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

(11) EP 0 790 660 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.08.1997 Patentblatt 1997/34

(51) Int. Cl.[6]: **H01P 5/18**

(21) Anmeldenummer: **97101774.4**

(22) Anmeldetag: **05.02.1997**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB NL

(30) Priorität: **15.02.1996 DE 19605569**

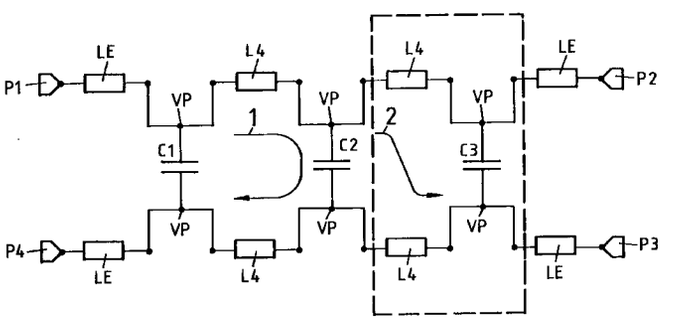
(71) Anmelder: **Daimler-Benz Aerospace Aktiengesellschaft**
81663 München (DE)

(72) Erfinder:
- **Ludwig, Michael**
  89155 Erbach (DE)
- **Rieger, Ralf**
  88515 Andelfingen (DE)

(74) Vertreter: **Fröhling, Werner, Dr.**
Daimler-Benz Aerospace AG
Patentabteilung
Wörthstrasse 85
89077 Ulm (DE)

(54) Richtkoppler für den Hochfrequenzbereich

(57) Die Erfindung betrifft einen Richtkoppler, der vollständig in integrierter Technologie (MIC oder MMIC) herstellbar ist, insbesondere für das X-Band. Der Richtkoppler kann vorzugsweise für eine hohe Koppeldämpfung (>30 dB) und eine hohe Richtschärfe (>30 dB) ausgelegt werden bei einer großen relativen Bandbreite (ungefähr 20%). Dieses wird erreicht durch eine stufenförmige Anordnung aus mehreren λ/4-Wellenleitern und zwischen den Pfaden des Kopplers angeordneten Koppelkondensatoren.



EP 0 790 660 A2

Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einem Richtkoppler für den Hochfrequenzbereich nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

In der Hochfrequenztechnologie, insbesondere der Radartechnologie, werden Richtkoppler in verschiedenen Anwendungen verwendet, beispielsweise zum Auskoppeln eines Hochfrequenzsignals (HF-Signal) oder zum Einkoppeln eines HF-Kalibriersignals in eine HF-Schaltungsanordnung. Für derartige Anwendungen sind Richtkoppler bekannt, die in unterschiedlicher Technologie ausgeführt sind, beispielsweise in

- sogenannter drop-in-Technik oder
- als Triplate-Anordnungen oder
- als Hohlleiterkoppler oder
- als koaxiale Koppler.

Derartige Koppler sind im allgemeinen als diskrete Bauelemente aufgebaut und daher räumlich groß und kostenungünstig, insbesondere bei einer industriellen Serienfertigung von HF-Anordnungen, die alle gleiche elektrische Eigenschaften besitzen müssen und die räumlich klein und mechanisch robust sein müssen. Solche HF-Anordnungen sind beispielsweise Sende-/Empfangsmodule (T/R-Module) für phasengesteuerte Antennen. Eine solche Antenne benötigt eine Vielzahl, beispielsweise einige Tausend, von T/R-Modulen, die räumlich eng benachbart angeordnet werden müssen, beispielsweise in einem Rasterabstand von ungefähr $\lambda/4$, wobei λ die Sende-/Empfangsfrequenz, beispielsweise einige GHz, bedeutet. Es ist ersichtlich, daß eine solche Anordnung elektrisch hochgenau hergestellt und abgeglichen werden muß, wenn ein hochgenaues Arbeiten der Antenne verlangt wird. Dafür ist beispielsweise bei jedem T/R-Modul mindestens ein Koppler, der an einem vorgebbaren Meßpunkt in die Schaltungsanordnung eingefügt ist, notwendig, um beispielsweise ein HF-Signal für Test-, Kalibrations- und/oder Meßzwecke auszukoppeln. Es ist ersichtlich, daß dafür geeignete Koppler ebenfalls hochgenau sein müssen und außerdem untereinander möglichst geringe vorgebbare Toleranzen der elektrischen Eigenschaften besitzen müssen. Dieses ist bei den eingangs erwähnten Kopplern jedoch allenfalls mit einem hohen Integrations- sowie Abgleichaufwand erreichbar, welcher kostenungünstig ist, insbson-dere bei einer industriellen Serienfertigung.

Zur Vermeidung solcher Nachteile ist es naheliegend, Koppler zu verwenden, die vollständig in integrierter Technologie herstellbar sind. Ein solcher Koppler enthält einen (Haupt-)Wellenleiter, an den ein weiterer Wellenleiter, beispielsweise ein $\lambda/4$-Wellenleiter, gekoppelt ist, so daß eine Leitungskopplung entsteht. Bei solchen Kopplern sind im allgemeinen weitere passive Bauelemente (Reaktanzen) nötig, um eine einwandfreie Ein- oder Auskopplung von HF-Signalen zu bewirken.

Derartige Koppler sind daher in nachteiliger Weise ebenfalls technisch aufwendig und daher kostenungünstig, insbesondere für eine industrielle Serienfertigung.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen Koppler anzugeben, der bei vorgebbaren Toleranzen der elektrischen Eigenschaften in reproduzierbarer Weise in integrierter Leitungstechnologie kostengünstig und zuverlässig herstellbar ist, insbesondere in einer industriellen Serienfertigung.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale.

Voreilhafte Ausgestaltungen und/oder Weiterbildungen der Erfindung sind den weiteren Ansprüchen entnehmbar.

Ein erster Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der Koppler vollständig in einer Leitungstechnologie, beispielsweise Microstrip-Technologie, herstellbar ist, welche für die Wellenlänge (Frequenz) der geführten Signale geeignet ist. Es werden keine diskreten Bauelemente benötigt, die ansonsten in die Schaltungsanordnung eingefügt werden müßten, beispielsweise durch Löt-, Klebe- oder Bondverbindungen. Es entstehen vorteilhafterweise keine ansonsten dadurch verursachte elektrische Stoßstellen, an denen störende Reflexionen der geführten Welle auftreten könnten.

Ein zweiter Vorteil besteht darin, daß nahezu verlustfreie Koppler herstellbar sind, das heißt, an dem Isolationspfad (Isolationstor) tritt nahezu kein Signal auf, welches ansonsten mit einem entsprechenden Abschlußwiderstand (HF-Sumpf) in (Verlust-)Wärme umgewandelt wird. An dem Eingangstor tritt vorteilhafterweise eine vernachlässigbare Reflexion auf.

Ein dritter Vorteil besteht darin, daß bei hoher Richtschärfe (Richtdämpfung) und hoher Koppeldämpfung auch breitbandige Koppler herstellbar sind.

Ein vierter Vorteil besteht darin, daß keine Leitungskopplung vorhanden ist, so daß keine störenden Dispersionseffekte auftreten können.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert unter Bezugnahme auf eine schematisch dargestellte Figur.

Das Ausführungsbeispiel bezieht sich auf einen Koppler im Höchstfrequenzbereich (X-Band, das heißt 8 GHz bis 12 GHz) zum Auskoppeln eines HF-Signalanteiles insbesondere für Test-, Kalibrations- sowie Meßzecke.

Der Koppler ist vollständig in einer für diesen Frequenzbereich geeigneten Microstrip-Leitungstechnologie aufgebaut. Der Koppler besitzt vorteilhafterweise einen, bezüglich der Tore P1 bis P4, vollständig symmetrischen, Aufbau, so daß die einen Koppler kennzeichnenden Begriffe, wie beispielsweise Durchgangspfad, Koppelpfad, Eingangstor, isoliertes Tor, wählbar sind. Dadurch ist beispielsweise mit demselben sogenannten Schaltungs-Layout des Kopplers eine flexible Anpassung an sonstige Schaltungs- und /oder Layoutanforde-

rungen möglich. Beispielsweise kann jedes der vier Tore als isoliertes Tor verwendet werden.

Bei dem dargestellten Beispiel wird angenommen, daß das Tor P1 das Eingangstor ist, in das ein HF-Eingangssignal eingespeist werden kann. Der zwischen dem Tor P1 und dem Tor P2 (Ausgangstor) vorhandene Pfad wird als Durchgangspfad bezeichnet. Der zwischen den Toren P3 und P4 vorhandene Pfad wird als Koppelpfad bezeichnet. Da bei dem Koppler eine sogenannte Vorwärtskopplung verwendet wird, entsteht das auszukoppelnde Signal (Meßsignal) an dem (Koppel-)Tor P3, was nachfolgend noch näher erläutert wird. Das Tor P4 ist das isolierte Tor, an dem allenfalls ein vernachlässigbarer Signalanteil austritt, der bedarfsweise zusätzlich einem HF-Abschlußwiderstand (HF-Sumpf) zugeführt werden kann. Durchgangs- und Koppelpfad sind Microstrip-Wellenleiter. Die Kopplung zwischen diesen erfolgt mittels einer vorgebbaren Anzahl von Koppelkondensatoren C1 bis C3, die vorteilhafterweise ebenfalls in Microstrip-Leitungstechnologie herstellbar sind, beispielsweise durch eine genau vorgebbare Leitungsunterbrechung (Leitungslücke) eines entsprechenden Wellenleiters.

Entsprechend der Figur besteht sowohl der Durchgangs- als auch der Koppelpfad aus einer Reihenschaltung aus jeweils einem Eingangsleiter LE, der jeweils an ein Tor P1 bis P4 angrenzt, und einer vorgebbaren Anzahl von $\lambda/4$-Wellenleitern L4, welche die elektrische Länge $\lambda/4$ besitzen, wobei λ die Wellenlänge der geführten Welle bedeutet. An den zwischen den erwähnten Leitungsbschnitten LE, L4, L4, LE entstehenden Verbindungspunkten VP, die in Leitungstechnologie beispielsweise als sogenannte T-Stücke ausgebildet werden, sind die Koppelkondensatoren C1 bis C3 zwischen den Pfaden angeordnet.

Wird nun in das Eingangstor P1 ein HF-Signal (einfallende Leitungswelle) eingekoppelt, so wird dieses durch den Durchgangspfad zum Ausgangstor P2 geleitet. Außerdem erfolgt über die Koppelkondensatoren C1 bis C3 eine Anregung einer Leitungswelle in dem Koppelpfad. Diese Leitungswelle kann sich in dem Koppelpfad prinzipiell in zwei entgegengesetzten Richtungen ausbreiten, nämlich in der mit dem Bezugszeichen 2 dargestellten, erwünschten Vorwärtsrichtung, das heißt von dem isolierten Tor P4 in Richtung des (Koppel-)Tores P3 (das heißt parallel zur Ausbreitungsrichtung der am Tor P1 einfallenden Leitungswelle) oder in der dazu entgegengesetzten, unerwünschten Rückwärtsrichtung, die mit dem Bezugszeichen 1 dargestellt ist, das heißt vor dem (Koppel-)Tor P3 in Richtung des isolierten Tores P4. Aufgrund der beschriebenen Anordnung wird nun erreicht, daß sich alle im Koppelpfad in Vorwärtsrichtung 2 ausbreitenden Leitungswellen vorteilhafterweise konstruktiv überlagern, das heißt, zwischen diesen besteht im wesentlichen eine Phasendifferenz von 0°. Dagegen besteht zwischen den über die Koppelkondensatoren C1 bis C3 eingekoppelten Leitungswellen, die sich in Rückwärtsrichtung 1 ausbreiten, immer eine Phasendifferenz von im wesentlichen 180°, das heißt, es entsteht eine destruktive Überlagerung. Die in Rückwärtsrichtung 1 laufenden Leitungswellen löschen sich (durch Interferenz) also gegenseitig aus, so daß an dein isolierten Tor P4 allenfalls ein vernachlässigbarer Signalanteil auftritt.

Aufgrund des beschriebenen symmetrischen Aufbaus des Kopplers ist es ersichtlich, daß durch die im Koppelpfad in Vorwärtsrlchtung 2 geführte Leitungswelle von dieser wiederum Leitungswellen im Durchgangspfad angeregt werden. Diese können sich nun aufgrund des symmetrischen Aufbaus ebenfalls vorteihafterweise nur konstruktiv in der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Leitungswelle überlagern, das heißt, nur an dem (Ausgangs-)Tor P2 austreten. An dem (Eingangs-)Tor P1 kann ebenfalls allenfalls ein vernachlässigbarer Signalanteil austreten. Dieser wird im allgemeinen als reflektierter Anteil bezeichnet.

Es ist ersichtlich, daß die maximal an dem (Koppel-)Tor P3 auskoppelbare Leistung, die in der Literatur auch durch die sogenannte Koppeldämpfung gekennzeichnet ist, von der Kapazität der Koppelkondensatoren C1 bis C3 abhängt.

Durch die Anzahl der Stufen des Kopplers ist dessen relative (Frequenz-)Bandbreite einstellbar. Dabei besteht eine Stufe, die in der Figur gestrichelt umrandet ist, aus jeweils einem $\lambda/4$-Leitungsstück (in jedem Pfad) und einem zugehörigen Koppelkondensator. Dabei wird die relative Bandbreite größer, wenn die Anzahl der Stufen vergrößert wird.

Es ist ersichtlich, daß die Dimensionierung der dargestellten Bauelemente (Leitungsstücke LE, L4 sowie Koppelkondensatoren) unter anderem von dem Absolutwert der am (Koppel-)Tor P3 auszukoppelnden Leistung abhängt. Eine genaue Dimensionierung der Bauelemente ist möglich mittels der einem Fachmann geläufigen Netzwerkberechnung.

Derartige Koppler sind charakterisierbar durch die relativen Größen (relative) Bandbreite, Koppeldämpfung (Verhältnis der am (Koppel-)Tor P3 ausgekoppelten Leistung zu der am (Eingangs-)Tor P1 eingekoppleten Leistung) sowie Richtschärfe = 1/Richtdämpfung. Die Richtschärfe bezeichnet das Verhältnis der am (Koppel-)Tor P3 ausgekoppelten Leistung zu der am isolierten Tor P4 auskoppelbaren Leistung.

Mit der beschriebenen Anordnung, das heißt drei Koppelkondensatoren C1 bis C3 und jeweils zwei $\lambda/4$-Leitungen L4 in jedem Pfad, ist beispielsweise in Microstrip-Technologie ein Koppler herstellbar, der im X-Band (8 GHz bis 12 GHz) eine relative Bandbreite von ungefähr 20% besitzt sowie eine Richtschärfe von größer 30 dB bei einer Koppeldämpfung von ungefähr 30 dB.

Derartige Koppler sind daher in vorteilhafter Weise in derzeit in der Höchstfrequenz-Technologie übliche integrierte Schaltungsanordnungen, beispielsweise sogenannte MICs (Microwave Integrated Circuits) sowie MMICs (Monolithic Microwave Integrated Circuits) implementierbar. Es werden also vorteilhafterweise ansonsten nötige zusätzliche diskrete Bauelemente

(z.B koaxiale Koppler) vermieden und dadurch die Herstellungskosten erheblich gesenkt. Außerdem sind derartige Koppler mechanisch robust (unempfindlich gegenüber Schockbeanspruchung), zuverlässig und reproduzierbar herstellbar, das heißt, innerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereiches der elekrischen Eigenschaften, insbesondere bei einer industriellen Serienfertigung.

Die Erfindung ist nicht auf das beschriebene Beispiel beschränkt, sondern sinngemäß auf weitere anwendbar. So ist es einem Fachmann geläufig, die in der Figur dargestellte Anordnung mittels der Netzwerktheorie beispielsweise in nahezu jedem Freuenzbereich zu transponieren.

Patentansprüche

1. Richtkoppler für den Hochfrequenzbereich, zumindest bestehend aus

   - einem Durchgangspfad sowie einem Koppelpfad, wobei beide Pfade in integrierter Technologie als Wellenleiter ausgebildet sind und

   - einer zwischen den Wellenleitern vorhandenen Koppelstelle zur Kopplung der in den Wellenleitern geführten Wellen, dadurch gekennzeichnet,

   - daß in jedem Pfad in der Ausbreitungsrichtung einer einfallende Leitungswelle mindestens zwei Verbindungspunkte (VP) vorhanden sind,

   - daß in jedem Pfad zwischen den Verbindungspunkten (VP) jeweils ein $\lambda/4$-Wellenleiter (L4), dessen elektrische Länge gleich $\lambda/4$ ist, wobei λ die Wellenlänge der in dem Wellenleiter geführten Weile bezeichnet, vorhanden ist und

   - daß zwischen zugehörigen Verbindungspunkten (VP) unterschiedlicher Pfade ein Koppelkondensator (C1 bis C3) vorhanden ist.

2. Richtkoppler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungspunkte (VP) in integrierter Wellenleiter-Technologie als T-Stücke ausgebildet sind.

3. Richtkoppler nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelkondensatoren (C1 bis C3) in integrierter Wellenleiter-Technologie als Leitungsunterbrechung ausgebildet sind.

4. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapazität der Koppelkondensatoren (C1 bis C3) in Abhängigkeit der von dem Durchgangspfad in den Koppelpfad einzukoppelnden HF-Leistung gewählt ist.

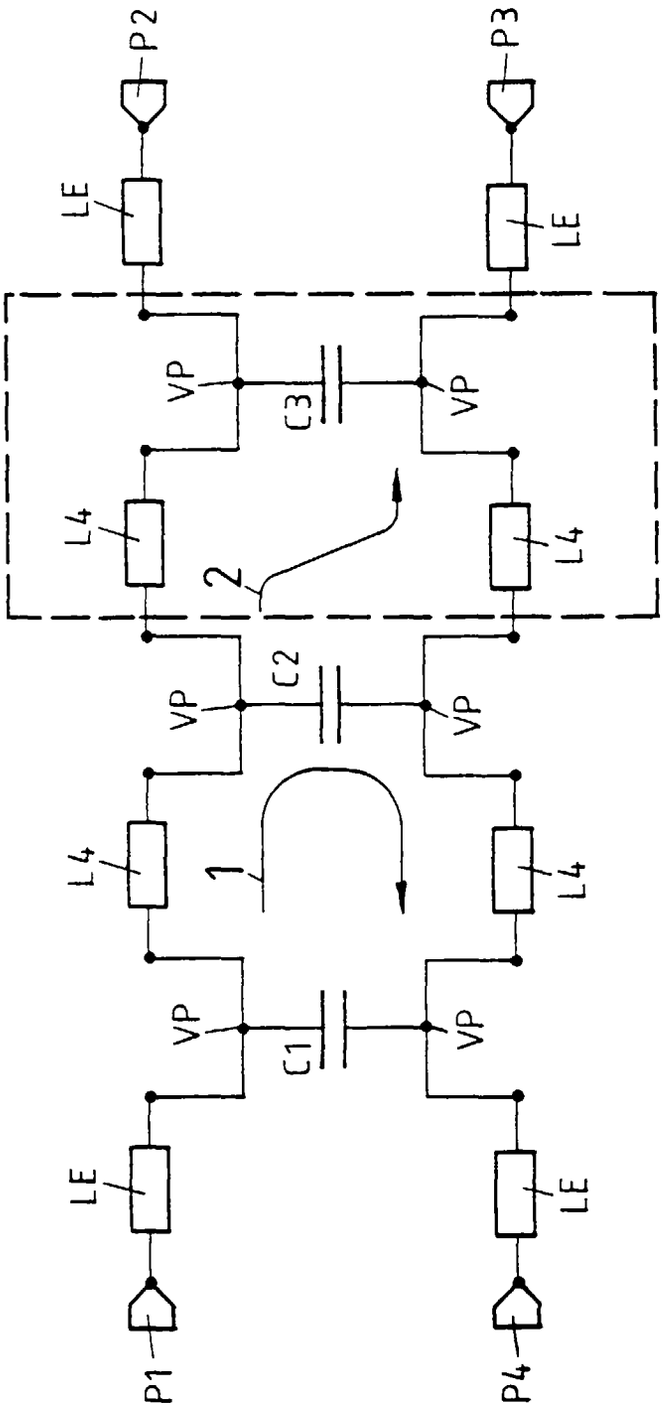
5. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Pfad dieselbe Anzahl von Verbindungspunkten (VP) sowie dieselbe Anzahl von $\lambda/4$-Wellenleiern (L4) vorhanden sind und daß diese Anzahlen sowie die Anzahl der zwischen den Pfaden vorhandenen Koppelkondendatoren (C1 bis C3) in Abhängigkeit von der vorgebbaren relativen (Frequenz-)Bandbreite des Kopplers gewählt sind.

6. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Pfade, Verbindungspunkte (VP), $\lambda/4$-Wellenleiter (L4) sowie Koppelkondensator in integrierter Wellenleiter-Technologie für den Radar-Frequenzbereich ausgelegt sind.

7. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenleiter-Technologie auf der Microstrip-Wellenleiter-Technologie basiert.

8. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Koppelkondensatoren (C1 bis C3) für eine hohe vorgebbare Koppeldämpfung des Koppler ausgelegt sind.

9. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zur Verwendung in einem Sende-/Empfangsmodul für eine phasengesteuerte Antenne für das X-Band (8 GHz bis 12 GHz).


P2
P3
LE
LE
VP
C3
VP
L4
L4
2
VP
C2
VP
L4
1
L4
VP
C1
VP
LE
LE
P1
P4