(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 156 272**
A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **85103069.2**

(22) Anmeldetag: **16.03.85**

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 P 1/39**

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

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

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(71) Anmelder: **Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH**
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt/Main 70(DE)

(72) Erfinder: **Bartels, Stefan, Dipl.-Ing.**
Beethovenstrasse 2
D-7913 Senden(DE)

(72) Erfinder: **Holpp, Wolfgang, Dipl.-Ing.**
Martinsplatz 3
D-7913 Illertissen(DE)

(74) Vertreter: **Schulze, Harald Rudolf, Dipl.-Ing. et al,**
Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt/Main 70(DE)

(54) Millimeterwellen-Zirkulator.

(57) Bei einem Y-Zirkulator wird der Ferritkörper so dimensioniert, daß bei der Betriebsfrequenz nicht der Grundschwingungsmode, sondern mindestens zwei frequenzmäßig eng beieinanderliegende höhere Moden angeregt werden.

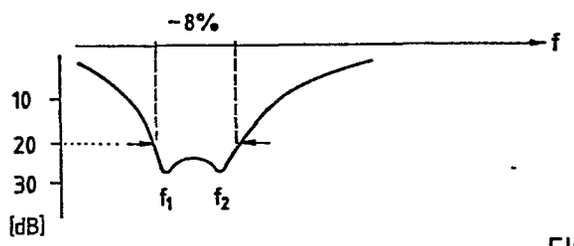


FIG. 2

EP 0 156 272 A2

Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt 70

PTL-UL/We/hä
UL 83/179a
Aktz.: P 34 11 621.4

Beschreibung

Millimeterwellen-Zirkulator

Die Erfindung betrifft einen Millimeterwellen-Zirkulator der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art.

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.

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 entsprechend den verschiedenen Schwingungsmoden (Resonanzen) eine Vielzahl von Resonanzfrequenzen. Andererseits sind durch Vorgabe einer gewünschten Resonanzfrequenz in einem bestimmten Schwingungsmode die geometrischen Abmessungen des Ferritkörpers in den frequenzbestimmenden Dimensionen, also Durchmesser und/oder Höhe des Ferritzylinders, festgelegt. Die theoretischen Beziehungen zwischen den einzelnen Bestimmungs-

...

größen 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 zugeführten Welle in mehreren und höheren Schwingungsmoden (Resonanzen) als dem Grundschwingungsmode 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}-Schwingungsmode 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 im 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 ersten Zirkulatoraufbau in Seitenansicht

FIG. 7 ein Schnittbild durch einen bevorzugten Zirkulatoraufbau in Seitenansicht.

...

Bei einer geforderten Sperrdämpfung von mindestens 20 dB hat ein gebräuchlicher Zirkulator aus dem Stand der Technik, dessen Frequenzabhängigkeit 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 Hchlleiterverzweigung 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. 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 $1/\sqrt{\varepsilon_r}$ 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.

Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt 70

PTL-UL/We/hä
UL 83/179a

Patentansprüche

1. Millimeterwellen-Zirkulator mit einem im Zentrum einer ebenen Hohlleiterverzweigung angeordneten und einem statischen Magnetfeld ausgesetzten kreiszylinderförmigen Ferritkörper, dadurch gekennzeichnet, daß die die Resonanzfrequenz bestimmenden Dimensionen des Ferritkörpers so gewählt sind, daß die Betriebsfrequenz des Zirkulators im Bereich mindestens zweier eng benachbarter Resonanzfrequenzen höherer Ordnung als der des Grundschwingungsmodes des Ferritkörpers liegt.

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 einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ferritkörper so dimensioniert ist, daß die Betriebsfrequenz im Bereich der Resonanzfrequenz des H_{011}- und des H_{211}-Schwingungsmodes liegt.

6. Zirkulator nach Anspruch 4 und Anspruch 5, 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.

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

8. Zirkulator nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlleiterverzweigung zu einem kreiszylindrischen Hohlraumresonator erweitert ist.

9. Zirkulator nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlleiterhöhe im Verzweigungsbereich gleich der der Zuleitungshohlleiter ist.

...

10. Zirkulator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlleiterhöhe im Bereich der Verzweigung der drei Hohlleiterarme zur Impedanzanpassung reduziert ist.

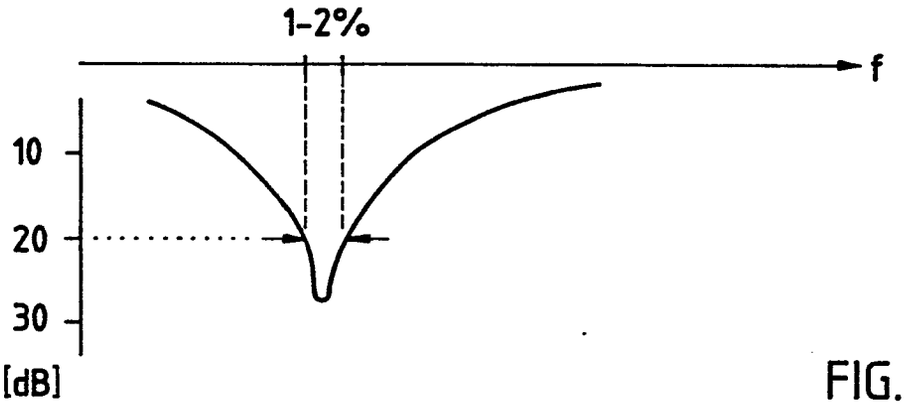


FIG. 1

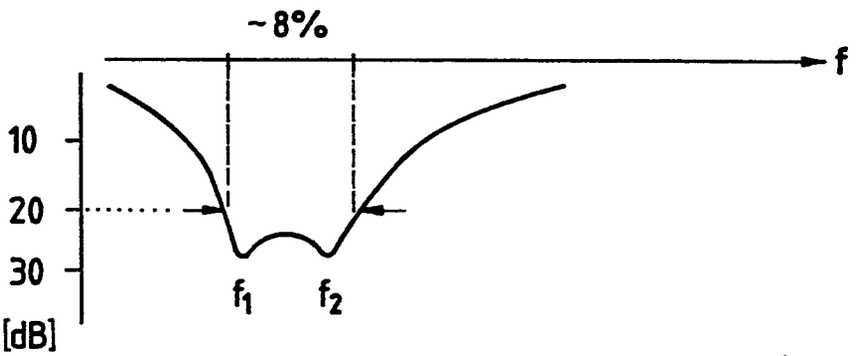


FIG. 2

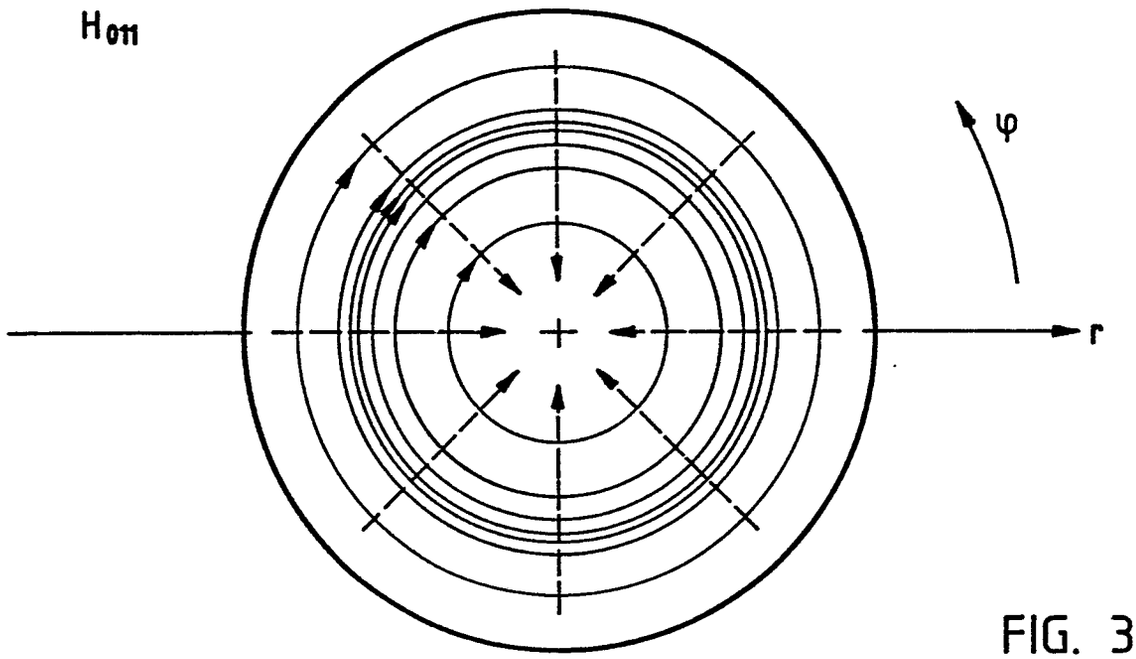


FIG. 3

——— E-Feld

– – – – – H-Feld

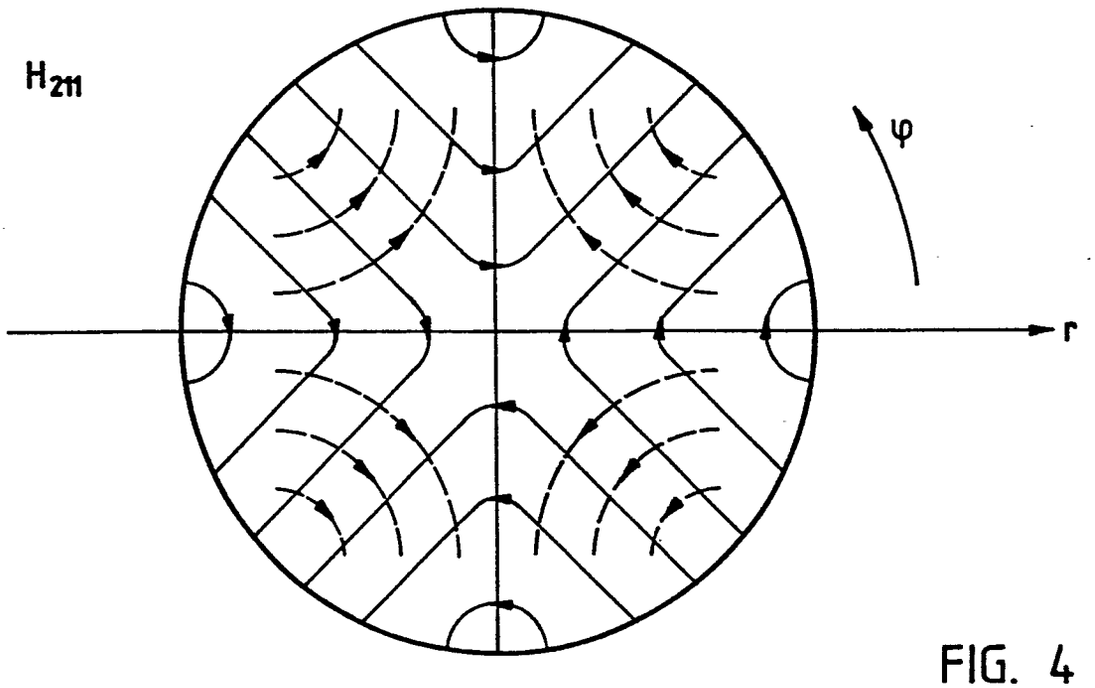


FIG. 4

0156272

FIG. 5

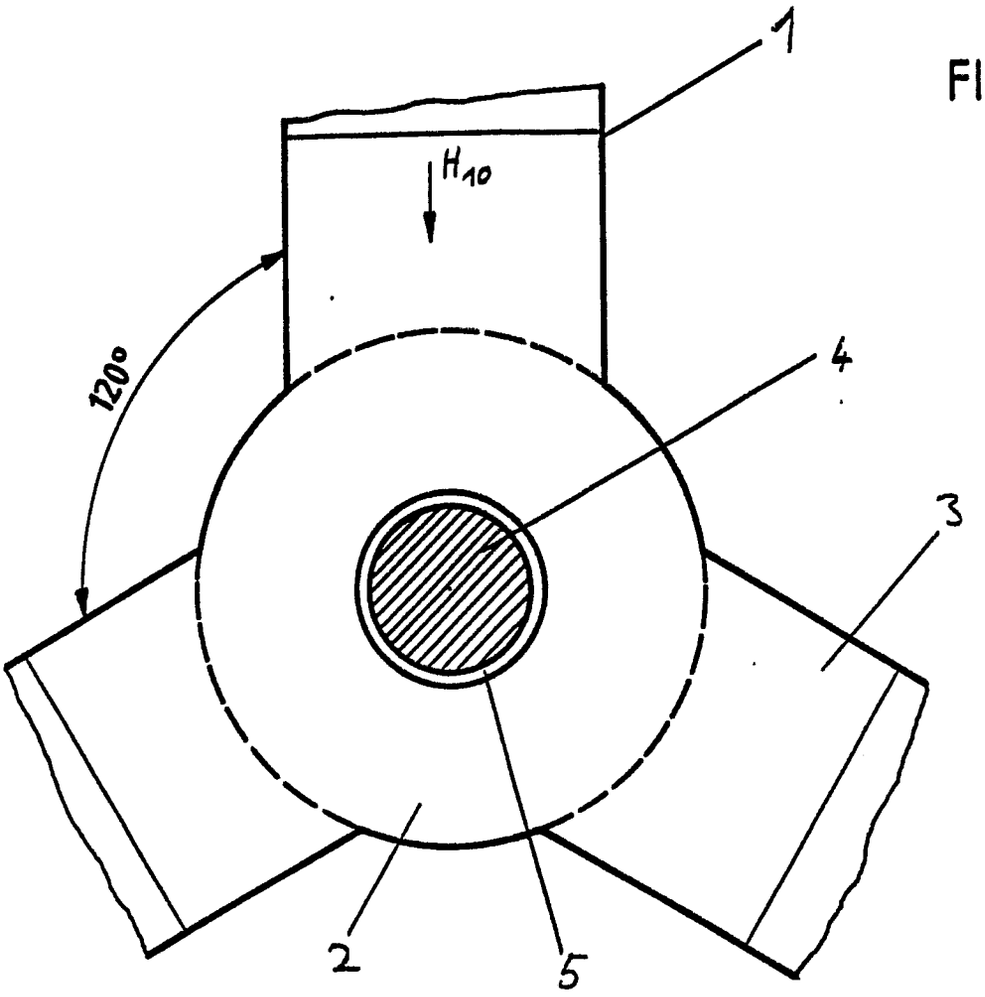
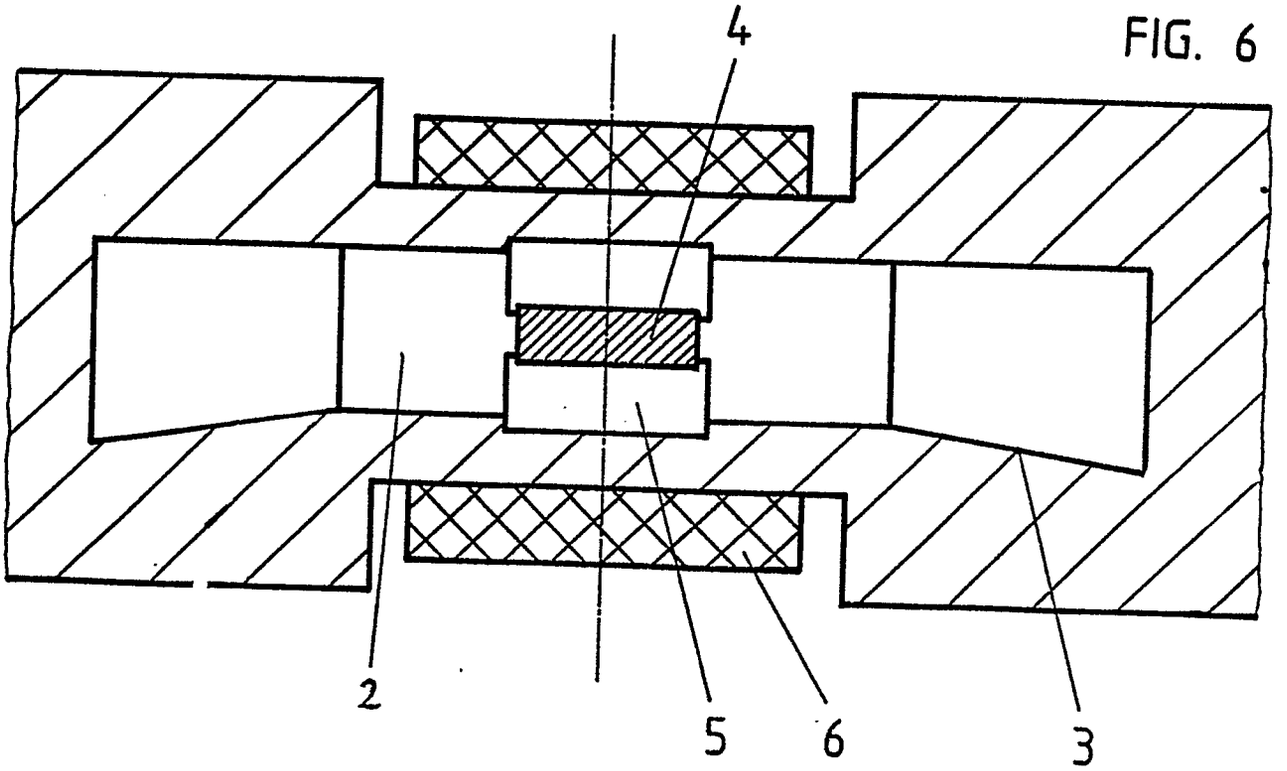


FIG. 6



0156272

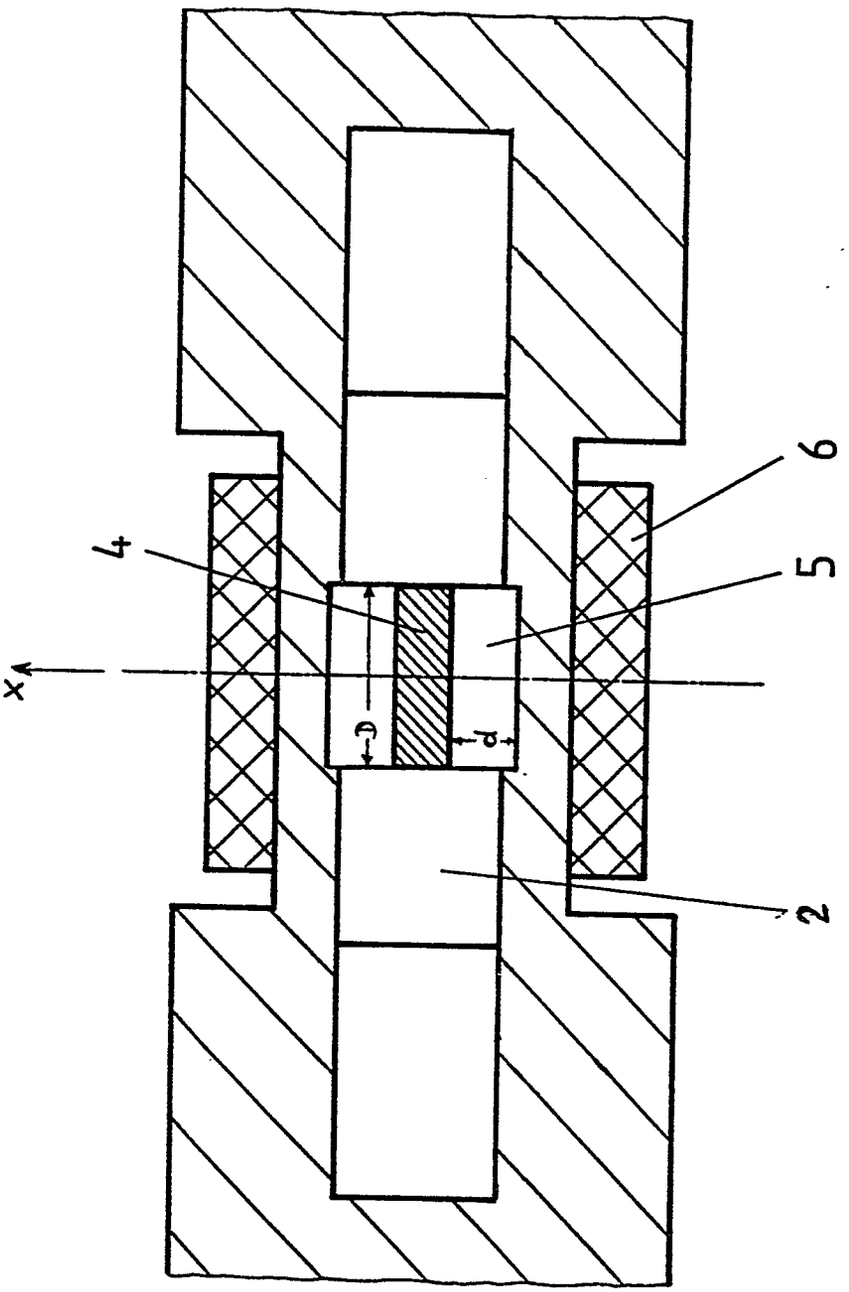



FIG. 7