



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 16 047 B4** 2006.11.30

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 16 047.7**
(22) Anmeldetag: **08.04.2003**
(43) Offenlegungstag: **04.11.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **30.11.2006**

(51) Int Cl.⁸: **H01P 5/18** (2006.01)
H01L 23/66 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 81671 München, DE

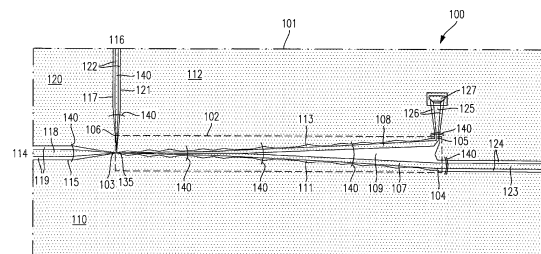
(74) Vertreter:
Mitscherlich & Partner, Patent- und Rechtsanwälte, 80331 München

(72) Erfinder:
Jünemann, Ralf, Dr., 81735 München, DE; Thies, Jürgen, 82008 Unterhaching, DE; Cohrs, Wolfgang, 85586 Poing, DE; Hechtfisher, Gerd, Dr., 80805 München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 198 37 025 A1
US 35 81 243
EP 05 11 728 B2
WO 03/0 09 414 A1
JP 61-2 74 401 A
JP 07-2 83 621 A

(54) Bezeichnung: **Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik**

(57) Hauptanspruch: Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder Auspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum Einspeisen oder Auspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss (103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108) und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig berandende Masseleiter (110, 112), dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107, 108) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107, 108) ändert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik.

Stand der Technik

[0002] Richtkoppler werden sehr vielfältig in schaltungstechnischen Anwendungen verwendet. Als richtungsabhängige, entkoppelte Leistungsteiler kommen sie in Phasenschiebern, Mischern und Verstärken zum Einsatz. Im Bereich der Messtechnik kommen Richtkoppler zur getrennten Messung der hin- und rücklaufenden Welle von und zu einem Messobjekt (DUT), beispielsweise bei Netzwerkanalysatoren, zur Anwendung.

[0003] Um einen Koppler mit guten Hochfrequenzeigenschaften bei vergleichsweise kompakter Bauweise und günstigen Herstellungskosten zu realisieren, werden Richtkoppler bevorzugt in monolithisch integrierter Bauweise hergestellt. Neben der konventionellen Mikrostreifenleitertechnik werden Richtkoppler bei monolithisch integrierter Bauweise auch in Koplanartechnik realisiert. Der Vorteil eines Richtkopplers in Koplanartechnik gegenüber einer Realisierung in Mikrostreifenleitertechnik ist einerseits in der Anbringung sämtlicher Leitungen (Innenleiter, Masseleiter) auf einer Seite des Substrats zu sehen. Somit entfallen bei zusätzlicher Beschaltung der Mikrowellenschaltung mit Bauelementen (z.B. Kapazitäten, Induktivitäten) nötige Bohrungen und Durchkontaktierungen im Substrat. Ein weiterer ganz wesentlicher Vorteil eines Richtkopplers in Koplanartechnik gegenüber einer Realisierung in Mikrostreifenleitertechnik liegt darin, die Phasengeschwindigkeit der Gleichtaktwelle $v^{(e)}$ annähernd identisch zur Phasengeschwindigkeit der Gegentaktwelle $v^{(o)}$ gestalten zu können und somit die Richtdämpfung (Direktivität) a_D zu maximieren. Dies ist in **Fig. 1** schematisch dargestellt, wobei die dort angegebenen Werte nur beispielhaft zu verstehen sind. Bei einer hohen Direktivität a_D ist die Leistung einer im Kopplungspfad ausgekoppelten Welle in Relation zur Leistung einer im Isolationspfad eines Richtkopplers ausgekoppelten Welle deutlich höher. Hierzu ist in **Fig. 2** die grundsätzliche Funktionsweise und Beschaltung des Richtkopplers schematisch dargestellt.

[0004] In der EP 0 511 728 B1 ist ein Richtkoppler in Koplanartechnik vorgestellt. Während bei Richtkopplern in Koplanartechnik, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Druckschrift realisiert wurden, der Kopplungsfaktor vergleichsweise niedrig war, da fertigungstechnisch der Abstand zwischen den an der Kopplung beteiligten Innenleitern einer integrierten Mikrowellenschaltung nicht beliebig klein ausgeführt werden konnte, weist der in der EP 0 511 728 B1 vorgestellte Interdigitalkoppler (Lange-Koppler) einen deutlich höheren Kopplungsfaktor auf. Dies wird durch Parallelschaltung mehrerer Innenleiter auf dem Substrat erreicht.

[0005] Während bei Richtkopplern in Streifenleitertechnik gemäß der US 3,581,243, JP 07-283 621 A, JP 61-274 401 A und DE 198 37 025 A1 die Bandbreite des Richtkopplers durch verkoppelte Leitungen mit mehreren Sektoren, die sich im Abstand, in der Beite und in anderen, die Kopplung beeinflussenden Leitungs-Parametern unterscheiden, erhöht wird, weist ein in koplanarer Technik realisierter Richtkoppler nachteilig eine geringe Bandbreite auf.

Aufgabenstellung

[0006] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen in der Messtechnik und insbesondere in der Netzwerkanalyse notwendigen ultrabreitbandigen Richtkoppler in koplanarer Technik zu realisieren.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik entsprechend den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche 1, 3 und 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Um die Koppeldämpfung a_K ($a_K = -20 \cdot \log(k)$ mit $k = |b_2/a_1|$, siehe hierzu **Fig. 2**) über einen größeren Frequenzbereich nahezu konstant zu halten (Breitbandkoppler), werden mehrere Koppelabschnitte unterschiedlicher Koppeldämpfung hintereinander geschaltet. Hierzu wurden im ersten Entwurfschritt des Richtkopplers z.B. insgesamt 40 Koppelsegmente gleicher Länge definiert, innerhalb derer der Abstand zwischen den beiden Innenleitern sowie zwischen jeweils einem Innenleiter und einem Masseleiter konstant gehalten wird, während diese Abstände bei verschiedenen Koppelsegmenten zur Realisierung eines unterschiedlichen Koppelkoeffizienten variieren. Im Hinblick auf eine kontinuierlichere Veränderung des Koppelkoeffizienten entlang der Längsrichtung der einzelnen Leiter wurde in einem zweiten Entwurfschritt der treppenförmige Verlauf der Innen- und Masseleiter bzw. der zugehörigen Spalte durch lineare Verläufe bzw. kubische Splinefunktions-Verläufe interpoliert.

[0009] Durch die Überlagerung der einzelnen Phasenkonstanten bzw. -geschwindigkeiten von Gleichtakt- und Gegentaktwelle in den einzelnen Koppelsegmenten entsteht in den einzelnen Koppelsegmenten eine resultierende Phasenkonstante bzw. -geschwindigkeit von Gleichtakt- und Gegentaktwelle. Diese resultierenden Phasenkonstanten bzw. -geschwindigkeiten von Gleichtakt- und Gegentaktwelle können unabhängig voneinander eingestellt werden, da über die Festlegung der Spaltgeometrie zwischen Innen- und Masseleiter und der Spaltgeometrie zwischen den Innenleitern in allen Koppelsegmenten mehrfache Rechenfreiheitsgrade zur weitestgehend entkoppelten Bestimmungen dieser Größen über den gesamten Verlauf von Innen- und Masseleitern vorhanden sind.

Ausführungsbeispiel

[0010] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

[0011] [Fig. 1](#) ein Diagramm zur grafischen Darstellung des Zusammenhangs zwischen Richtdämpfung a_D und Phasengeschwindigkeiten $v^{(e)}$ und $v^{(o)}$ der Gleichtakt- und Gegentaktwelle bei unterschiedlichen Koppeldämpfungen a_k ;

[0012] [Fig. 2](#) ein prinzipielles schematisches Blockschaltbild eines Richtkopplers;

[0013] [Fig. 3](#) eine Topologie einer Richtkopplereinheit eines erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik, als Ausschnitt III von [Fig. 4](#);

[0014] [Fig. 4](#) eine Topologie des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik, in der Gesamtdarstellung;

[0015] [Fig. 5](#) ein vergrößerter Topologieausschnitt des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik im Bereich V von [Fig. 4](#);

[0016] [Fig. 6](#) ein vergrößerter Topologieausschnitt des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik im Bereich VI von [Fig. 4](#) und

[0017] [Fig. 7](#) eine Querschnittsdarstellung eines koplanaren Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik mit den Feldlinienverläufen für Gleichtakt- und Gegentaktwelle.

[0018] Der erfindungsgemäße Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik wird nachfolgend unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) bis [Fig. 7](#) beschrieben.

[0019] In [Fig. 3](#) ist eine Richtkopplereinheit **100** eines erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik dargestellt. Die Richtkopplereinheit **100** ist auf einem Substrat **101** aus beispielsweise einer Aluminiumoxid-Keramik realisiert. Die Richtkopplereinheit **100** weist auf dem Substrat **101** eine Koppelstrecke **102** mit einem ersten Anschluss **103** zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle, einem zweiten Anschluss **104** zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle, einem Auskopplungsanschluss **106** zum Auskoppeln einer elektromagnetischen Welle und einem Abschluss **105** auf.

[0020] Der erste Anschluss **103** ist mit dem zweiten Anschluss **104** über einen ersten Innenleiter **107** verbunden. Der Auskopplungsanschluss **106** ist mit dem Abschluss **105** über einen zweiten Innenleiter **108** verbunden, der entlang der Koppelstrecke **102** im wesentlichen parallel zu dem ersten Innenleiter **107** verläuft. Zwischen dem ersten Innenleiter **107** und dem zweiten Innenleiter **108** befindet sich ein Spalt **109**. Dieser Spalt **109** vergrößert sich exponentiell vom ersten Anschluss **103** bzw. Auskopplungsanschluss **106** in Richtung des zweiten Anschlusses **104** bzw. Abschlusses **105**.

[0021] Für die Optimierung der Koppelstrecke **102** kann die Koppelstrecke in 40 gleich lange Koppelabschnitte zerlegt werden. Somit werden auch die Innenleiter **107** und **108**, die dazugehörigen Masseleiter **110** und **112**, der zwischen ersten Innenleiter **107** und dem angrenzenden breitflächigen Masseleiter **110** befindliche Spalt **111**, der zwischen zweiten Innenleiter **108** und dem dazugehörigen breitflächigen Masseleiter **112** befindliche Spalt **113** und der zwischen erstem und zweitem Innenleiter **107** und **108** befindliche Spalt **109** in 40 gleich lange Teilabschnitte zerlegt, die nachfolgend Koppelabschnitte genannt werden.

[0022] Mit einer Optimierung als erster Designschritt werden die Breiten g_i der Spalte **111** und **113**, die Breiten

w_i der Innenleiter **107** und **108** sowie die Breiten der Spalte s_i zwischen den beiden Innenleitern **107** und **108** in den einzelnen Koppelabschnitten i berechnet. Hierbei gelten für g_i die in Formel (1) festgelegten Randbedingungen.

$$g_{\min} \leq g_i \leq g_{\max} \quad (1)$$

[0023] Hierbei wird der untere Grenzwert g_{\min} durch die mittels Dünnschichttechnologie realisierbaren Strukturbreiten festgelegt.

[0024] Der obere Grenzwert g_{\max} ist ein geometrisch sinnvoll gewählter Wert.

[0025] Die Verläufe der Spaltbreiten g_i der Spalte **111** und **113** werden hier zunächst mittels simulationsgestützter Optimierung durch Treppenfunktionen angenähert. In einem weiteren Designschritt können die "Treppenniveaus" dieser Treppenfunktion linear interpoliert werden, so dass ein "Zickzack"-förmiger Verlauf der Spalte **111** und **113** in Längsrichtung der Innenleiter **107** und **108** entsteht.

[0026] Des Weiteren werden die beiden Innenleiter **107** und **108** bezüglich ihrer Leiterbahnbreite vorzugsweise linear getapert. Sie weisen folglich von den Anschlüssen **103** bzw. **106** in Richtung der Anschlüsse **104** bzw. **105** einen linearen Anstieg ihrer Leiterbahnbreite auf. Im Rahmen des Simulationsmodells für die Optimierung der Koppelstrecke **102** mit insgesamt 40 Koppelabschnitten kann für die Berechnung der Leiterbahnbreite w_i im Koppelabschnitt i die Optimierungsformel (2) herangezogen werden, wobei w_0 und w_1 in gewissen Grenzen (z.B. Strukturgenauigkeit) frei wählbare Konstanten sind.

$$w_i = w_0 + 0,004 \cdot (i - 1) \cdot w_1 \quad (2)$$

[0027] Auch bei der Berechnung des Verlaufs der Leiterbahnbreite der Innenleiter **107** und **108** können aufbauend auf der durch die Optimierungsformel (2) ermittelten Treppenfunktion für die Leiterbahnbreite w_i in einem weiteren Designschritt die "Treppenniveaus" dieser Treppenfunktion linear interpoliert werden.

[0028] Ferner wird schließlich die Breite s_i des Spaltes **109** im Koppelabschnitt i durch die Formel (3) ermittelt, wobei s_0 und s_k in gewissen Grenzen frei wählbare und optimierbare Konstanten sind.

$$s_i = s_0 + \sum_{k=2}^{2n} s_k \cdot i^k \quad (3)$$

[0029] Das Ergebnis dieser Optimierungsrechnung ist ein treppenförmiger, näherungsweise exponentieller Verlauf der Spaltbreite von den Anschlüssen **103** bzw. **106** zu den Anschlüssen **104** bzw. **105**.

[0030] Der erste Anschluss **103** ist mit einem am Rande Richtkopplereinheit **100** vorgesehenen ersten externen Anschluss **114** über einen Taper **115** verbunden. Analog ist der Auskopplungsanschluss **106** mit einem zweiten externen Anschluss **116** über einen Taper **117** verbunden. An die ersten und zweiten externen Anschlüsse **114** und **116** können Koaxialleitungen über entsprechend vorgesehene Steckerverbindungen die in [Fig. 3](#) nicht eingezeichnet sind, angeschlossen werden.

[0031] Der Taper **115** besteht aus einem Innenleiter **118**, der auf dem Substrat **101** aufgebracht ist und über Spalte **119** beidseitig von breitflächigen Masseleitern **110** und **120** getrennt ist. Die Breite des Innenleiters **118** ist im Bereich des ersten externen Anschlusses **114** konstant und verjüngt sich im Bereich des ersten Anschlusses **103** bis zur Breite des Innenleiters **107** im ersten Koppelabschnitt. Auf diese Weise wird der Feldverlauf der Koaxialleitung unter Beibehaltung des Wellenwiderstandes von üblicherweise 50 Ohm an den Feldverlauf des koplanaren Wellenleitersystems auf dem Substrat **101** kontinuierlich angepaßt.

[0032] Der Taper **117** besteht analog zum Taper **115** aus einem Innenleiter **121**, der auf dem Substrat **101** aufgebracht ist und über Spalte **122** beidseitig von breitflächigen Masseleitern **112** und **120** getrennt ist. Die Breite des Innenleiters **121** ist im Bereich des zweiten externen Anschlusses **116** konstant und verjüngt sich im Bereich des Auskopplungsanschlusses **106** bis zur Breite des Innenleiters **108** im ersten Koppelabschnitt.

[0033] Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind, wie in [Fig. 4](#) dargestellt, zwei Richtkopplereinheiten **100** und **200** vorhanden. Dies ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung jedoch nicht zwingend.

[0034] Der zweite Anschluss **104** ist mit dem zweiten Anschluss **204** einer zweiten Richtkopplereinheit **200**

verbunden, die auf demselben Substrat **101** des Richtkopplers **1** aufgebracht ist. Diese Verbindung erfolgt über einen Innenleiter **123**, der über den vollen Verbindungsverlauf die gleiche Breite wie der mit ihm verbundene Innenleiter **107** im abschliessenden Koppelabschnitt aufweist. Der Innenleiter **123** ist über Spalte **124**, die über den vollen Verbindungsverlauf eine gleiche Breite besitzen, von den angrenzenden Masseleitern **110** und **112** abgegrenzt.

[0035] Der Abschluss **105** ist über einen Innenleiter **125**, dessen Leiterbahnbreite sich vergrößert und der über benachbarte Spalte **126**, die den Innenleiter **125** zum beidseitig angrenzenden Masseleiter **112** abgrenzen, mit einem im Ausführungsbeispiel trapezförmigen Absorber **127** verbunden. Dieser trapezförmige Absorber **127** besteht z.B. aus Nickelchrom und bildet einen trimmbaren Präzisions-Widerstandsabschluss. Damit ist ein nahezu vollkommen reflexionfreier Abschluss des Abschlusses **105** gewährleistet. Der Präzisions-Widerstand des Absorbers **127** ist aufgrund seiner Trapez-Form symmetrisch zum Innenleiter **125** und dem beidseitigen Masseleiter **112**. Durch symmetrisches Abtragen des Absorbers **127** z.B. mittels eines Lasers kann der Abschlusswiderstand hoch präzise auf 50 Ohm zwischen dem Innenleiter **125** und dem beidseitigen Masseleiter **112** getrimmt werden.

[0036] In [Fig. 4](#) ist die Topologie des gesamten Richtkopplers **1** in koplanarer Wellenleitertechnik dargestellt. Sie besteht aus der in [Fig. 3](#) dargestellten Richtkopplereinheit **100** und der weiteren Richtkopplereinheit **200**. Die Richtkopplereinheit **200** weist die gleiche Struktur mit den gleichen Bestandteilen auf wie die Richtkopplereinheit **100**. Ihre topologische Ausrichtung auf dem Substrat **101** ist jedoch spiegelbildlich zur topologischen Ausrichtung der Richtkopplereinheit **100**. Die Bezugszeichen der Bestandteile der Richtkopplereinheit **200** werden deshalb aus den Bezugszeichen der korrespondierenden Bestandteile der Richtkopplereinheit **100** abgeleitet, indem in der führenden Ziffer des Bezugszeichens die 1 durch eine 2 ersetzt wird.

[0037] Der erste externe Anschluss **114** der Richtkopplereinheit **100** entsprechend [Fig. 3](#) wird im Richtkoppler **1** in [Fig. 4](#) auf dem Substrat **101** über einen Kondensator **130**, der ebenfalls auf dem Substrat **101** aufgebracht ist, mit dem ersten Außenanschluss **131** des Richtkopplers **1** verbunden. Der erste Außenanschluss **131** dient zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle. Der Kondensator **103** hat die Aufgabe der galvanischen Gleichstromentkopplung des ersten Außenanschlusses **131**. Eine Einspeisung einer Gleichstromkomponente als Überlagerung zur Mikrowellenkomponente der im ersten Außenanschluss **131** eingespeisten elektromagnetischen Welle kann über die Induktivität **132'** erfolgen.

[0038] Der zweite externe Anschluss **116** der Richtkopplereinheit **100** entsprechend [Fig. 3](#) wird im Richtkoppler **1** in [Fig. 4](#) auf dem Substrat **101** mit einem zweiten Außenanschluss **132** verbunden. Der zweite Außenanschluss **132** dient zum Auskoppeln eines Bruchteils der in die Richtkopplereinheit **100** am externen Anschluss **131** eingespeisten elektromagnetischen Welle.

[0039] Der erste externe Anschluss **214** der Richtkopplereinheit **200** in [Fig. 3](#) wird im Richtkoppler **1** in [Fig. 4](#) auf dem Substrat **101** mit einem vierten Außenanschluss **231** verbunden. Der vierte Außenanschluss **231** dient zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle.

[0040] Analog wird der zweite externe Anschluss **216** der Richtkopplereinheit **200** des Richtkopplers **1** auf dem Substrat **101** mit einem dritten Außenanschluss **232** verbunden. Der dritte Außenanschluss **232** dient zum Auskoppeln eines Bruchteils der in die Richtkopplereinheit **200** am externen Anschluss **231** eingespeisten elektromagnetischen Welle.

[0041] Wird der Richtkoppler **1** zwischen ein Messobjekt (DUT) und einen Netzwerkanalysator geschaltet, so erfolgt im ersten Außenanschluss **131** die Einspeisung der hochfrequenten elektromagnetischen Welle zur Anregung des vom Netzwerkanalysator zu vermessenden Messobjekts z.B. im Hinblick auf die Bestimmung der S-Parameter des Messobjekts. Am dritten Außenanschluss **231**, der mit dem Messobjekt verbunden ist, erfolgt die Ausspeisung der im ersten Außenanschluss **131** eingespeisten und über die beiden Richtkopplereinheiten **100** und **200** zum dritten Außenanschluss **231** direkt übertragenen hochfrequenten elektromagnetischen Welle. Gleichzeitig wird im dritten Außenanschluss **231** die vom Messobjekt reflektierte elektromagnetische Welle eingespeist. Im zweiten Außenanschluss **132** erfolgt die Auskopplung der im ersten Außenanschluss **131** eingespeisten und in der ersten Richtkopplereinheit **100** an den Auskopplungsanschluss **106** ausgekoppelten elektromagnetischen Welle. Im vierten Außenanschluss **232** erfolgt die Auskopplung der vom Messobjekt in den Richtkoppler **1** reflektierten und in der zweiten Richtkopplereinheit **200** am Auskopplungsanschluss **206** ausgekoppelten elektromagnetischen Welle. Hat das Messobjekt mehrere Messtore, so ist an jedem Messtor ein erfindungsgemäßer Richtkoppler **1** vorzusehen.

[0042] In [Fig. 5](#) ist in einem gegenüber [Fig. 4](#) vergrößerten Maßstab ein gegenüber [Fig. 4](#) leicht modifizierter Ausschnitt der Richtkopplereinheit **200** mit dem zweiten Anschluss **204**, der über den Innenleiter **124** mit den benachbarten Spalten **123** mit dem zweiten Anschluss **104** der ersten Richtkopplereinheit **100** verbunden ist, und dem isolierenden Abschluss **205**, der mit den Innenleiter **225** mit den benachbarten Spalten **296** mit dem Absorber **227** verbunden ist, im Bereich V in [Fig. 4](#) dargestellt. Zu erkennen ist der in Richtung des zweiten Anschlusses **204** beziehungsweise des Abschlusses **205** sich exponentiell erweiternde Spalt **209** mit der Spaltbreite s_i zwischen den beiden Innenleitern **207** und **208**. Ebenfalls ist die sich in Richtung des zweiten Anschlusses **204** bzw. des Abschlusses **205** erweiternde Leiterbahnbreite w_i der beiden Innenleiter **207** bzw. **208** ersichtlich. Schließlich ist im Topologieausschnitt der [Fig. 5](#) der "Zickzack"-förmige Verlauf des Spaltes **211** mit der Spaltbreite g_i zwischen dem Innenleiter **207** und dem breitflächigen Masseleiter **110** und des Spaltes **213** zwischen dem Innenleiter **208** und dem breitflächigen Masseleiter **112** für den i -ten Koppelabschnitt dargestellt.

[0043] Zur Vermeidung unsymmetrischer Feldverläufe zwischen den beiden aus jeweils einem Innen- und Masseleiter bestehenden Leitungspaar eines koplanaren Leitungssystems werden die beiden Masseleiter über metallische Verbindungen auf gleiches elektrisches Potential gebracht.

[0044] Hierzu werden, wie in [Fig. 6](#) als vergrößerte Darstellung des Bereichs VI in [Fig. 4](#) für die Richtkopplereinheit **200** dargestellt, im Bereich enger Abstände zwischen den einzelnen Masseleitern sogenannte "Luftbrücken" **235** verwendet. Diese "Luftbrücken" **235** bestehen aus den Metallschichten **236**, die den Bereich zwischen den Innenleitern **207**, **208**, **218** und **221** und den Spalten **211**, **213**, **219** und **222** unter Zwischenschaltung einer dünnen Luftschicht isolierend überspannen. Auf Grund der geringen Leitungslänge der Metallschichten **236** ist deren Induktivitätsbelag vergleichsweise gering, so dass das Hochfrequenzverhalten des koplanaren Wellenleiters damit nicht verschlechtert ist. Die Metallschichten **236** sind über Pfosten **237**, die in enger Nachbarschaft zu dem isolierenden Spalten **211**, **213**, **219** und **222** positioniert sind, mit dem breitflächigen Masseleiter **110**, **112** und **220** verbunden.

[0045] Im Bereich größerer Abstände zwischen den einzelnen Masseleitern werden an Stelle der "Luftbrücken" Bonddrähte **140** (für Richtkopplereinheit **100**) und **240** (für Richtkopplereinheit **200**) verwendet, da diese bei größeren Leitungslängen gegenüber den "Luftbrücken" **135** (für Richtkopplereinheit **100**) und **235** (für Richtkopplereinheit **200**) einen deutlich geringeren Kapazitätsbelag aufweisen.

[0046] Die Funktionsweise der Koppelstrecke **102** der Richtkopplereinheit **100** bzw. der Koppelstrecke **202** der Richtkopplereinheit **200** wird unter Zuhilfenahme der Querschnittsdarstellung eines koplanaren Wellenleitungssystems in [Fig. 7](#) im Folgenden erklärt (die Bezugszeichen der einzelnen Leiter beziehen sich auf die Richtkopplereinheit **100**):

Wird die Koppelstrecke **102** der Richtkopplereinheit **100** am ersten Anschluss **103** mit einer elektromagnetischen Welle einer bestimmten Frequenz und Amplitude angeregt, so kommt es in den einzelnen Koppelabschnitten zu Koppelvorgängen zwischen dem Innenleiter **109** und dem Innenleiter **108** des koplanaren Leitungssystems. In [Fig. 7](#) sind die zur elektromagnetischen Welle gehörigen elektrischen Feldlinien durch geschlossene Linien sowie die magnetischen Feldlinien durch gestrichelte Linien dargestellt. Das Ausmaß des Koppelvorgangs in den einzelnen Koppelabschnitten wird durch den dortigen Koppelfaktor bestimmt, der wiederum größtenteils durch den Abstand zwischen den beiden Innenleitern **107** und **108** festgelegt ist.

[0047] Die Überlagerung der in den einzelnen Koppelabschnitten i auf den beiden Leitungsparen direkt geführten und überkoppelten elektromagnetischen Wellen, die auf Grund des unterschiedlich großen Spaltabstandes s_i zwischen den beiden Innenleitern **107** und **108** unterschiedlich stark ausgeprägt ist, führt in jedem Koppelabschnitt i zu zwei sich überlagernden elektromagnetischen Eigenwellen (Moden), nämlich einer Gleichtaktwelle (even-mode) und einer Gegentaktwelle (odd-mode). Während die Gleichtaktwelle (even-mode) durch gleiches elektrisches Potential der beiden Innenleiter **107** und **108** gekennzeichnet ist, weist die Gegentaktwelle (odd-mode) entgegengesetztes elektrisches Potential auf.

[0048] Durch Festlegung der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern **107** und **108** sowie zwischen Innenleiter **107** und Masseleiter **110** bzw. zwischen Innenleiter **108** und Masseleiter **112** wird die Querschnittsaufteilung Dielektrikum/Luft und damit die effektive Permittivitätszahl $\epsilon_{(e)\text{eff}}$ und $\epsilon_{(o)\text{eff}}$ der beiden Moden bestimmt, womit die Phasengeschwindigkeiten $v^{(e)}$ und $v^{(o)}$ der Gleichtaktwelle und der Gegentaktwelle determiniert sind. Charakteristisch für einen Richtkoppler in Koplanartechnik mit einer Geometriestruktur, die obig beschrieben ist, ist die Einstellung der Phasengeschwindigkeit $v^{(e)}$ der Gleichtaktwelle durch die Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern weitgehend unabhängig von der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen sowie die Einstellung der Phasengeschwindigkeit $v^{(o)}$ der Gegentaktwelle durch die Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen.

chen unabhängig von der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern. Auf eine genauere Erklärung dieses Sachverhaltes, der numerisch mit Hilfe des Simulationsmodelles ermittelt wurde, wird im Rahmen dieser Ausführung verzichtet.

[0049] Die Spaltgeometrien zwischen den beiden Innenleitern sowie zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen können mit Hilfe eines Simulationsmodelles derart dimensioniert werden, dass sich am reflexionsfreien Abschluss **105** Gleichtaktwelle und Gegentaktwelle gegenseitig vollständig kompensieren, während sich am Auskopplungsanschluss **106** Gleichtaktwelle und Gegentaktwelle addieren. Damit ist die für einen Richtkoppler erforderliche hohe Richtdämpfung a_D ($a_D = -20 \cdot \lg(b_4/b_2)$), siehe dazu [Fig. 2](#)) realisiert. Die hohe Richtdämpfung verursacht eine niedrige Dämpfung der resultierenden, überkoppelten elektromagnetischen Welle im Koppelpfad, d. h. am Auskopplungsanschluss **106** und gleichzeitig eine hohe Dämpfung der resultierenden, überkoppelten elektromagnetischen Welle am Isolationspfad, d. h. am Abschluss **105**.

[0050] Die für den Richtkoppler erforderliche Kopplungsdämpfung a_K ($a_K = -20 \cdot \lg(k)$, $k = |b_2/a_1|$), siehe dazu [Fig. 2](#)) im Bereich des ersten Anschlusses **103** bzw. des Auskopplungsanschlusses **106** von beispielsweise 10 dB wird durch den Kopplungsfaktor k bestimmt, welcher wiederum vom Wellenwiderstand der Gleichtaktwelle Z_e und vom Wellenwiderstand der Gegentaktwelle Z_o und damit von der gesamten Querschnittsgeometrie im Bereich des ersten Anschlusses **103** bzw. des Auskopplungsanschlusses **106** abhängt.

[0051] Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen läßt sich ein ultraleichter Richtkoppler realisieren. Versuche der Anmelderin haben ergeben, dass sich ein Verhältnis von maximaler Übertragungsfrequenz f_{\max} zu minimaler Übertragungsfrequenz f_{\min} von $f_{\max}/f_{\min} = 12$ erreichen läßt.

[0052] Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt. Sämtliche beschriebenen Merkmale können beliebig miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss (103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108) und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig berandende Masseleiter (110, 112), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107, 108) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107, 108) ändert.

2. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107, 108) in Richtung vom ersten Anschluss (103) bzw. vom Auskoppelanschluss (106) zum zweiten Anschluss (104) bzw. zum Abschluss (105) sich exponentiell vergrößert.

3. Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss (103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108) und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig berandende Masseleiter (110, 112), dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107; 108) ändert.

4. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) sich zwischen zwei benachbarten, ursprünglich konstant breiten Koppelabschnitten linear vergrößert oder verkleinert.

5. Richtkoppler nach koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) oberhalb eines vorgegebenen unteren Grenzwertes g_{\min} und unterhalb eines vorgegebenen oberen Grenzwertes g_{\max} liegt.

6. Richtkoppler nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (**107, 108**) sich an der Koppelstrecke (**102**) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (**107, 108**) ändert.

7. Richtkoppler (**1**) in koplanarer Wellenleitertechnik aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (**100**) mit einem ersten Anschluss (**103**) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (**104**) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (**103**) direkt zugeführten Welle, einem Auskoppelanschluss (**106**) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle, einem Abschluss (**105**), einem den ersten Anschluss (**103**) und den zweiten Anschluss (**104**) verbindenden ersten Innenleiter (**107**), einem den Auskoppelanschluss (**106**) und den Abschluss (**105**) verbindenden zweiten Innenleiter (**108**) und jeweils die Innenleiter (**107, 108**) außenseitig berandende Masseleiter (**110, 112**), dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterbahnbreite der beiden Innenleitern (**107, 108**) sich an einer Koppelstrecke (**102**) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (**107, 108**) ändert.

8. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Leiterbahnbreite der Innenleiter (**107, 108**) in Richtung vom ersten Anschluss (**103**) bzw. vom Auskoppelanschluss (**106**) zum zweiten Anschluss (**104**) bzw. Abschluss (**105**) kontinuierlich vergrößert.

9. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (**107; 108**) sich an der Koppelstrecke (**102**) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (**107; 108**) ändert.

10. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (**107; 108**) und einem angrenzenden Masseleiter (**110; 112**) sich an der Koppelstrecke (**102**) entlang der Längsachse der Innenleiter (**107; 108**) ändert.

11. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abschluss (**105**) mit einem trapezförmigen Absorber (**127**) abgeschlossen ist.

12. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Anschluss (**104**) der ersten Richtkopplereinheit (**100**) über einen Innenleiter (**123**) mit zwei begrenzenden Masseleitern (**124**) mit einem zweiten Anschluss (**205**) einer zweiten Richtkopplereinheit (**200**) verbunden ist.

13. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Richtkopplereinheit (**100, 200**) auf einem gemeinsamen Substrat (**101**) bei spiegelbildlicher Anordnung monolithisch integriert sind.

14. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des engsten Abstandes der Masseleiter (**110, 112, 120**) die Masseleiter (**110, 112, 120**) über Luftbrücken (**135**) und/oder in Bereichen größeren Abstandes zwischen den Masseleitern (**110, 112, 120**) die Masseleiter (**110, 112, 120**) über Bonddrähte (**140**) verbunden sind.

15. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Luftbrücken (**135**) aus metallischen Schichten (**136**) bestehen, die über eine dünne Luftschicht von den Innenleitern (**107, 108, 118, 121, 123, 125**) isolierend getrennt sind.

16. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass an Übergangsstellen zwischen coaxialen Zuleitungen und den Innenleitern (**107, 108**) Taper (**115, 117**) vorgesehen sind, die zur Minimierung von Dämpfung und Reflexion die Querschnittsgeometrie der coaxialen Zuleitungen an die Querschnittsgeometrie der Innenleiter (**107, 108**) kontinuierlich anpassen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

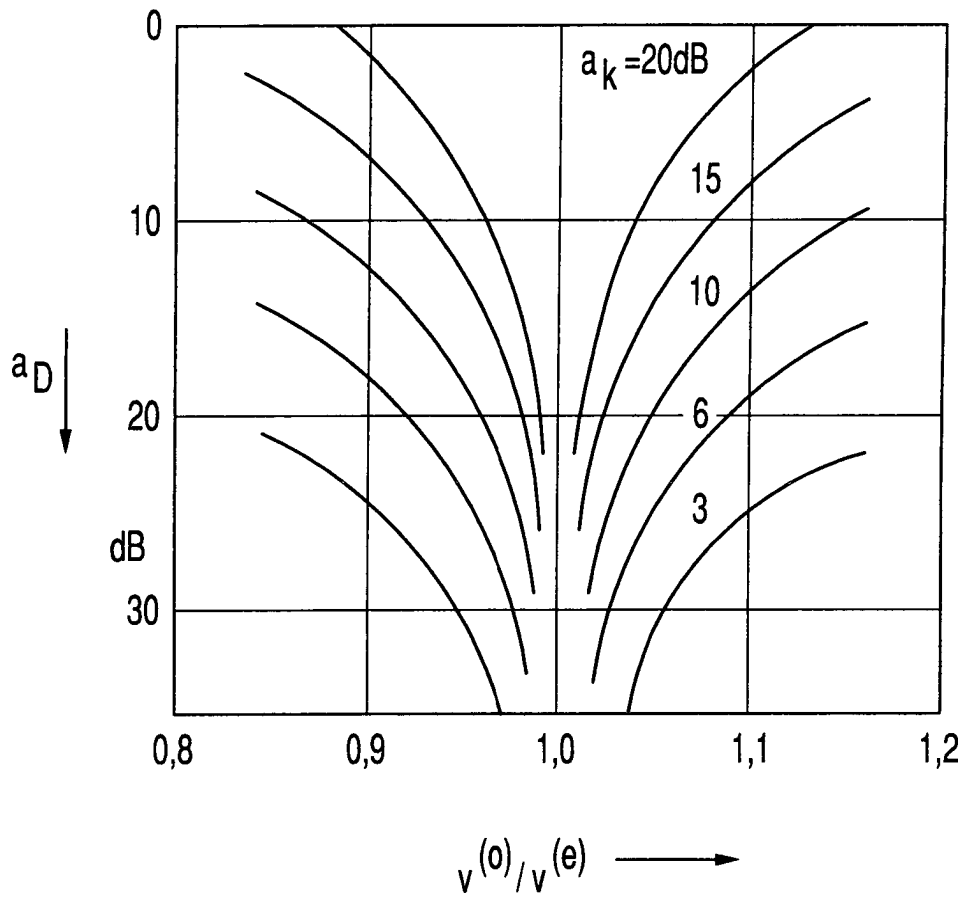


Fig. 1

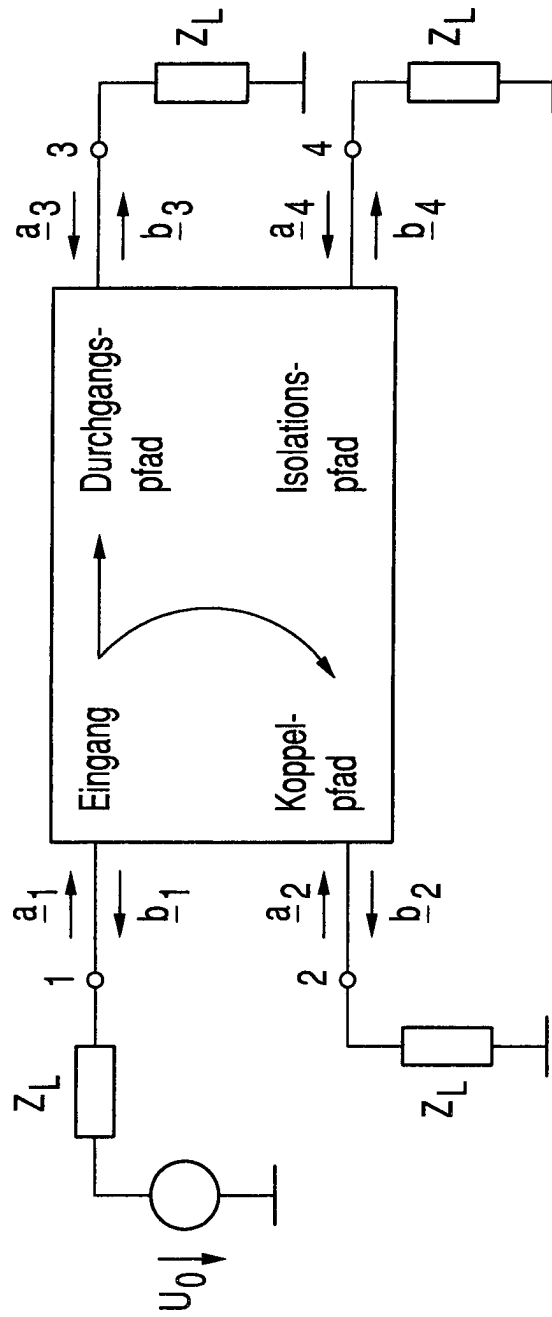


Fig. 2

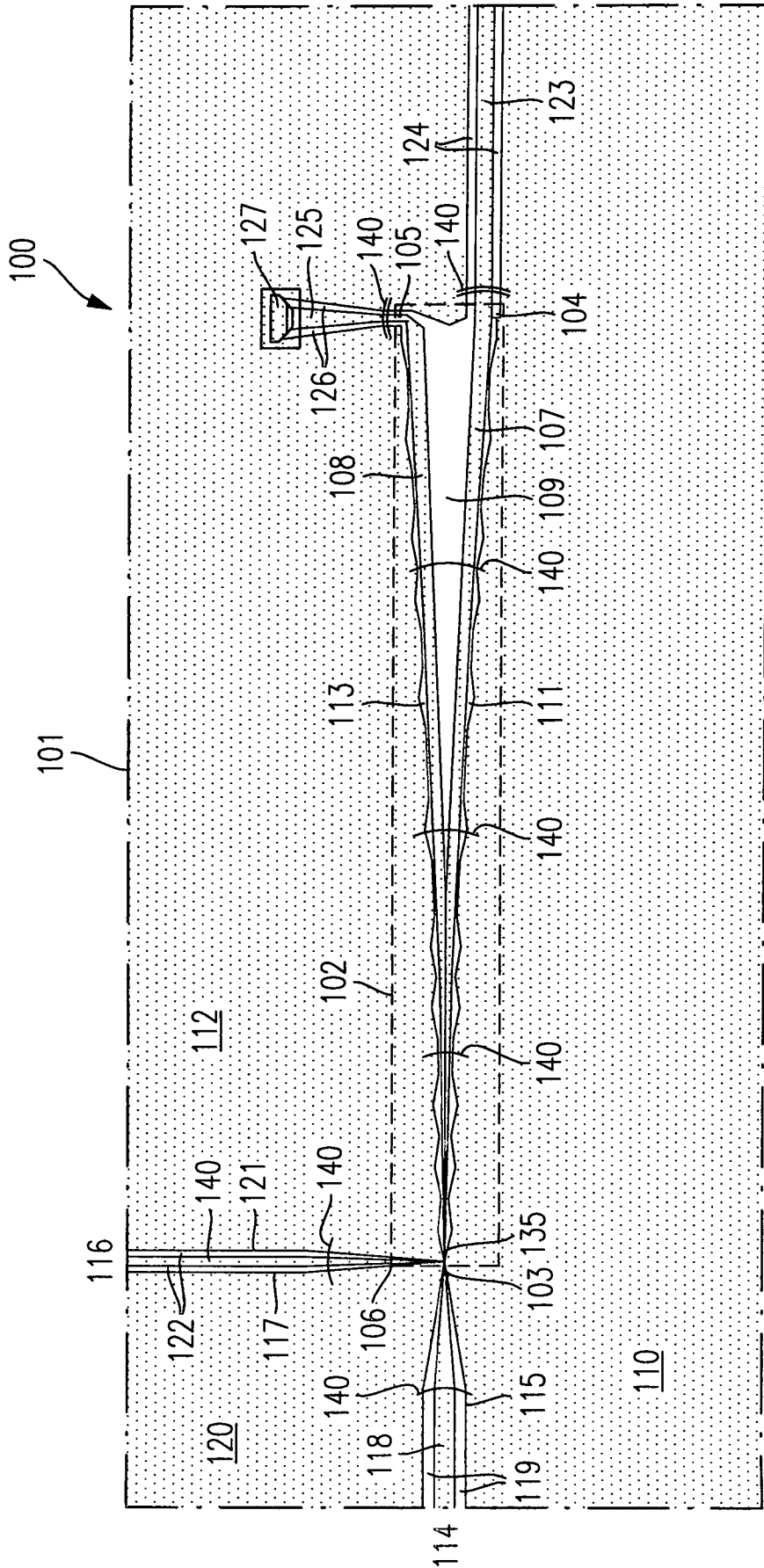


Fig. 3

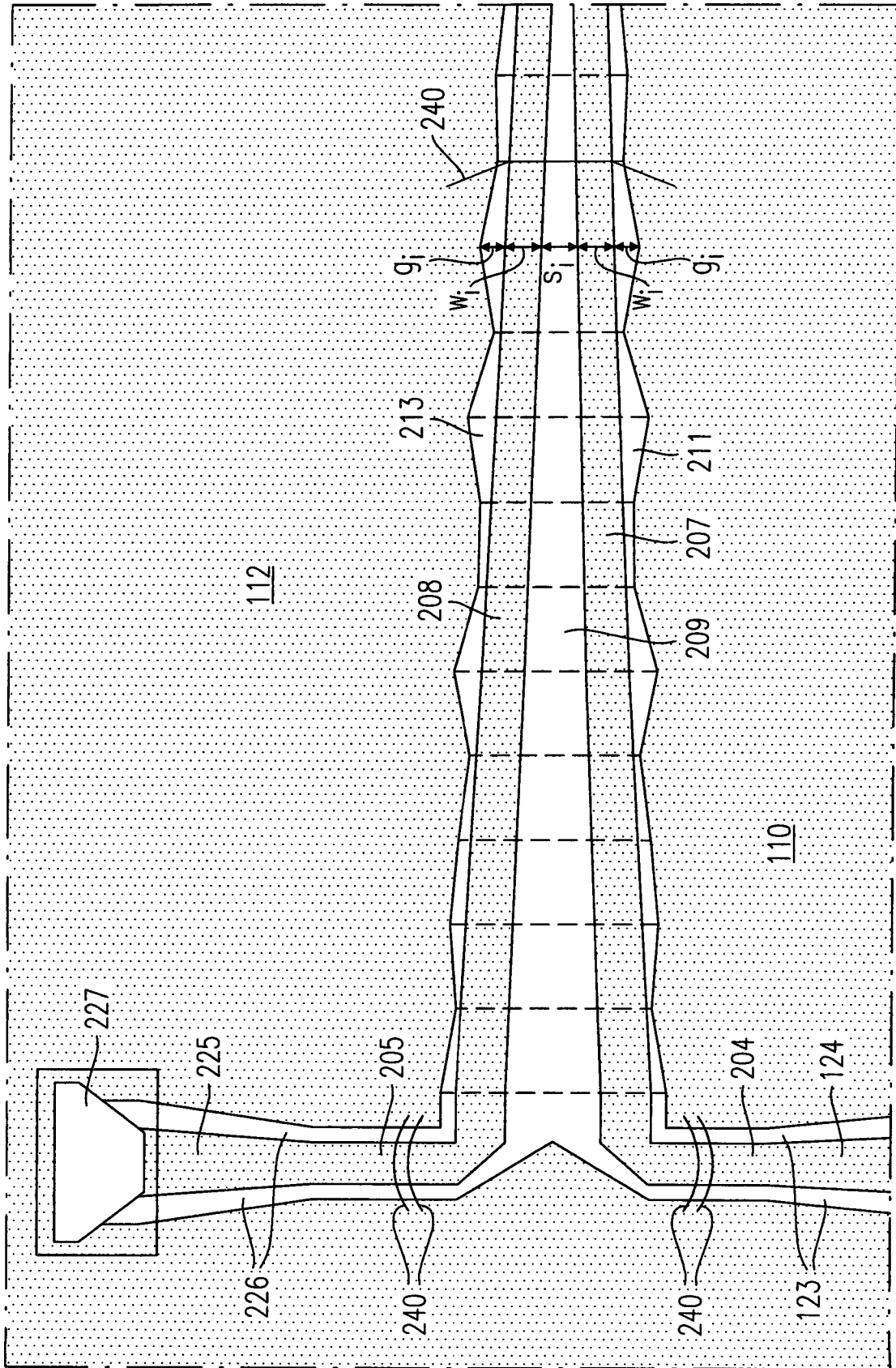
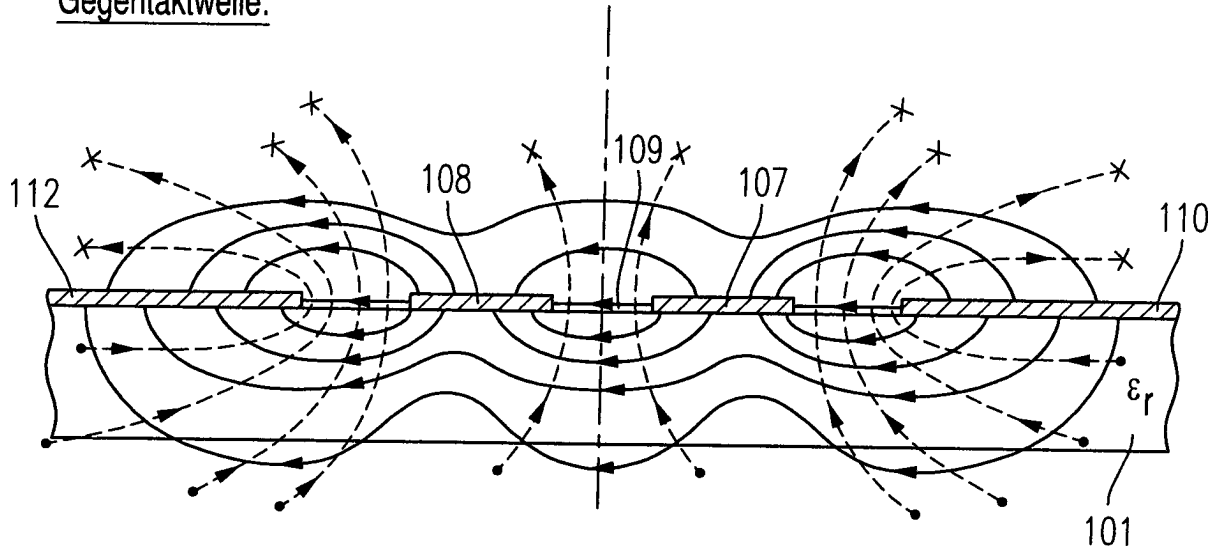


Fig. 5

Gegentaktwelle:



Gleichtaktwelle:

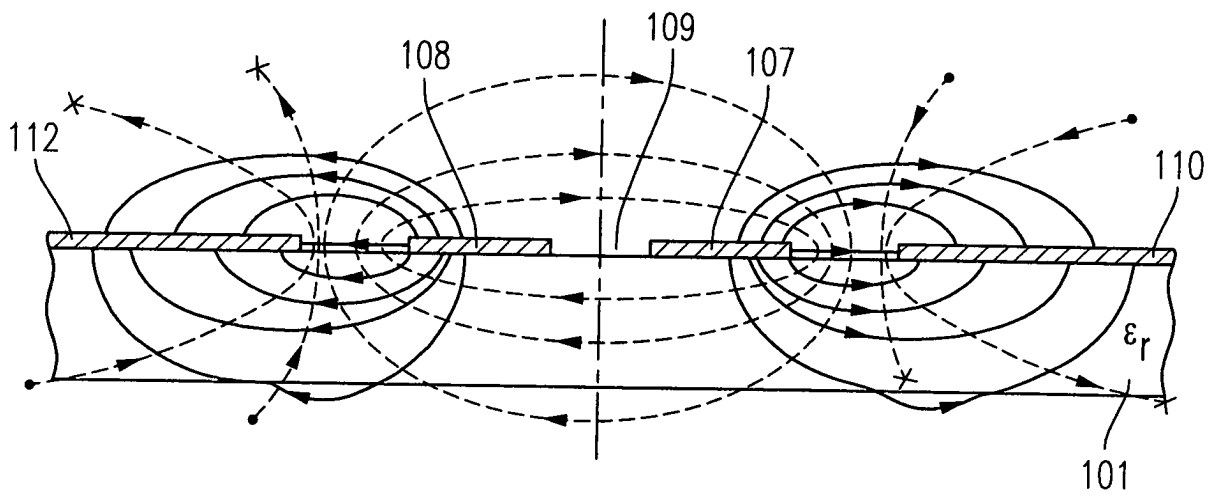


Fig. 7