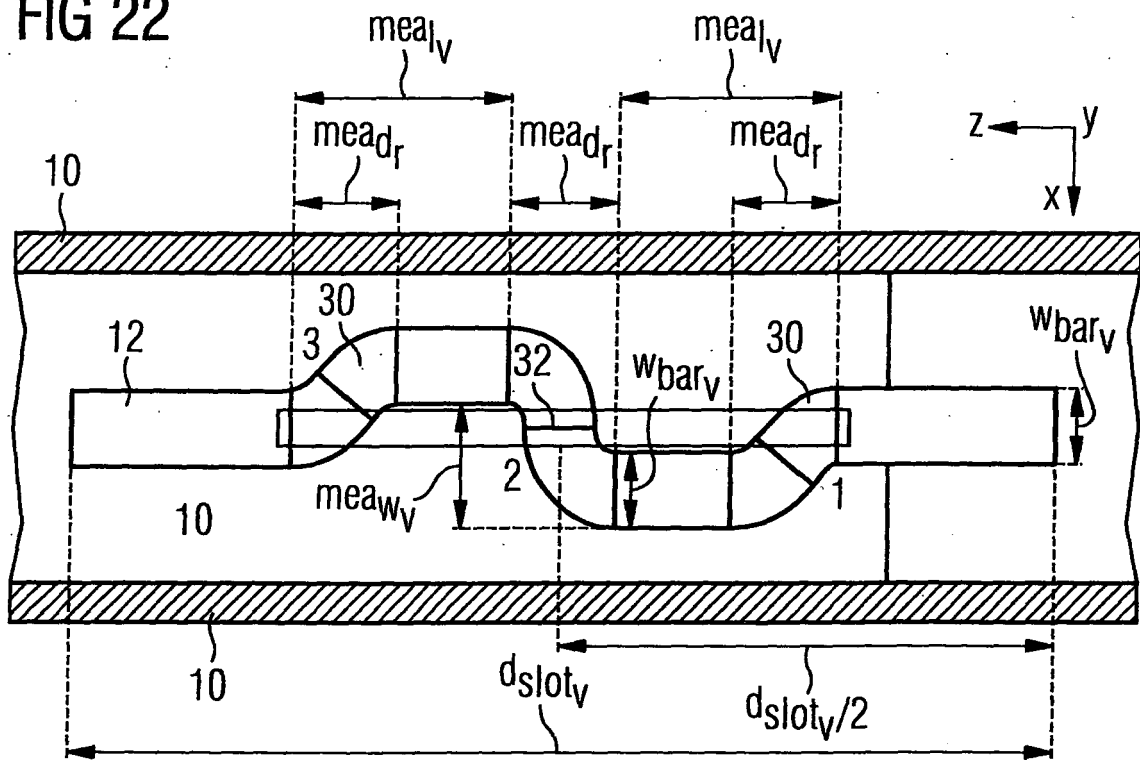


FIG 23

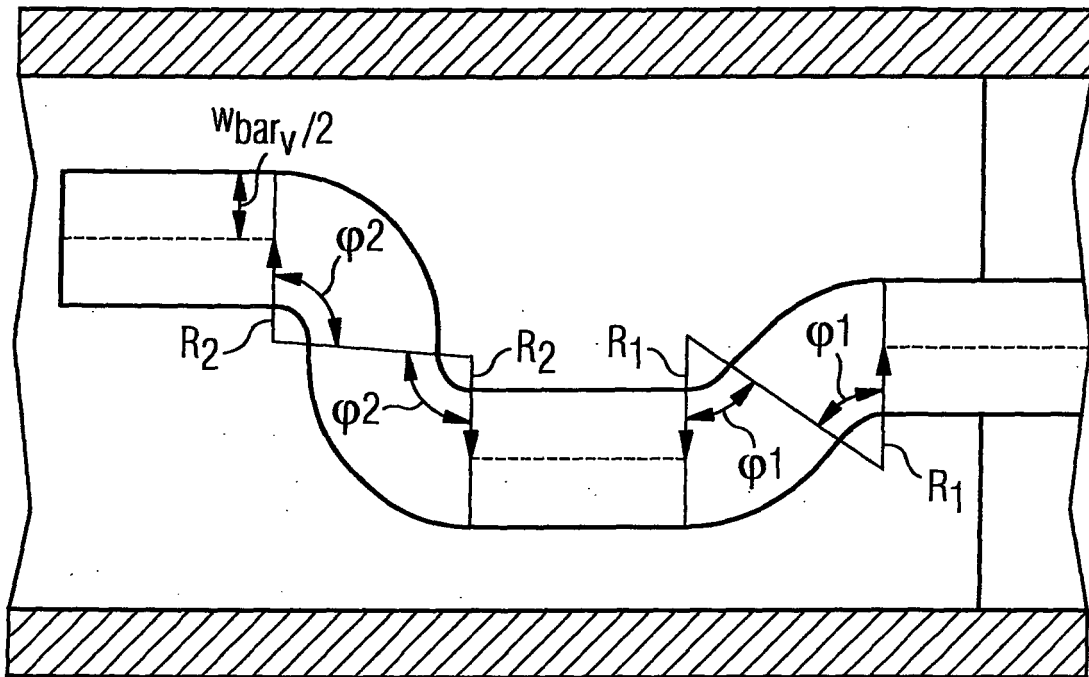


FIG 24

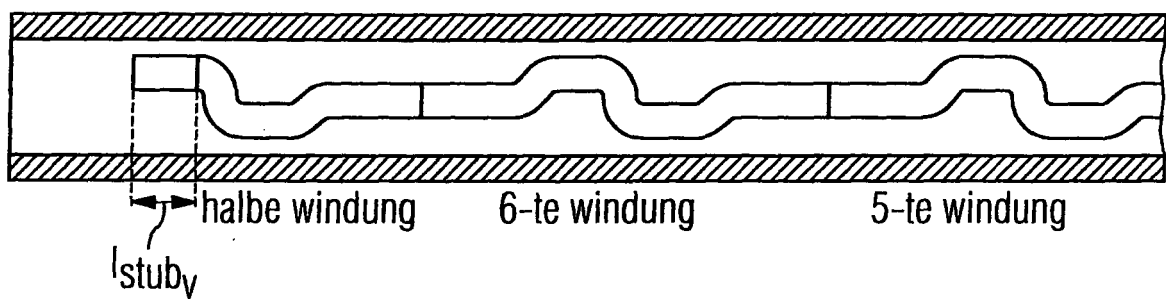


FIG 25

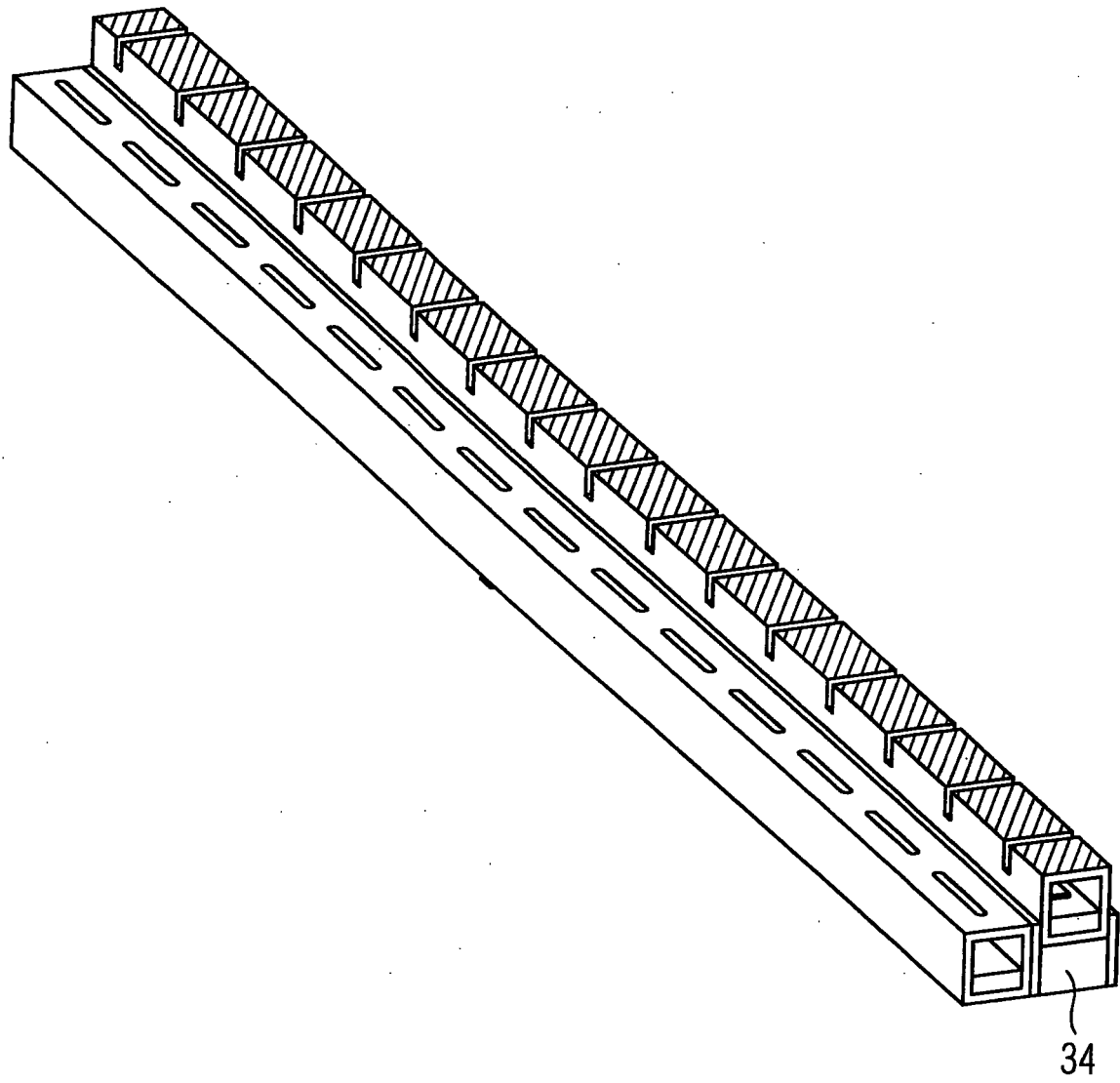


FIG 26

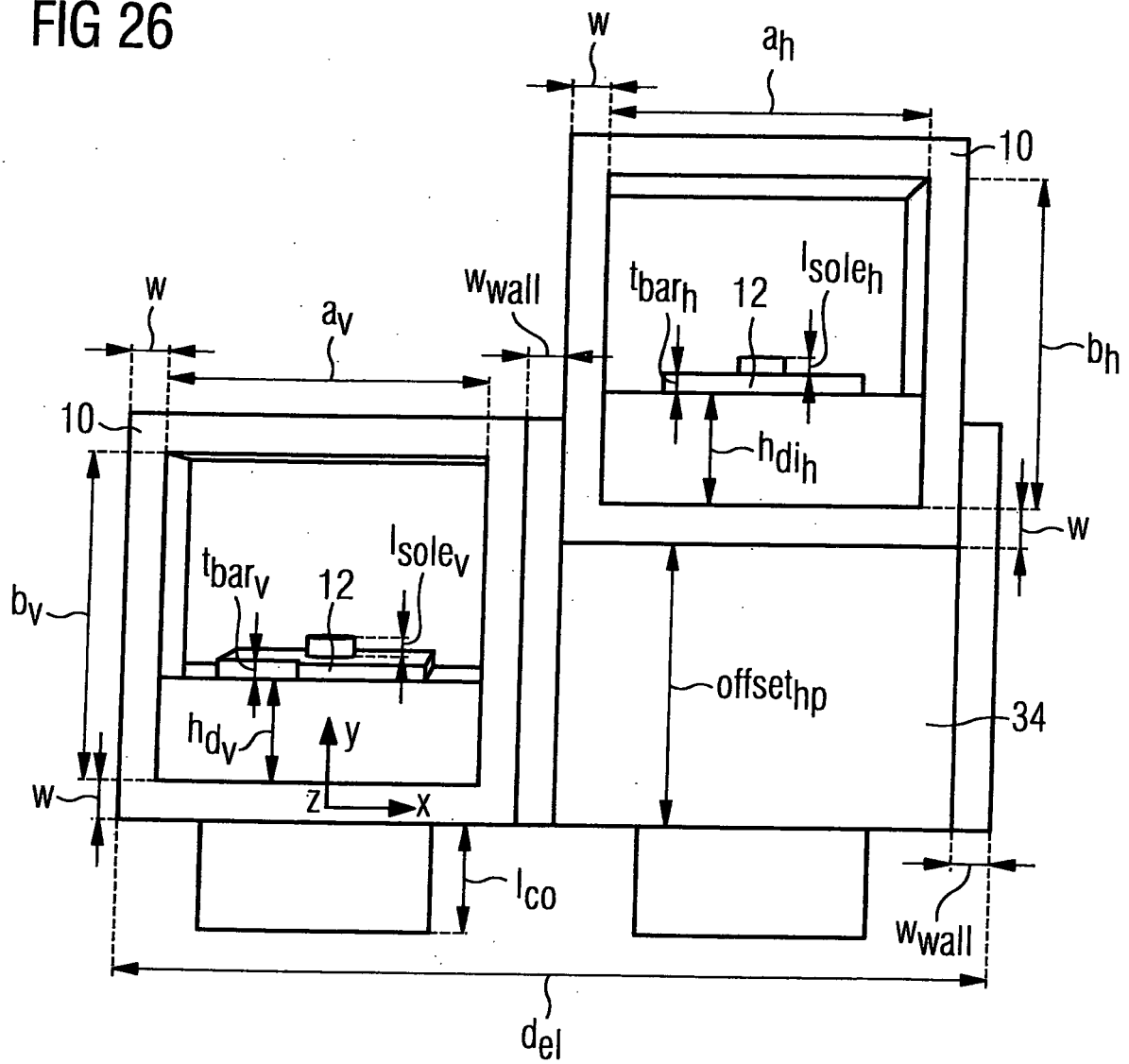


FIG 27

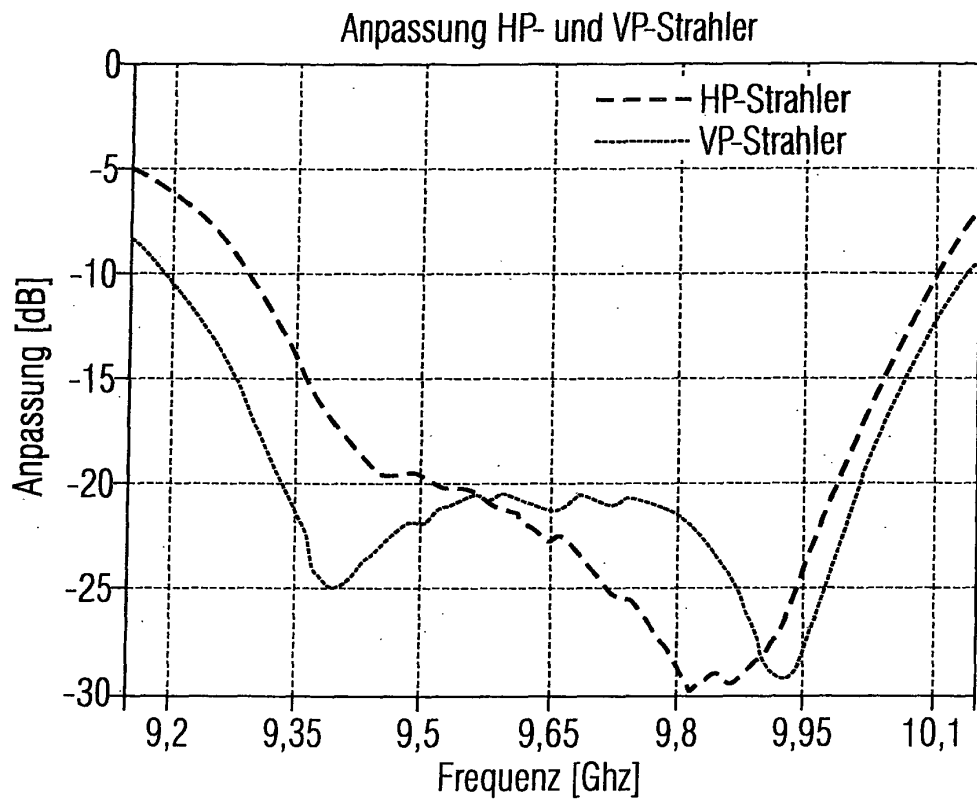


FIG 28

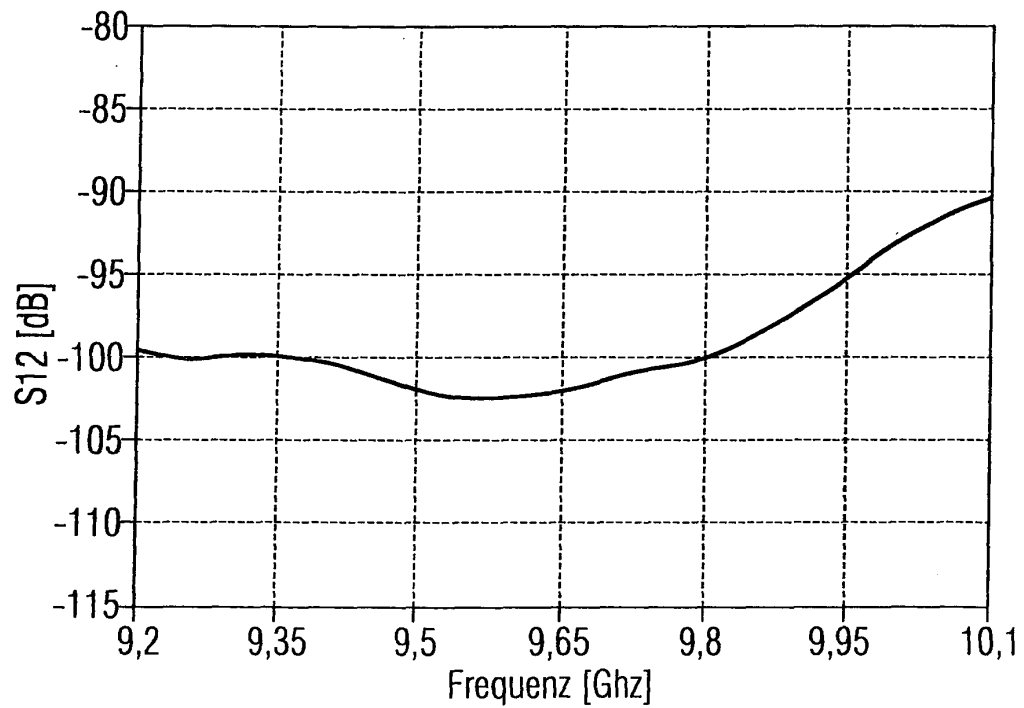


FIG 29

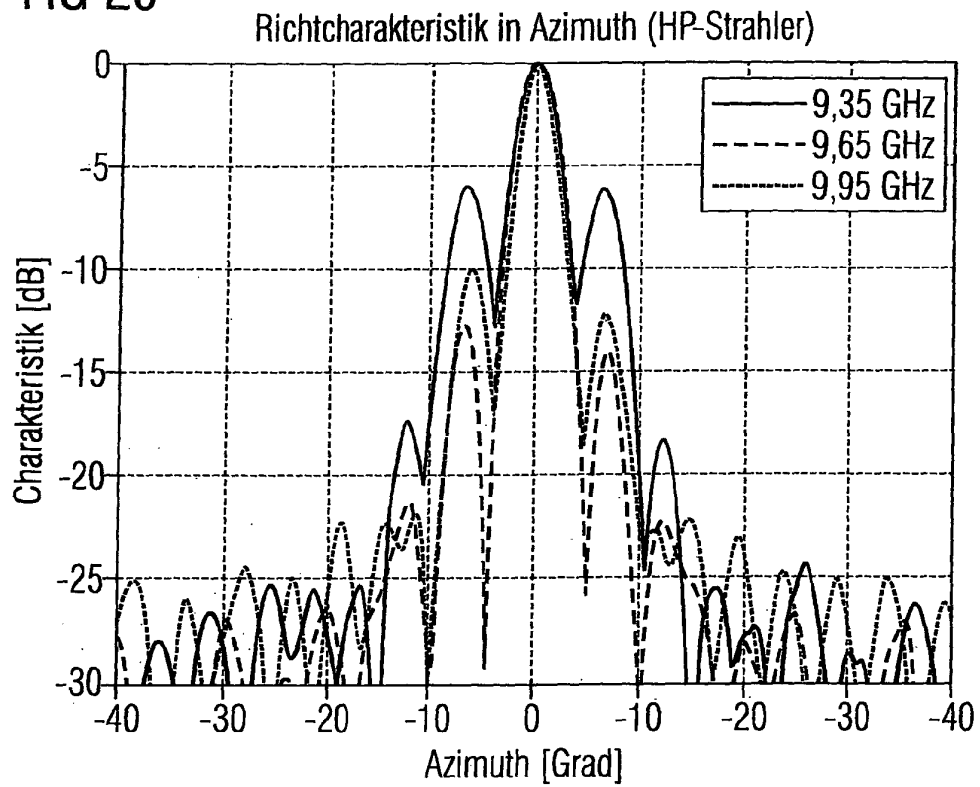
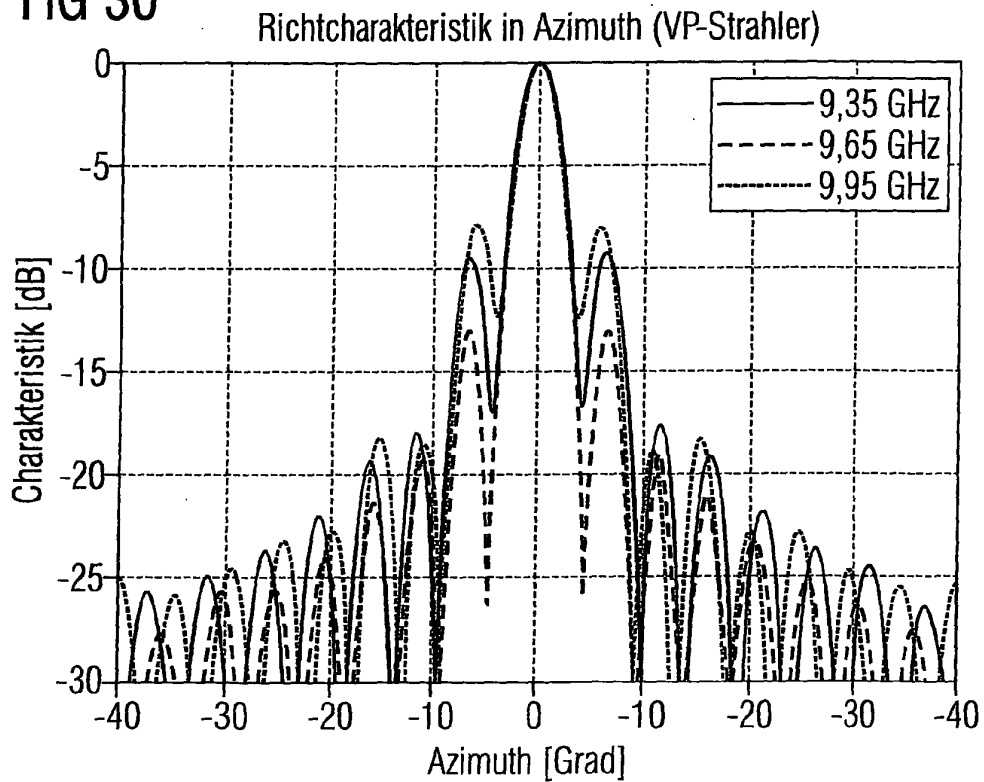


FIG 30



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

- EP 0747994 A2 [0003]