

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

0 263 242
A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 87109522.0

(51) Int. Cl.⁴: **H01P 1/39**, **H01P 1/387**,
H01P 1/30

(22) Anmeldetag: 02.07.87

(30) Priorität: 04.10.86 DE 3633908

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.04.88 Patentblatt 88/15

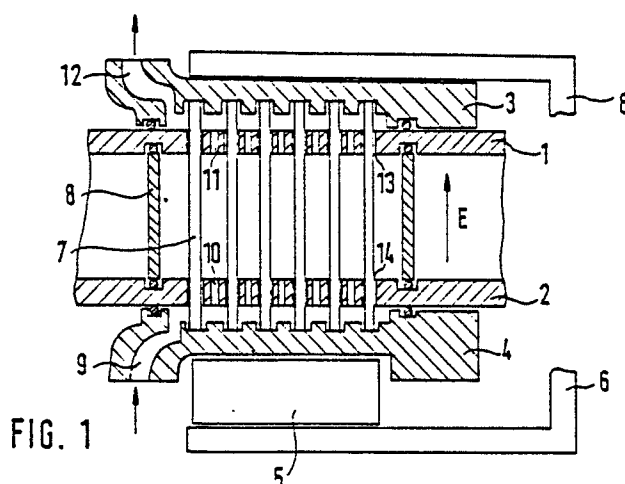
(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI

(71) Anmelder: **ANT Nachrichtentechnik GmbH**
Gerberstrasse 33
D-7150 Backnang(DE)

(72) Erfinder: **Mörz, Günter, Dr.-Ing.**
Moserstrasse 19
D-7140 Ludwigsburg(DE)
Erfinder: **Weiser, Wolfgang, Dipl.-Phys.**
Hermann Schadtstrasse 10
D-7152 Aspach 1(DE)
Erfinder: **Lenz, Sigmund, Dipl.-Ing.**
Im Mühlfeld 9
D-7152 Aspach(DE)
Erfinder: **Pivit, Erich, Dr.-Ing.**
Akazienhain 14
D-7151 Allmersbach i.T.(DE)

(54) **Verzweigungszirkulator für Mikrowellen.**

(57) Bei einem für große Hochfrequenzleistungen geeigneter Verzweigungszirkulator der eine von einem statischen Magnetfeld durchsetzte Wellenleiterverzweigungszone aufweist, in der ein ferromagnetischer Resonator angeordnet ist, welcher aus unterschiedlichen Dielektrika besteht, von denen mindestens eines ferromagnetische Eigenschaften hat, bilden die Grenzflächen der verschiedenen Dielektrika Raumkörper (7, 27), die sich über die gesamte Höhe der Verzweigungszone erstrecken und deren Querschnitte sich in Richtung des statischen Magnetfeldes nicht ändern (Fig. 1).



EP 0 263 242 A1

Verzweigungszirkulator für Mikrowellen

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Verzweigungszirkulator für Mikrowellen der eine von einem statischen Magnetfeld durchsetzte Wellenleiterverzweigungszone aufweist, in der ein ferromagnetischer Resonator angeordnet ist, welcher aus unterschiedlichen Dielektrika besteht, von denen mindestens eines ferromagnetische Eigenschaften hat.

Ein derartiger speziell für sehr große Hochfrequenzleistungen ausgelegter Zirkulator ist aus den Druckschriften IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-26, No. 5, May 1978, S. 364-369 und IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-17, No. 6, Nov. 1981 S. 2957-2960 bekannt. Bei den hier beschriebenen Zirkulatoren besteht die Ferritstruktur aus mehreren durch Luftspalte voneinander getrennten, senkrecht zum statischen Magnetfeld angeordneten Ferritscheiben, welche auf von einer Kühlflüssigkeit durchströmten Metallträgern angebracht sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Zirkulator der eingangs genannten Art anzugeben, der insbesondere für einen Betrieb mit sehr großer Hochfrequenzleistung geeignet ist.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruch 1 gelöst.

Zweckmäßige Ausführungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Bei den bekannten Hochleistungszirkulatoren wirkt sich die Schichtung des ferromagnetischen Dielektrikums in der Verzweigungszone senkrecht zum statischen Magnetfeld sehr nachteilig auf die Leistungsverträglichkeit aus. Beim hier üblichen H-Ebenen-Verzweigungszirkulator verlaufen nämlich im ferromagnetischen Resonator die E-Feldlinien des Hochfrequenzfeldes parallel zum statischen Magnetfeld, so daß also die Grenzflächen der Ferritschichten das E-Feld senkrecht schneiden, was zu sehr starken Feldstärkeüberhöhungen in den Luftspalten zwischen den Ferritschichten führt. Eine Vergrößerung der Luftspalte durch Erweitern der Resonatorhöhe, um der Feldstärkeüberhöhung entgegenzuwirken, ist nur bedingt möglich, da sonst das statische Magnetfeld nicht mehr mit erträglichem Aufwand aufgebracht werden kann. Der erfindungsgemäße Zirkulator weist dagegen in seiner Verzweigungszone einen Resonator auf, dessen ferromagnetisches Dielektrikum sich über die gesamte Höhe der Wellenleiterverzweigungszone erstreckt und dessen nicht ferromagnetisches Dielektrikum, welches der Wärmeableitung dient, ebenfalls über die volle Höhe der Verzweigungszone ausgedehnt ist. In diesem Fall ist das statische Magnetfeld wie auch das elektrische Hochfrequenzfeld tangential zu den Grenzflächen zwischen

den ferromagnetischen und den nicht ferromagnetischen Dielektrika orientiert. Dadurch werden Feldstärkeüberhöhungen im ferromagnetischen Dielektrikum vermieden, so daß die Durchschlagsfestigkeit des Zirkulators sehr groß wird und er deshalb für einen Betrieb mit äußerst hohen Leistungen geeignet ist.

Die nach der Erfindung ausgeführte Resonatorstruktur ermöglicht außerdem die Ableitung großer Wärmemengen, was das ferromagnetische Dielektrikum vor thermischer Zerstörung schützt. Dies gilt vornehmlich bei einer feinstrukturierten Konfiguration des ferromagnetischen Dielektrikums, weil dann ein besonders guter Wärmeübergang auf das wärmeabführende Dielektrikum gewährleistet ist. Mit den Maßnahmen der Erfindung lassen sich vorteilhafterweise Verzweigungszirkulatoren sowohl in Hohlleitertechnik als auch in L(Lecher)-Wellenleitertechnik (z.B. Streifenleiter) realisieren.

Anhand von zeichnerisch dargestellten Ausführungsbeispielen wird nun die Erfindung näher erläutert.

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch die mit einer Resonatorstruktur versehene Verzweigungszone eines Hohlleiterzirkulators,

Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch die mit einer Resonatorstruktur versehene Verzweigungszone eines Zirkulators in Streifenleitungstechnik

Figur 3 zeigt eine weitere Resonatorstruktur.

Dem in Figur 1 dargestellten Ausschnitt eines Hohlleiterzirkulators sind zwei einander gegenüberliegende Hohlleiterwände 1 und 2 der Zirkulatorverzweigungszone eine darin angeordnete Resonatorstruktur und ein Magnetsystem zu entnehmen, welches ein die Verzweigungszone durchsetzendes statisches Magnetfeld erzeugt.

Das Magnetsystem bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel hat zwei ober- und unterhalb der Hohlleiterverzweigung angeordnete Polschuhe 3 und 4, einen Permanentmagneten 5 und ein den magnetischen Rückschluß außerhalb der Zirkulatorverzweigungszone bildendes Joch 6, welches einerseits auf dem Polschuh 3 und andererseits auf dem Permanentmagneten 5 aufliegt.

Die Resonatorstruktur enthält ein ferromagnetisches Dielektrikum in Form mehrerer Ferritstäbe 7, die sich zwischen den beiden einander gegenüberliegenden Hohlleiterwänden 1, 2 parallel zum E-Feld des Zirkulators erstrecken. In diesen parallel zum E-Feld verlaufenden, sich von einer Hohlleiterwand zur gegenüberliegenden ohne Querschnittsänderungen erstreckenden Ferritstäben 7 ist das E-Feld genauso groß wie in einem die Ferritstäbe umgehendem nicht ferromagnetischen

Dielektrikum. Es gibt also an keiner Stelle in den Ferritstäben Feldstärkeüberhöhungen, anders als bei herkömmlichen Resonatorstrukturen mit quer zum E-Feld verlaufenden Luftspalten.

Dies hat zur Folge, daß eine gemäß der Erfindung beschaffene Resonatorstruktur eine extrem hohe Durchschlagsfestigkeit besitzt, weshalb ein Zirkulator mit einer solchen Resonatorstruktur für die Übertragung sehr hoher Leistungen geeignet ist.

Durch die Aufteilung des ferromagnetischen Dielektrikums in viele einzelne im Abstand zueinander angeordnete Stäbe 7 entsteht eine große Kühlfläche, womit äußerst günstige Voraussetzungen gegeben sind für die Ableitung der in den Ferritstäben 7 entstehenden Wärme. Mit Hilfe eines die Ferritstäbe 7 umströmenden Kühlmittels, z.B. Luft oder eines anderen geeigneten Gases oder einer dielektrischen Flüssigkeit, können auf einfache Weise sehr große Wärmemengen abgeführt werden. Zu diesem Zweck sind alle Ferritstäbe 7 von einem in die Verzweigungszone eingesetzten und an den Innenseiten der Hohlleiterwände abgedichteten dielektrischen Zylinder 8 umgeben, der den Resonator begrenzt. In diesen dielektrischen Zylinder 8 wird durch einen Einflußkanal 9 in dem Polschuh 4 und mehrere Löcher 10 in der Hohlleiterwand 2 ein flüssiges oder gasförmiges Kühlmittel eingeführt und durch Löcher 11 in der gegenüberliegenden Hohlleiterwand 1 und einem Ausflußkanal 12 in dem anderen Polschuh 3 abgeführt. Die beiden Polschuhe 3 und 4 sind auf den Außenseiten der Hohlleiterwände 1 und 2 gegen Austritt des Kühlmittels abgedichtet.

Die Durchtrittslöcher 10 und 11 in den Hohlleiterwänden 1 und 2 sind so dimensioniert, daß sie für das Hochfrequenzfeld im Zirkulator undurchlässig sind.

Anstelle der in Fig. 1 dargestellten Kühlvorrichtung kann auch jeder einzelne Ferritstab 7 in einem dielektrischen Röhrchen untergebracht und durch jedes Röhrchen das Kühlmittel geleitet werden.

In den Ferritstäben ist sowohl in Längs- als auch in Querrichtung der Temperaturgradient sehr klein, so daß eine mechanische Zerstörung der Ferritstäbe wegen thermischer Spannungen nicht zu befürchten ist.

Wie Figur 1 zeigt, sind die Ferritstäbe 7 durch für das Hochfrequenzfeld undurchlässige Öffnungen 13, 14 in den beiden Hohlleiterwänden 1, 2 geführt. Zum einen ist dadurch eine einfache Halterung für die Ferritstäbe 7 gegeben. Zum anderen wird vorteilhafterweise auf Grund der Durchführung der Ferritstäbe 7 durch die Hohlleiterwände 1, 2 bis zu den Polschuhen 3, 4 der magnetische Widerstand für den magnetischen Kreis verringert. Als Folge davon braucht auch nur

eine kleinere Magnetfeldstärke aufgebracht zu werden, weshalb ein weniger aufwendiges Magnetsystem benötigt wird. Die Verringerung des magnetischen Widerstandes zwischen dem Magnetsystem und den Ferritstäben hat außerdem den Vorteil, daß die Magnetisierung der Ferritstäbe soweit erhöht werden kann, daß der Zirkulator auch oberhalb der bisherigen Frequenzgrenze von etwa 2,5 GHz, im Oberresonanzbetrieb ("above resonance") arbeiten kann. Dann treten nämlich in den Ferritstäben kaum noch Spinwellenverluste auf, welche nichtlineare Effekte hervorrufen könnten.

In der Fig. 2 ist ein Schnitt durch einen planaren Verzweigungszirkulator dargestellt. Dieser Zirkulator besitzt eine symmetrische Leitungsstruktur, bestehend aus zwei planaren Außenleitern 15, 16 und einem dazwischen angeordneten Innenleiter 17. Auch hier besteht wie beim Hohlleiterzirkulator (Fig. 1) die Resonatorstruktur in der Verzweigungszone aus mehreren im Abstand zueinander angeordneten und parallel zum E-Feld in der Verzweigungszone ausgerichteten Ferritstäben 7. Die Ferritstäbe 7 sind durch Bohrungen 18, 19 und 20 in den Außenleitern 15, 16 und dem Innenleiter 17 geführt, so daß die Ferritstäbe 7 bis an die Polschuhe 3, 4 des Magnetsystems heranreichen. Das Magnetsystem entspricht dem oben beschriebenen und ist daher mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie in Figur 1.

Damit den ferromagnetischen Resonator ein flüssiges oder gasförmiges Kühlmittel durchströmen kann, sind in den Außenleitern 15, 16 und dem Innenleiter 17 Öffnungen 21, 22 und 23 vorgesehen.

Anstatt die ferromagnetischen Resonatoren bei beiden in den Fig. 1 und 2 dargestellten Zirkulorausführungen mittels eines flüssigen oder gasförmigen Dielektrikums zu kühlen, kann auch ein festes Dielektrikum (z.B. Berylliumoxid-Keramik) mit guter Wärmeleitfähigkeit verwendet werden, in das die Ferritstäbe 7 eingebettet sind.

Für die in den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen erwähnten Ferritstäbe 7 kann jede beliebige Querschnittsform (z.B. rund, quadratisch, sternförmig, hexagonal o.dgl.) gewählt werden. Dabei ist nur zu beachten, daß sich der Querschnitt der Stäbe in Richtung des statischen Magnetfeldes nicht ändern.

Eine weitere Form des ferromagnetischen Resonators ist in Fig. 3 dargestellt. Hier besteht der Resonator aus einem Ferritkörper 24, der sich z.B. in einem Hohlleiterzirkulator von einer Hohlleiterwand 25 zur gegenüberliegenden 26 erstreckt. In diesen Ferritkörper 24 sind parallel zum statischen Magnetfeld verlaufende Löcher 27 eingelassen, die von einem nicht ferromagnetischen wärmeabführenden Dielektrikum ausgefüllt sind. Die Löcher 27 im Ferritkörper 24 setzen sich fort in

die Hohlleiterwände 25 und 26 durchsetzenden Bohrungen 28 und 29, so daß der Resonator von einem gasförmigen oder flüssigen Dielektrikum durchströmt werden kann.

Eine vorteilhafte Betriebsart des Zirkulators gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 oder 2 ergibt sich, wenn die Polschuhe 3, 4 und das Magnetjoch 6 aus Ferritmaterial hergestellt sind und der Magnet 5 durch eine auf das Joch 6 gewickelten Spule ersetzt wird. Durch Stromstöße in der Spule kann dann das Magnetfeld und damit die Drehrichtung des Zirkulators sehr schnell umorientiert werden, was auf einen direkten Kontakt der Ferritstäbe 7 mit den Polschuhen 3, 4 zurückzuführen ist. Im stromlosen Zustand der Spule erhält die Remanenzfeldstärke im Joch 6, den Polschuhen 3, 4 und in den Ferritstäben 7 das statische Magnetfeld im Resonator aufrecht.

Ansprüche

1. Verzweigungszirkulator für Mikrowellen, der eine von einem statischen Magnetfeld durchsetzte Wellenleiterverzweigungszone aufweist, in der ein ferromagnetischer Resonator angeordnet ist, welcher aus unterschiedlichen Dielektrika besteht, von denen mindestens eines ferromagnetische Eigenschaften hat, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzflächen der verschiedenen Dielektrika Raumkörper (7, 27) bilden, die sich über die gesamte Höhe der Verzweigungszone erstrecken und deren Querschnitte sich in Richtung des statischen Magnetfeldes nicht ändern.

2. Verzweigungszirkulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das ferromagnetische Dielektrikum in Form von mehreren parallel zum statischen Magnetfeld ausgerichteten Stäben (7) in einem anderen Dielektrikum eingebettet ist.

3. Verzweigungszirkulator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Hohlleiterzirkulator die ferromagnetischen Stäbe (7) durch Öffnungen (13, 14) in den gegenüberliegenden Hohlleiterwänden (1, 2) geführt sind und daß diese Öffnungen (13, 14) so dimensioniert sind, daß sie für das Hochfrequenzfeld im Zirkulator undurchlässig sind.

4. Verzweigungszirkulator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Zirkulator, dessen Wellenleiterverzweigung als planare Leitungsstruktur (15, 16, 17) ausgebildet ist, die ferromagnetischen Stäbe (7) durch Bohrungen (18, 19, 20), welche die Leitungsstruktur (15, 16, 17) durchsetzen, geführt sind.

5. Verzweigungszirkulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in einen die Verzweigungszone ausfüllenden ferromagnetischen Körper

(24) parallel zum statischen Magnetfeld verlaufende Durchgangsbohrungen (27) eingebracht sind, die mit einem anderen Dielektrikum gefüllt sind.

6. Verzweigungszirkulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eines der Dielektrika aus gut wärmeleitendem Keramik besteht.

7. Verzweigungszirkulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eines der Dielektrika eine Flüssigkeit ist, die zum Abtransport der Verlustwärme durch den ferromagnetischen Resonator strömt.

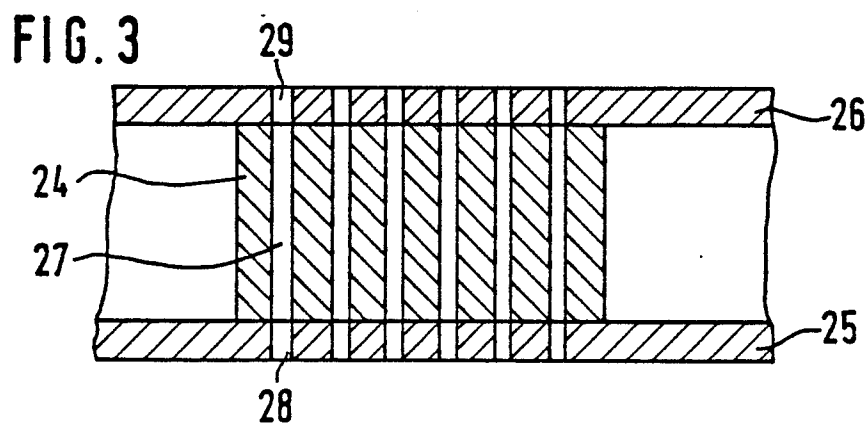
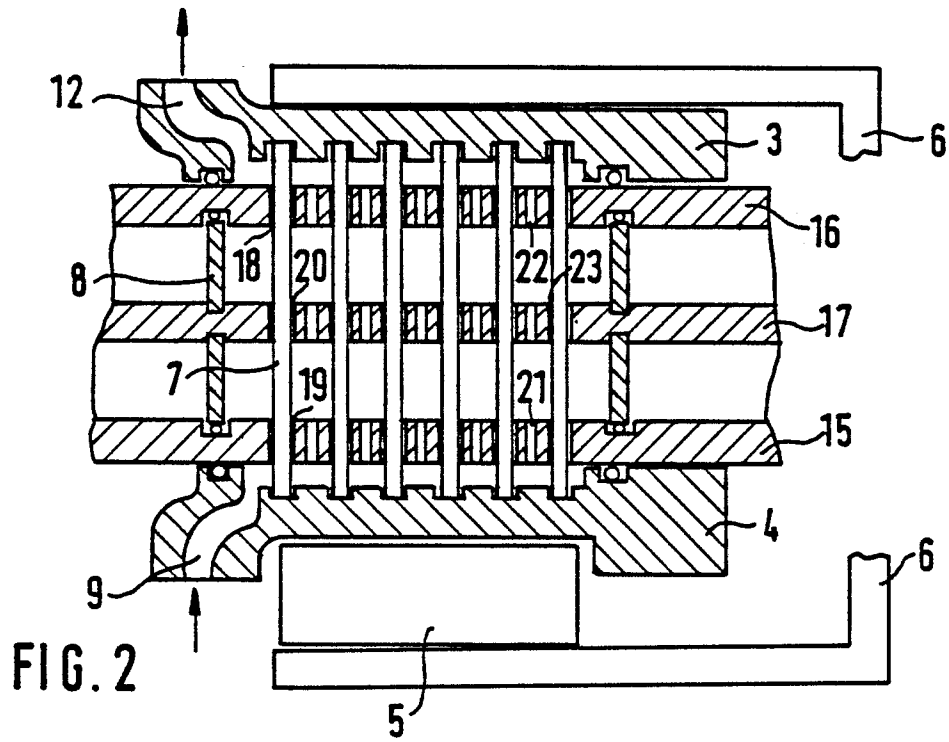
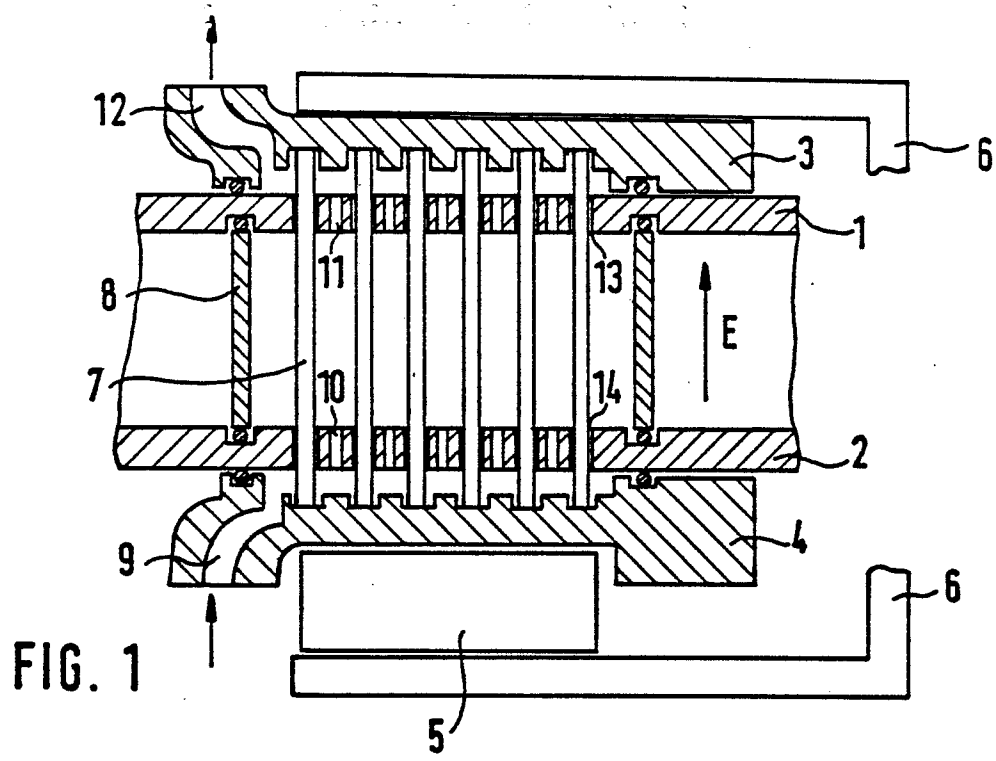
8. Verzweigungszirkulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eines der Dielektrika ein Gas ist, das zum Abtransport der Verlustwärme durch den ferromagnetischen Resonator strömt.

9. Verzweigungszirkulator nach einem der Ansprüche 2, 3, 4, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß alle ferromagnetischen Stäbe (7) in einem dielektrischen Zylinder (8) angeordnet sind, durch den eine Flüssigkeit oder ein Gas strömt.

10. Verzweigungszirkulator nach einem der Ansprüche 2, 3, 4, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß jeder einzelne ferromagnetische Stab in einem dielektrischen Röhrchen steckt, durch das eine Flüssigkeit oder ein Gas strömt.

11. Verzweigungszirkulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch seine Verwendung als ein in seiner Drehrichtung umschaltbarer Zirkulator, wobei das statische Magnetfeld im Resonator einer außerhalb der Wellenleiterverzweigungszone angeordneten stromdurchflossenen Spule umorientiert wird.

12. Verzweigungszirkulator nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule auf ein außerhalb der Verzweigungszone angeordnetes ferromagnetisches Joch (6) gewickelt ist, welches einen magnetischen Kreis mit dem ferromagnetischen Dielektrikum (7) in der Verzweigungszone bildet und daß im stromlosen Zustand der Spule die Remanenzfeldstärke im Joch (6) und im Dielektrikum (7) das statische Magnetfeld im Resonator aufrecht erhält.





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
X	US-A-3 246 262 (H.W. WICHERT) * Insgesamt *	1,2,6	H 01 P 1/39 H 01 P 1/387 H 01 P 1/30
Y		3-5,7- 12	
Y	GB-A- 836 440 (SPERRY RAND CORP.) * Seite 5, Zeilen 28-41; Figur 7 *	3,7	
Y	US-A-4 605 915 (H.D. MARSHALL et al.) * Figuren *	4	
Y	US-A-3 434 076 (F.O. JOHNSON) * Spalte 4, Zeile 67 - Spalte 5, Zeile 5; Figuren 4,5 *	5,7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)
Y	DE-B-1 117 183 (SIEMENS) * Insgesamt *	7,9	H 01 P
Y	GB-A- 781 024 (HUGHES AIRCRAFT CO.) * Insgesamt *	7,8,10	
Y	US-A-3 662 291 (J.J. COTTER) * Spalte 3, Zeilen 58-67; Figuren 1,5 *	11,12	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 07-10-1987	Prüfer LAUGEL R.M.L.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, überein- stimmendes Dokument			