

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 156 272 B1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: **03.06.92**

(51) Int. Cl.⁵: **H01P 1/39**

(21) Anmeldenummer: **85103069.2**

(22) Anmeldetag: **16.03.85**

(54) **Millimeterwellen-Zirkulator.**

(30) Priorität: **29.03.84 DE 3411621**
13.11.84 DE 3441354

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.10.85 Patentblatt 85/40

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
03.06.92 Patentblatt 92/23

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 3 714 608
US-A- 3 895 319

1982 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, Dallas, Texas, US, 15. - 17. Juni 1982, Seiten 252-254, IEEE, New York, US; W. PIOTROWSKI et al.: "Low loss 92-100 GHz circulators"

ARCHIV FÜR ELEKTRONIK UND ÜBERTRAGUNGSTECHNIK, Band 36, Nr. 6, Juni 1982, Seiten 258-260, Würzburg, DE; A.-M. KHILLA: "Aufbau von breitbandigen H-Ebene-Hohleiter-Y-Zirkulatoren"

(73) Patentinhaber: **TELEFUNKEN SYSTEMTECHNIK GMBH**
Sedanstrasse 10
W-7900 Ulm (Donau)(DE)

(72) Erfinder: **Bartels, Stefan, Dipl.-Ing.**
Beethovenstrasse 2
W-7913 Senden(DE)
Erfinder: **Holpp, Wolfgang, Dipl.-Ing.**
Martinsplatz 3
W-7918 Illertissen(DE)

(74) Vertreter: **Schulze, Harald Rudolf, Dipl.-Ing. et al**
TELEFUNKEN SYSTEMTECHNIK GMBH Sedanstrasse 10
W-7900 Ulm(DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

WISSENSCHAFTLICHE BERICHTE AEG-
TELEFUNKEN, Band 54, Nr. 4-5, 1981, Seiten
212-218, Frankfurt/Main, DE; W. HOLPP:
"Hohlleiterzirkulatoren für den
Millimeterwellen-Bereich"

MIKROWELLEN & MILITARY ELECTRONICS
MAGAZIN, Band 11, Nr. 1, Februar 1985, Sei-
ten 22-24,26, Coburg, DE; W. HOLPP et al:
"Breitbandige Mehrmoden-
Hohlleiterzirkulatoren für den Millimeterwel-
lenbereich"

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Millimeterwellen-Zirkulator der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art. Eine ähnliche wirkende Anordnung ist beispielsweise aus dem Artikel von W. Piotrowski et.al: "Low loss 92-100 GHz circulators", MTT-S, 15.-17. Juni 1982, Seite 252-254 bekannt.

Derartige Zirkulatoren sind üblicherweise als Y-Zirkulatoren ausgeführt und werden als nichtreziproke Hohlleiterverzweigung beispielsweise zur Sender-/Empfänger-Entkopplung oder zur Entkopplung einer synchronisierenden Millimeterwellen-Quelle von einem Reflexionsverstärker eingesetzt.

Die Bandbreiten solcher Zirkulatoren liegen typischerweise bei 1-2 %. Da die Resonanzfrequenz der Ferritresonatoren in erster Linie von deren geometrischen Abmessungen abhängt, sind wegen der geringen möglichen Bandbreiten an die mechanischen Toleranzen bei der Ferritherstellung und Montage hohe Anforderungen zu stellen, wenn z. B. eine Mindestsperrdämpfung bei einer vorgegebenen Betriebsfrequenz eingehalten werden muß. Zur Vergrößerung der Bandbreite ist es bekannt, die Güte der Zirkulatoranordnung zu verringern, was aber immer mit einer unerwünschten Zunahme der Durchgangsdämpfung verbunden ist.

Aus US-3 895 319 ist ein Zirkulator, bestehend aus einem kreiszylindrischen Hohlraum, bekannt. Er weist y-förmig angeordnete Hohlleiteranschlußöffnungen auf. Zentrisch sind dielektrische Scheiben auf der Boden- und Deckfläche des Hohlraums angeordnet. Zwischen diesen Scheiben und den Boden- und Deckflächen des Hohlraums sind zusätzliche Impedanzanpassungsscheiben ausgebildet.

Ferner ist von W. Piotrowski und S. Schell in "Low loss 92-100 GHz circulators", IEEE MTT-S, Juni 1982, Seite 252-254 die Ausbildung eines Ferritkörpers zwischen zwei Impedanzanpassungsscheiben, die zwischen zwei parallel verlaufenden Wandungen angeordnet sind, bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Zirkulator der eingangs genannten Art mit gegenüber dem Stand der Technik wesentlich vergrößerter Bandbreite anzugeben.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 beschrieben. Die Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

Die Resonanzfrequenz eines kreiszylindrischen Ferritkörpers gegebenen Materials in der Zirkulatoranordnung ist bei Vernachlässigung von Umgebungseinflüssen eine von der Art des angeregten Schwingungsmodes und den geometrischen Abmessungen des Ferritkörpers abhängige Größe. Ein vorgegebener Ferritkörper hat damit entspre-

chend den verschiedenen Schwingungsmoden (Resonanzen) eine Vielzahl von Resonanzfrequenzen. Andererseits sind durch Vorgabe einer gewünschten Resonanzfrequenz in einem bestimmten Schwingungsmoden die geometrischen Abmessungen des Ferritkörpers in den frequenzbestimmenden Dimensionen, also Durchmesser und/oder Höhe des Ferritzylinders, festgelegt. Die theoretischen Beziehungen zwischen den einzelnen Bestimmungsgrößen sind vielfach beschrieben und werden für die vorliegende Erfindung als bekannt vorausgesetzt.

Erfindungsgemäß wird der Ferritkörper in der Zirkulatoranordnung durch die mit der Betriebsfrequenz der Millimeterwellen-Anordnung schwingende, dem Zirkulator zugeführte Welle in mehreren und höheren Schwingungsmoden (Resonanzen) als dem Grundschiwingungsmoden angeregt. Wesentlich dabei ist, daß die Resonanzfrequenzen der beispielsweise zwei angeregten Schwingungsmoden eng beieinanderliegen, vorzugsweise einen Frequenzabstand von weniger als 10 % ihres arithmetischen Mittelwertes aufweisen. Diese Schwingungsmoden sind dann bei entsprechend breitbandiger Anregung gleichzeitig existent und die den einzelnen Schwingungsmoden entsprechenden Übertragungscharakteristiken ergänzen sich zu einer neuen Charakteristik mit wesentlich größerer Betriebsbandbreite. Die Fertigungsvorgaben sind dann vorteilhafterweise so aufzustellen, daß mit vergleichsweise geringen Anforderungen an die Toleranzen die Mitte des Betriebsbandes mit der vorgegebenen Betriebsfrequenz zusammenfällt. Durch die wesentlich höhere Betriebsbandbreite können Abweichungen infolge von Fertigungstoleranzen in weit größerem Maße in Kauf genommen werden.

Als besonders vorteilhaft ist eine Ausführungsform der Erfindung anzusehen, bei welcher der Ferritkörper so dimensioniert ist, daß die Betriebsfrequenz im Bereich der Resonanzfrequenzen des Ferritkörpers im H_{011} - und im H_{211} -Schwingungsmoden liegt. Als Resonanzfrequenzen des Ferritkörpers sind hierbei und im folgenden die Resonanzfrequenzen eines den Ferritkörper umschließenden Hohlraumresonators mit metallischen Wänden verstanden. (Indizierung nach allgemeiner Benennung von Resonanzen in kreiszylindrischen Resonatoren, siehe z. B. Meinke/Gundlach, Taschenbuch der Hochfrequenztechnik). Bei einer geforderten Sperrdämpfung von mindestens 20 dB hat diese Anordnung eine relative Bandbreite von rund 8 %. Darüber hinaus ergibt sich bei dieser Wahl der Schwingungsmoden für den Ferritkörper der wesentliche Vorteil, daß die Resonanzfrequenzen in beiden Schwingungsmoden im wesentlichen nur von der Höhe des Ferritkörpers abhängen. Die Höhe kann als Abstand zweier planparalleler Flächen bei der Fertigung z. B. durch Läppverfahren

mit wesentlich größerer Genauigkeit eingehalten werden als der Durchmesser eines Kreiszylinders.

Die Funktion des Zirkulators wird stark mitbestimmt durch die für den Resonanzkörper an seinen Grenzflächen geltenden Randbedingungen. Für die besonders vorteilhaften H_{011} - und H_{211} -Schwingungsmoden sind am Rande des Dielektrikum allseitige magnetische Grenzflächen erforderlich, d. h. an den Grenzflächen des Ferritkörpers sollen sowohl das Resonanzfeld im Ferritkörper als auch das anregende Wellenfeld keine flächenparallele Komponente des magnetischen Feldes aufweisen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind hierzu die den Ferritkörper mechanisch fixierenden dielektrischen Abstandsscheiben zwischen dem Ferritkörper und den Hohlleitergrundseiten durch geeignete Materialwahl in ihrer Dielektrizitätskonstante so auf die Scheibendicke und die Betriebsfrequenz abgestimmt, daß die Scheibendicke einer Viertelwellenlänge bezogen auf eine sich in den Scheiben senkrecht zu den Hohlleitergrundseiten fortpflanzende Welle bei der Betriebsfrequenz (Mittenfrequenz des Betriebsfrequenzbands) entspricht. Hierdurch wird der an den Hohlleitergrundseiten gegebene elektrische Kurzschluß in einen elektrischen Leerlauf an den planparallelen Grenzflächen des Ferritkörpers transformiert.

Um eine ungestörte Ausbildung beider Schwingungsmoden zu gewährleisten, ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung die Hohlleiterverzweigung zu einem kreiszylindrischen Hohlraumresonator erweitert.

Die Erfindung ist nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die Abbildungen noch veranschaulicht. Dabei zeigt

- FIG. 1 den Frequenzverlauf der Sperrdämpfung bei einem Zirkulator aus dem Stand der Technik
- FIG. 2 den Frequenzverlauf der Sperrdämpfung bei einem erfindungsgemäßen Zirkulator
- FIG. 3 den Feldverlauf bei der H_{011} -Resonanz
- FIG. 4 den Feldverlauf bei der H_{211} -Resonanz
- FIG. 5 ein Schnittbild durch einen Zirkulator in Draufsicht
- FIG. 6 ein Schnittbild durch einen Zirkulatoraufbau in Seitenansicht mit einer Hohlleiterhöhenreduzierung gemäß dem Stand der Technik.
- FIG. 7 ein Schnittbild durch einen erfindungsgemäßen Zirkulatoraufbau in Seitenansicht.

Bei einer geforderten Sperrdämpfung von mindestens 20 dB hat ein gebräuchlicher Zirkulator aus dem Stand der Technik, dessen Frequenzab-

hängigkeit der Sperrdämpfung in FIG. 1 skizziert ist, beispielsweise eine Betriebsbandbreite von nur 1-2 %, bei einer Betriebsfrequenz von 100 GHz also z. B. nur 1-2 GHz Bandbreite. Die Einhaltung entsprechender Toleranzen bei der Fertigung ist bei den im Millimeter- und Submillimeterbereich liegenden Abmessungen der Ferritkörper, insbesondere hinsichtlich des Durchmessers der kreiszylindrischen Körper kaum mit vertretbarem Aufwand möglich, so daß die genaue Frequenzeinstellung durch nachträgliche Selektion und externe Anpassnetzwerke erfolgen muß.

Demgegenüber ergibt sich beim erfindungsgemäßen Aufbau eines Zirkulators eine Frequenzabhängigkeit der Sperrdämpfung, wie sie in FIG. 2 skizziert ist. Die beiden Resonanzfrequenzen f_1 und f_2 liegen so eng beieinander, daß auch zwischen den beiden Dämpfungsmaxima die Sperrdämpfung überall besser ist als die geforderten 20 dB. Bei einer relativen Betriebsbandbreite von ca. 8 % ist ein erfindungsgemäßer Zirkulator erheblich unempfindlicher gegen Toleranzen bei der Herstellung und Montage der Ferritkörper, so daß i. a. nachträglich Abstimmungen entfallen oder mit geringem Aufwand durchgeführt werden können.

Bei der H_{011} -Resonanz, deren auf die Ebene der Hohlleiterverzweigung projizierter Feldlinienverlauf im Ferritkörper in FIG. 3 skizziert ist, hat das elektrische Feld keine Komponente in Richtung der Achse des kreiszylindrischen Ferritkörpers. Dies gilt auch für die H_{211} -Resonanz, deren Feldlinienverlauf in FIG. 4 skizziert ist. Die Magnetfeldlinien (gestrichelt) sind räumliche Kurven, die in den Raum vor und hinter der Bildebene hineingreifen.

FIG. 5, FIG. 6 zeigen in Schnittbildern eine Zirkulatoranordnung, in welcher diese Schwingungsmoden H_{011} und H_{211} angeregt werden. Die Anregung erfolgt in dem Fachmann geläufiger Art über den Hohlleiteranschlußarm 1 mit einer Welle, beispielsweise vom Rechteckhohlleitermode H_{10} . Die Y-Hohlleiterverzweigung ist zu einem kreiszylindrischen Hohlraumresonator 2 erweitert. Eine der Hohlleitergrundseiten des Resonators ist zur Impedanzanpassung mit einer die Hohlleiterhöhe reduzierenden, linearen Taperung 3 versehen. Hierbei ist dem Fachmann bekannt, eine Impedanzanpassung mittels einer Reduzierung der Hohlleiterhöhe zu erreichen. Diese Höhenreduzierung kann auch in Form einer kreisförmig umlaufenden Stufe erfolgen. Im Zentrum des Hohlraumresonators ist der kreiszylindrische Ferritkörper 4 durch zwei Kunststoffscheiben 5 isoliert gegen beide Hohlleitergrundseiten angeordnet. Der Ferritkörper hat die Form einer flachen Scheibe. Die Abmessungen liegen bei etwa 0,5 mm Höhe und 1,5 mm Durchmesser für eine Betriebsfrequenz von rund 93 GHz. Die Kunststoffscheiben haben einen geringfügig größeren Durchmesser als der Ferritkörper und

weisen an ihrem Rand einen Kragen auf, in den der Ferritkörper eingelegt wird. Die Kunststoffscheiben ihrerseits sind in Sacklöcher in den Grundseiten des Hohlraumresonators eingesetzt. Dadurch ergibt sich eine selbständige Zentrierung des Ferritkörpers im Zentrum des Hohlraumresonators. Die Tiefe der Sacklöcher ist möglichst klein, um Feldverzerrungen der Stufe am Lochrand gering zu halten. Die beiden Permanentmagnete 6 erzeugen das erforderliche magnetische Gleichfeld.

FIG. 7 zeigt eine bevorzugte, weil besonders vorteilhafte Zirkulatoranordnung als Schnittbild in Seitenansicht. Die zum Hohlraumresonator 2 erweiterte Y-Hohlleiterverzweigung weist hier keine Grundseiten-Taperung auf, was sowohl in mechanischer als auch in elektromagnetischer Hinsicht von Vorteil ist. Die Anpassung erfolgt hier ausschließlich durch die Materialwahl bei den dielektrischen Abstandsscheiben 5. Die Abmessungen des Ferritkörpers 4 sind durch die Betriebsfrequenz und die gewünschten Schwingungsmoden H_{011} und H_{211} festgelegt. Die dielektrischen Abstandsscheiben haben den gleichen Durchmesser D wie der Ferritkörper 4. Die Abstandsscheiben 5 sind vorteilhafterweise mit dem Ferritkörper an den planen Flächen fest verklebt und bilden mit diesem einen kreiszylindrischen Körper mit einheitlicher Mantelfläche. Die Herstellung eines solchen zylindrischen Körpers erfolgt vorteilhafterweise aus einem Halbzeug, das aus einer Ferritscheibe und zwei auf diese geklebten dielektrischen Abstandsscheiben besteht. Die Herstellung des zylindrischen Körpers beschränkt sich dann im wesentlichen auf die Bearbeitung der Mantelfläche zur Erzielung des geforderten Durchmessers D. Die Klebeverbindungen der Ferritscheibe mit den Abstandsscheiben bleibt über alle Bearbeitungsvorgänge erhalten. Sowohl die Ferritscheibe als auch die Abstandsscheiben weisen bereits vor der Bearbeitung der Zylindermantelfläche genau die für den späteren Einsatz im Zirkulator erforderliche Dicke auf. Die Dicke des Ferritkörpers ist durch die gewünschten Schwingungsmoden H_{011} und H_{211} und die Betriebsfrequenz festgelegt. Da die Höhe der Hohlleiterverzweigung ohne Taperung gleich der Höhe des anregenden Hohlleiters ist, ist auch die Dicke d der Abstandsscheiben 5 vorgegeben. Die Anpassung der Zirkulatoranordnung an die zuführenden Hohlleiter erfolgt hierbei dadurch, daß das für die Abstandsscheiben verwandte dielektrische Material unter Berücksichtigung seiner Dielektrizitätskonstante ϵ_r so gewählt ist, daß die Dicke d der Scheiben gleich einer Viertelwellenlänge bezogen auf eine sich senkrecht zu den Hohlleitergrundseiten (in x-Richtung) in den Scheiben ausbreitende elektromagnetische Welle der Betriebsfrequenz ist. In erster Näherung ergibt sich die Wellenlänge einer solchen Welle über den Faktor $1/\sqrt{\epsilon_r}$ aus der

Freiraumwellenlänge. Hierdurch wird der durch die Hohlleitergrundseiten gebildete elektrische Kurzschluß jeweils in einen elektrischen Leerlauf an den planen Grenzflächen des Ferritkörpers transformiert. Die Forderung nach einer magnetischen Grenzfläche des Ferritkörpers ist damit optimal erfüllt.

Patentansprüche

1. Millimeterwellen-Zirkulator, bestehend aus einem Hohlraumresonator mit drei Hohlleiteranschlußarme (1) und einem zentrisch angeordneten zylindrischen Ferritkörper (4) mit dielektrischen Abstandsscheiben (5) an seinen Stirnflächen, wobei die Betriebsfrequenz des Zirkulators im Bereich mindestens Zweier eng benachbarter Resonanzfrequenzen höherer Ordnung als der des Grundswingungsmoden liegt, dadurch gekennzeichnet, daß
 - der Hohlraumresonator (2) zylinderförmig ist;
 - die Hohlleiteranschlußarme (1) y-förmig angeordnet sind;
 - die Anpassung des Zirkulators im wesentlichen durch die Dimension- und Materialwahl des Ferritkörpers (4) und der Abstandsscheiben (5) erfolgt;
 - in dem Ferritkörper (4) H_{011} und H_{211} Schwingungsmodenangeregt sind.
2. Zirkulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Frequenzabstand der eng benachbarten Resonanzfrequenzen weniger als 10 % ihres arithmetischen Mittelwertes beträgt.
3. Zirkulator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ferritzylinder symmetrisch zwischen den Hohlleitergrundseiten angeordnet und gegen beide Hohlleitergrundseiten isoliert ist.
4. Zirkulator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Ferritkörper durch zwei dielektrische Abstandsscheiben gegen die Hohlleitergrundseiten isoliert ist.
5. Zirkulator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der dielektrischen Abstandsscheiben und die Dielektrizitätskonstante des Materials der Abstandsscheiben so gewählt sind, daß die Scheibendicke gleich einer Viertelwellenlänge, bezogen auf eine sich in den Scheiben senkrecht zu den Hohlleitergrundseiten fortpflanzende Welle der Betriebsfrequenz ist.

6. Zirkulator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstandsscheiben mit dem Ferritkörper verklebt sind und einen einheitlichen zylindrischen Körper bilden.

7. Zirkulator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlleiterhöhe im Verzweigungsbereich gleich der der Zuleitungshohlleiter ist.

Claims

1. Millimetre wave circulator consisting of a cavity resonator with three waveguide connecting arms (1) and a centrally arranged cylindrical ferrite body (4) with dielectric spacer discs (5) at its end faces, wherein the operating frequency of the circulator lies in the range of at least two closely adjacent resonance frequencies of higher order than that of the fundamental oscillation mode, characterised thereby, that
 - the cavity resonator (2) is of cylindrical shape,
 - the waveguide connecting arms (1) are arranged in y-shape,
 - the matching of the circulator takes place substantially by the choice of the dimensions and material of the ferrite body (4) and the spacer discs (5) and
 - H_{011} and H_{211} oscillation modes are excited in the ferrite body (4).
2. Circulator according to claim 1, characterised thereby, that the frequency spacing of the closely adjacent resonance frequencies amounts to less than 10% of their arithmetic mean value.
3. Circulator according to claim 1 or 2, characterised thereby, that the ferrite cylinder is arranged symmetrically between the waveguide base sides and insulated from both waveguide base sides.
4. Circulator according to claim 3, characterised thereby, that the ferrite body is insulated from the waveguide base sides by two dielectric spacer discs.
5. Circulator according to claim 4, characterised thereby, that the thickness of the dielectric spacer discs and the dielectric constant of the material of the dielectric spacer discs is so selected that the disc thickness is equal to a quarter wavelength referred to a wave at the operating frequency propagating in the discs perpendicularly to the waveguide base sides.

6. Circulator according to claim 5, characterised thereby, that the spacer discs are cemented together with the ferrite body and form a unitary cylindrical body.

7. Circulator according to one of the claims 1 to 6, characterised thereby, that the waveguide height in the branching region is equal to that of the feed waveguides.

Revendications

1. Circulateur à ondes millimétriques, constitué d'une cavité résonnante possédant trois bras de raccordement en guide d'ondes creux (1) et un corps de ferrite (4) cylindrique placé au centre et muni à ses faces d'extrémité de disques diélectriques d'espacement (5), la fréquence de service du circulateur étant comprise dans le domaine d'au moins deux fréquences de résonance très rapprochées l'une de l'autre et d'ordre supérieur à celui du mode fondamental, caractérisé en ce que
 - la cavité résonnante (2) est de forme cylindrique;
 - les bras de raccordement en guide d'ondes creux (1) soit disposés en y;
 - l'adaptation du circulateur s'effectue essentiellement par le choix des dimensions et du matériau du corps de ferrite (4) et des disques d'espacement (5); et
 - les modes d'oscillation H_{011} et H_{211} sont excités dans le corps de ferrite (4).
2. Circulateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'écart de fréquence des fréquences de résonance très proches l'une de l'autre est inférieur à 10 % de leur moyenne arithmétique.
3. Circulateur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le cylindre de ferrite est disposé symétriquement entre les côtés de base du guide d'ondes et est isolé vis-à-vis de ces deux côtés de base.
4. Circulateur selon la revendication 3, caractérisé en ce que le corps de ferrite est isolé vis-à-vis des côtés de base du guide d'ondes par deux disques diélectriques d'espacement.
5. Circulateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'épaisseur des disques diélectriques d'espacement et la constante diélectrique du matériau des disques d'espacement sont choisies de manière que l'épaisseur des dis-

ques soit égale à un quart d'onde d'une onde de la fréquence de service se propageant dans les disques en direction perpendiculaire aux côtés de base du guide d'ondes.

6. Circulateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les disques d'espacement sont collés au corps de ferrite et forment avec lui une pièce cylindrique unitaire.

5

7. Circulateur selon une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la hauteur du guide d'ondes dans la région de la ramification est égale à la hauteur du guide d'ondes creux d'alimentation.

10

15

20

25

30

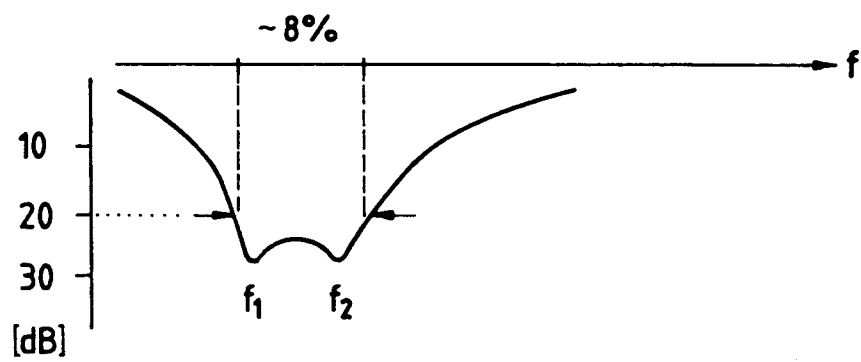
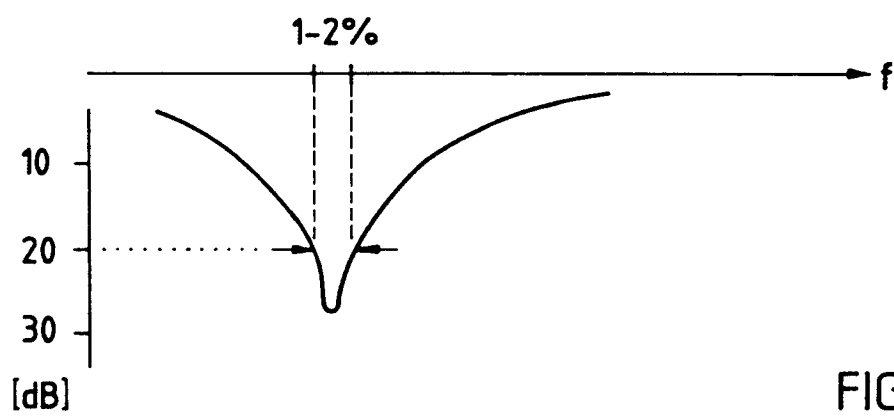
35

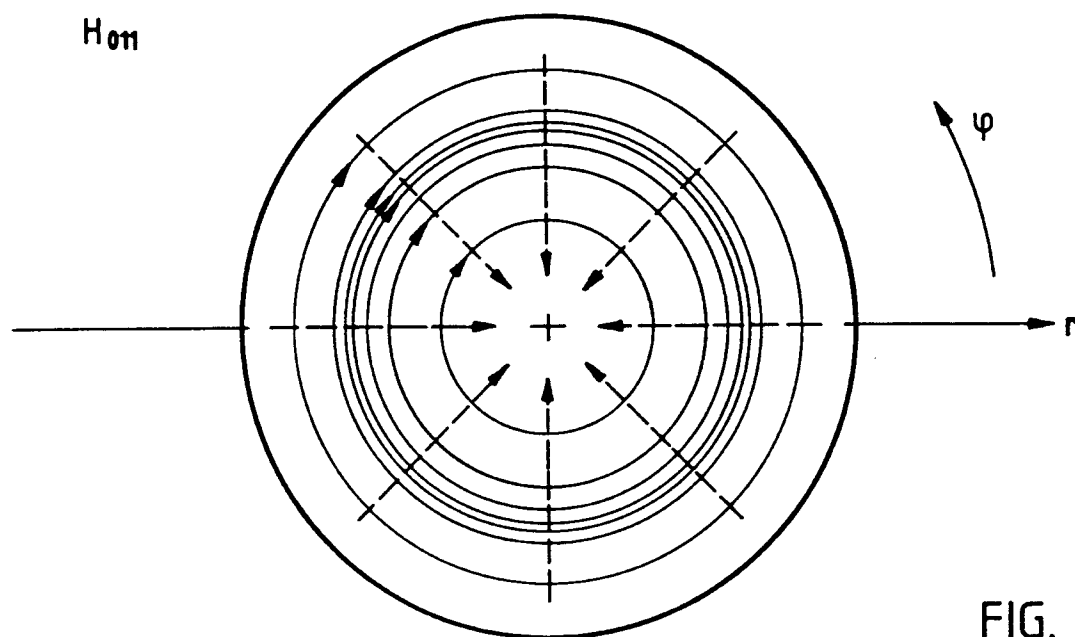
40

45

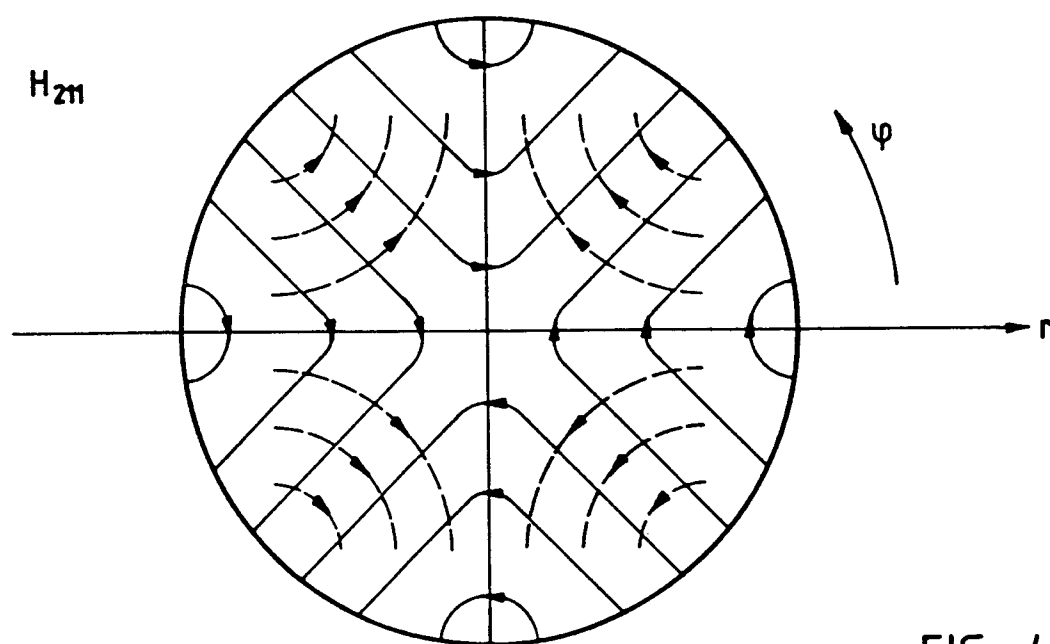
50

55





—— E-Feld
 ---- H-Feld



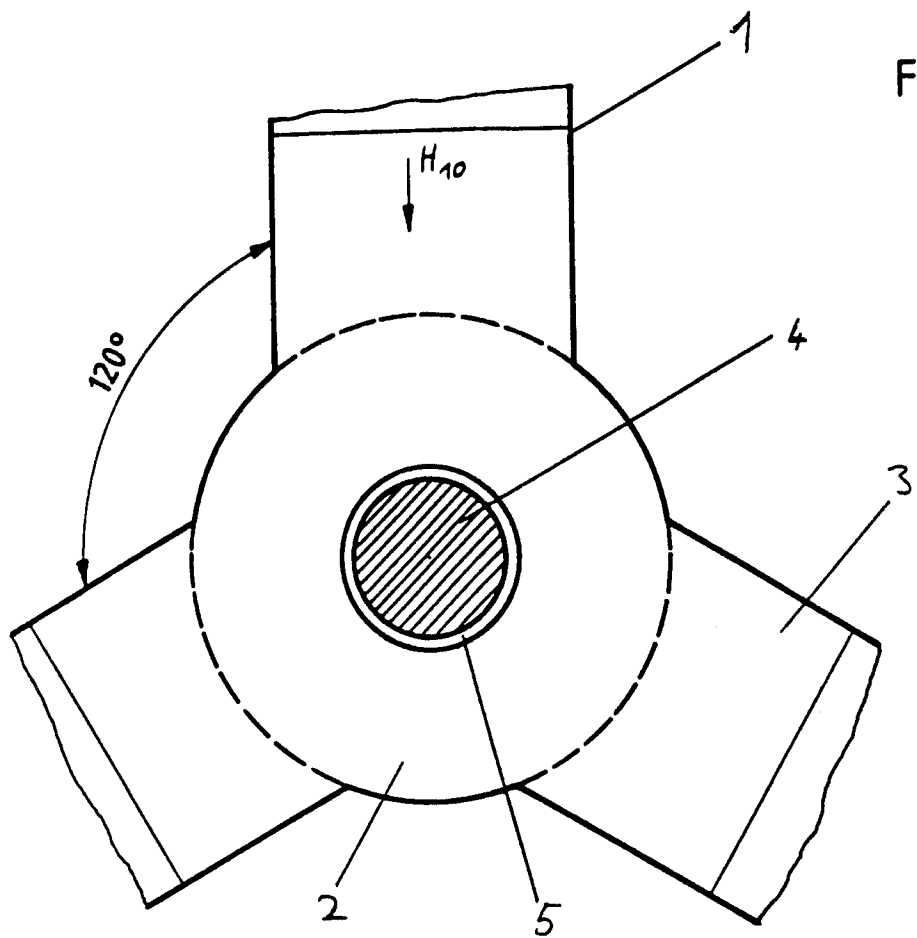


FIG. 5

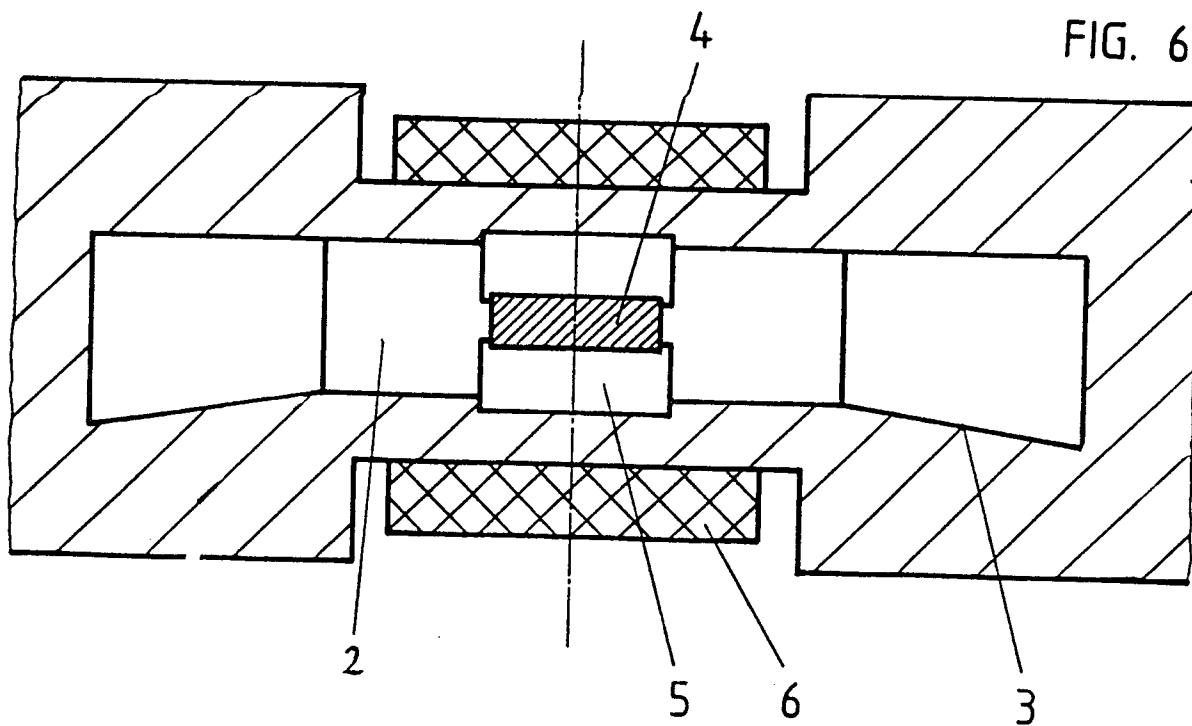


FIG. 6

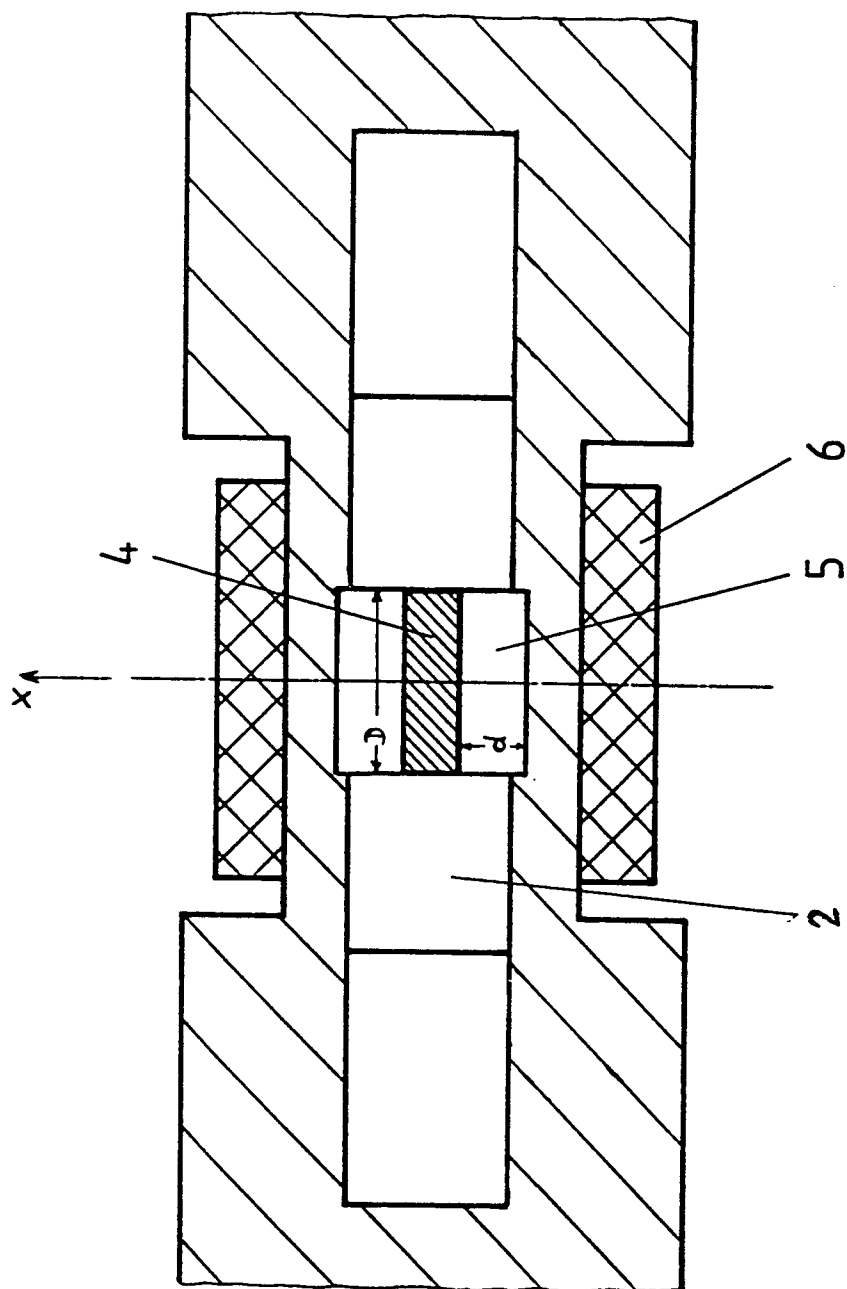


Fig. 17