

Ringresonator - Verfahren zum Trennen orthogonaler Resonanzmoden und Verfahren zum Abgleich eines Ringresonators

pdfulltext Die Erfindung betrifft einen Ringresonator zur Verwendung bei Mikrowellensystemen, in dem sich orthogonale Resonanzmoden ausbilden und bei dem geometrische Merkmale wenigstens eine der orthogonalen Resonanzmoden beeinflussen. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Trennen orthogonaler Resonanzmoden in einem Ringresonator, bei dem wenigstens eine der orthogonalen Resonanzmoden durch geometrische Merkmale beeinflusst wird. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Abgleich eines Ringresonators. Stand der Technik Planare Ringresonatoren werden im Rahmen zahlreicher Anwendungen genutzt, beispielsweise als Kerbfilter, Bandpassfilter und Oszillatoren. Im Vergleich zu anderen bekannten Resonatoren sind sie in besonders einfacher Weise herzustellen, beispielsweise unter Verwendung von Dünnschichttechniken auf Aluminiumoxid-Keramiken. Weiterhin haben sie im Vergleich zu anderen planaren Resonatoren im Allgemeinen eine hohe Güte Q. Aufgrund der symmetrischen Struktur des Ringresonators und der unterschiedlichen Kopplungsmechanismen der Mikrowellen gibt es stets zwei orthogonale Resonanzmoden. Diese unterscheiden sich im Allgemeinen geringfügig in ihrer Frequenz. Für einige Anwendungen, beispielsweise für Filter, werden beide Resonanzmoden gezielt ausgenutzt. Bei anderen Anwendungen ist es jedoch erforderlich, eine Mode zu unterdrücken. Dies gilt insbesondere für Oszillatoranwendungen, wo die Oszillatorresonanzfrequenz eindeutig festzulegen ist. Es wurde bereits vorgeschlagen, die Ringresonatoren durch geometrische Merkmale im Hinblick auf ihre Resonanzmoden zu beeinflussen, indem nämlich eine Lücke in den Ringresonator eingebracht wird. Dies ist beispielsweise beschrieben in Lu, Shih-Lin and Ferendeci, A.M.: "Varactor tuned ring resonator microwave oscillator", Electronics Letters, Vol. 32, Nr. 1, 1996, Seiten 46-48. Nachteilig an dieser Lösung ist jedoch, dass sie zu einer Vergrößerung von Strahlungsverlusten führt, wodurch die Güte des Resonators abnimmt. Ein anderer Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass zusätzlich zu harmonischen Resonanzmoden (zum Beispiel 2, 3, 4, ...) weiterhin Resonanzmoden bei Bruchteilen (zum Beispiel 1,5, 2,5, 3,5, ...) auftreten können. Vorteile der Erfindung Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Ringresonator dadurch auf, dass die geometrischen Merkmale wenigstens eine Ausnehmung umfassen, die den Resonator in radialer Richtung teilweise unterbricht, so dass die Frequenz von wenigstens einer der orthogonalen Resonanzmoden beeinflusst wird. Zum Bereitstellen einer eindeutigen Resonanzfrequenz in einem Ringresonator ist es daher beispielsweise für Oszillatoranwendungen nicht erforderlich, die unerwünschte Resonanzmode vollständig zu unterdrücken. Vielmehr ist es ausreichend, die beiden orthogonalen Moden im Hinblick auf ihre Resonanzfrequenzen um einen gewissen Betrag voneinander zu trennen. Auf diese Weise kann ein eindeutiger Betrieb bei der gewünschten Resonanzfrequenz basierend auf nur einer Resonanzmode bereitgestellt werden. Der erfindungsgemäße Ringresonator ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Anordnung der wenigstens einen Ausnehmung in Abhängigkeit der Position von wenigstens einer Kopplungsleitung so gewählt wird, dass die Position der wenigstens einen Ausnehmung im

Bereich eines Strommaximums der zu beeinflussenden Resonanzmode liegt. Die Ausnehmungen, die auch als Kerben bezeichnet werden können, liegen an den geometrischen Positionen oder in der Nähe der geometrischen Positionen, an denen das Strommaximum einer der Resonanzmoden auftritt. Auf diese Weise wird die Resonanzfrequenz dieser Mode zu niedrigeren Frequenzen verschoben. Aufgrund der Orthogonalität der beiden Resonanzmoden in dem Ringresonator besteht eine minimale Beeinflussung der jeweils anderen Mode. Es lässt sich somit eine zufriedenstellende Trennung der Resonanzfrequenzen erreichen. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ringresonators ist vorgesehen, dass zwei diametral gegenüberliegende Ausnehmungen vorgesehen sind. Handelt es sich bei dem Ringresonator um einen Resonator der Länge 2λ , so werden durch zwei diametral gegenüberliegende Ausnehmungen die Strommaxima einer Mode vollständig erfasst. Bei einem 2-Ring sind bei zwei diametral gegenüberliegenden Ausnehmungen zwei von vier möglichen Positionen erfasst, bei einem 3-Ring zwei von sechs möglichen Positionen und so weiter. Ebenfalls kann vorgesehen sein, dass vier Ausnehmungen vorgesehen sind, welche sich paarweise diametral gegenüberliegen. Bei einem Ring mit einer Länge von 2λ sind somit alle Positionen mit maximalen Strom durch Ausnehmungen besetzbar. Ebenfalls ist es denkbar, dass mehr als vier Ausnehmungen vorgesehen sind, insbesondere bei Ringresonatoren, die eine Länge haben, welche ein Mehrfaches der Wellenlänge beträgt. Besonders nützlich ist es, dass die wenigstens eine Ausnehmung am inneren Radius des Ringresonators angeordnet ist. Da der Strom durch die Ringstruktur im Allgemeinen am inneren Radius des Ringresonators konzentriert ist, ist eine Ausnehmung am inneren Radius des Ringrandes besonders effizient. Daher ist mit einer Ausnehmung am inneren Radius eine Frequenzverschiebung einer Mode erreichbar, die größer ist als mit einer Ausnehmung derselben Größe am äußeren Radius des Ringresonators. Gleichwohl kann ebenfalls nützlich sein, dass die wenigstens eine Ausnehmung am äußeren Radius des Ringresonators angeordnet ist. Auf diese Weise lässt sich die Frequenzverschiebung gezielt durch die Positionierung der Ausnehmung beeinflussen. Aus dem gleichen Grund kann es nützlich sein, den erfindungsgemäßen Ringresonator in der Weise weiterzubilden, dass die wenigstens eine Ausnehmung zwischen dem inneren Radius und dem äußeren Radius des Ringresonators angeordnet ist. Neben den unterschiedlichen Positionierungen der Ausnehmungen ist es ebenfalls möglich, die Wirkung der Ausnehmungen durch eine Formgebung zu beeinflussen. Beispielsweise können die Ausnehmungen im Wesentlichen rechteckige Begrenzungen aufweisen. Allerdings ist auch denkbar, dass die Begrenzung eine abgerundete Form ohne Ecken beschreibt. Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Verfahren zum Trennen orthogonaler Resonanzmoden in einem Ringresonator dadurch auf, dass die geometrischen Merkmale wenigstens eine Ausnehmung umfassen, die den Resonator in radialer Richtung teilweise unterbricht, so dass die Frequenz von wenigstens einer der orthogonalen Resonanzmoden beeinflusst wird. Zum Bereitstellen einer eindeutigen Resonanzfrequenz in einem Ringresonator ist es daher beispielsweise für Oszillatoranwendungen nicht erforderlich, die unerwünschte Resonanzmode vollständig zu unterdrücken. Vielmehr ist es ausreichend, die beiden orthogonalen Moden im Hinblick auf ihre Resonanzfrequenzen um einen gewissen Betrag voneinander zu trennen. Auf diese Weise kann ein eindeutiger Betrieb bei der gewünschten Resonanzfrequenz basierend auf nur einer Resonanzmode bereitgestellt werden. Das

erfindungsgemäße Verfahren ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Anordnung der wenigstens einen Ausnehmung in Abhängigkeit der Position von wenigstens einer Kopplungsleitung so gewählt wird, dass die Position der wenigstens einen Ausnehmung im Bereich eines Strommaximums der zu beeinflussenden Resonanzmode liegt. Die Ausnehmungen, die auch als Kerben bezeichnet werden können, liegen an den geometrischen Positionen oder in der Nähe der geometrischen Positionen, an denen das Strommaximum einer der Resonanzmoden auftritt. Auf diese Weise wird die Resonanzfrequenz dieser Mode zu niedrigeren Frequenzen verschoben. Aufgrund der Orthogonalität der beiden Resonanzmoden in dem Ringresonator besteht eine minimale Beeinflussung der jeweils anderen Mode. Es lässt sich somit eine zufriedenstellende Trennung der Resonanzfrequenzen erreichen. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die zwei Ausnehmungen diametral gegenüberliegend angeordnet werden. Handelt es sich bei dem Ringresonator um einen Resonator der Länge L , so werden durch zwei diametral gegenüberliegende Ausnehmungen die Strommaxima einer Mode vollständig erfasst. Bei einem 2-Ring sind bei zwei diametral gegenüberliegenden Ausnehmungen zwei von vier möglichen Positionen erfasst, bei einem 3-Ring zwei von sechs möglichen Positionen und so weiter. Ebenfalls kann das Verfahren so durchgeführt werden, dass vier Ausnehmungen paarweise diametral gegenüberliegend angeordnet werden. Bei einem Ring mit einer Länge von $2L$ sind somit alle Positionen mit maximalen Strom durch Ausnehmungen besetzbar. Ebenfalls ist es denkbar, dass mehr als vier Ausnehmungen vorgesehen sind, insbesondere bei Ringresonatoren, die eine Länge haben, welche ein Mehrfaches der Wellenlänge beträgt. Besonders nützlich ist es, dass im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens die wenigstens eine Ausnehmung am inneren Radius des Ringresonators angeordnet wird. Da der Strom durch die Ringstruktur im Allgemeinen am inneren Radius des Ringresonators konzentriert ist, ist eine Ausnehmung am inneren Radius des Ringrandes besonders effizient. Daher ist mit einer Ausnehmung am inneren Radius eine Frequenzverschiebung einer Mode erreichbar, die größer ist als mit einer Ausnehmung derselben Größe am äußeren Radius des Ringresonators. Gleichwohl kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ebenfalls nützlich sein, dass die wenigstens eine Ausnehmung am äußeren Radius des Ringresonators angeordnet wird. Auf diese Weise lässt sich die Begrenzverschiebung gezielt durch die Positionierung der Ausnehmung beeinflussen. Aus dem gleichen Grund kann es nützlich sein, das erfindungsgemäße Verfahren in der Weise weiterzubilden, dass die wenigstens eine Ausnehmung zwischen dem inneren Radius und dem äußeren Radius des Ringresonators angeordnet wird. Neben den unterschiedlichen Positionierungen der Ausnehmungen ist es ebenfalls möglich, die Wirkung der Ausnehmungen durch eine Formgebung zu beeinflussen. Beispielsweise können die Ausnehmungen im Wesentlichen rechteckige Begrenzungen aufweisen. Allerdings ist auch denkbar, dass die Begrenzung eine abgerundete Form ohne Ecken beschreibt. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines abgestimmten Ringresonators, bei dem von einem Laser wenigstens eine Ausnehmung in den Ringresonator eingebracht wird, die den Ringresonator in radialer Richtung teilweise unterbricht. Durch die Verwendung eines Lasers während des Abgleichprozesses des Ringresonators zum Einbringen der Ausnehmungen lassen sich besonders präzise Strukturen verwirklichen, wodurch auch ein Ringresoantor mit einer präzisen

Abstimmung bereitgestellt werden kann. Insbesondere ist es nützlich, dass das erfindungsgemäße Abgleichverfahren während des Betriebs des Ringresonators durchgeführt wird. Es kann somit während des Einbringens der Ausnehmung beobachtet werden, in welcher Weise sich die Resonanzfrequenz der betreffenden Mode verschiebt, so dass letztlich eine wunschgemäße Frequenzaufspaltung zur Verfügung gestellt werden kann. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es für eine zuverlässige Funktion von Ringresonatoren, bei denen eine eindeutige Resonanzfrequenz erforderlich ist, nicht erforderlich ist, die unerwünschte Mode vollständig zu unterdrücken. Es ist daher nicht notwendig, eine Lücke in den Ringresonator einzubringen, und so die erwähnten Nachteile im Zusammenhang mit Strahlungsverlusten in Kauf zu nehmen. Vielmehr gelingt eine Frequenzaufspaltung der beiden orthogonalen Moden durch die erfindungsgemäße Bereitstellung von Ausnehmungen beziehungsweise Kerben im Ringresonator. ZeichnungenDie Erfindung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert. Dabei zeigt: Figur 1 einen Ringresonator mit einer benachbarten Kopplungsleitung; Figur 2 eine erste Anordnung von Kopplungsleitung und Ringresonator mit zwei Ausnehmungen; Figur 3 eine zweite Anordnung von Kopplungsleitung und Ringresonator mit zwei Ausnehmungen; Figur 4 eine erste Anordnung von Kopplungsleitung und Ringresonator mit vier Ausnehmungen; Figur 5 eine zweite Anordnung von Kopplungsleitung und Ringresonator mit vier Ausnehmungen; Figur 6 einen Ringresonator mit unterschiedlich positionierten und geformten Ausnehmungen; Figur 7 eine Anordnung aus Ringresonator und zwei Kopplungsleitungen; und Figur 8 eine weitere Anordnung aus Ringresonator und zwei Kopplungsleitungen. Beschreibung der Ausführungsbeispiele Figur 1 zeigt einen Ringresonator 10 mit einer benachbarten Kopplungsleitung 28. Bei der dargestellten Anordnung aus Ringresonator 10 und Kopplungsleitung 28 liegt eine im Wesentlichen induktive Kopplung vor. Eine solche induktiv gekoppelte Anordnung wird in den nachfolgenden Erläuterungen von bevorzugten Ausführungsformen erfindungsgemäßer Ringresonatoren beispielhaft herangezogen. Figur 2 zeigt eine erste Anordnung von Kopplungsleitung 28 und Ringresonator 10 mit zwei Ausnehmungen 12. Durch die Ausnehmungen 12 kann eine Resonanzmode in dem Ringresonator 10 bezüglich ihrer Frequenz verschoben werden. Hat der Ringresonator 10 eine Länge von λ , so haben die Ausnehmungen 12 für eine der Moden (Mode A) die beiden möglichen Positionen, die den Strommaxima entsprechen. Bei einem Resonanzring 10 der Länge 2λ nehmen die beiden Ausnehmungen 12 zwei von vier möglichen Positionen für die Mode A ein. Für einen Resonanzring 10 der Länge 3λ nehmen die Ausnehmungen 12 zwei von sechs möglichen Positionen ein. Für Ringe einer Länge von weiteren Mehrfachen der Wellenlänge gilt entsprechendes. Figur 3 zeigt eine zweite Anordnung von Kopplungsleitung 28 und Ringresonator 10 mit zwei Ausnehmungen 14. Hier ist der Ringresonator 10 mit den Ausnehmungen 14 bezüglich der Kopplungsleitung 28 so angeordnet, dass eine Frequenzverschiebung der zur Mode A aus Figur 2 orthogonalen Mode B erfolgt. Für einen Ringresonator 10 der Länge λ befinden sich die Ausnehmungen 14 an zwei von zwei möglichen Positionen zur Verschiebung der Resonanzfrequenz der Mode B. Für einen Ringresonator 10 der Länge 2λ befinden sich die Ausnehmungen 14 an zwei von vier möglichen Positionen zur Verschiebung der Resonanzfrequenz der Mode B. Bei einem Ring der Länge 3λ sind zwei von sechs möglichen Positionen für die Ausnehmungen 14 bei einer Verschiebung der Resonanzfrequenz der Mode B

dargestellt. Bei größeren Vielfachen der Wellenlänge gilt entsprechendes. Figur 4 zeigt eine erste Anordnung von Kopplungsleitung 28 und Ringresonator 10 mit vier Ausnehmungen 16. Hier ist die relative Anordnung von Ringresonator 10 und Kopplungsleitung 28 so gewählt, dass sich die vier Ausnehmungen 16 in dem Ringresonator 10 an Positionen befinden, so dass für die Mode A bei einem Ringresonator 10 der Länge 2λ eine Frequenzverschiebung erfolgt, wobei bei der genannten Länge des Ringresonator 10 alle vier möglichen Positionen für die Ausnehmungen 16 ausgeschöpft sind. Bei Ringresonatoren 10 mit einer größeren Länge sind durch die gezeigten Positionen der Ausnehmungen 16 nicht alle möglichen Positionen erfasst. Figur 5 zeigt eine zweite Anordnung von Kopplungsleitung 28 und Ringresonator 10 mit vier Ausnehmungen 18. Hier ist die relative Anordnung von Ringresonator 10 und Kopplungsleitung 28 so gewählt, dass sich die vier Ausnehmungen 18 in dem Ringresonator 10 an Positionen befinden, so dass für die Mode B bei einem Ringresonator 10 der Länge 2λ eine Frequenzverschiebung erfolgt, wobei bei der genannten Länge des Ringresonator 10 alle vier möglichen Positionen für die Ausnehmungen 18 ausgeschöpft sind. Bei Ringresonatoren 10 mit einer größeren Länge sind durch die gezeigten Positionen der Ausnehmungen 18 nicht alle möglichen Positionen erfasst. Figur 6 zeigt einen Ringresonator 10 mit unterschiedlich positionierten und geformten Ausnehmungen 20, 22, 24 und 26. Die Ausnehmung 20 ist am inneren Radius 30 des Ringresonators 10 angeordnet. Eine solche Anordnung führt zu einer großen Frequenzverschiebung, da der Strom auf den inneren Radius 30 des Ringresonators 10 konzentriert ist. Es ist aber auch möglich zum Zwecke einer geringeren Frequenzverschiebung, eine Ausnehmung 22 vorzusehen, die am äußeren Radius 32 des Ringresonators 10 angeordnet ist. Ebenso ist es möglich, eine Ausnehmung 24 zwischen dem inneren Radius 30 des Ringresonators 10 und dem äußeren Radius 32 des Ringresonators 10 anzuordnen. Weiterhin ist eine Ausnehmung 26 am äußeren Radius 32 des Ringresonators 10 dargestellt, die sich in ihrer Form von den Ausnehmungen 20, 22 und 24 unterscheidet. Im Gegensatz zu den Ausnehmungen 20, 22, 24, die im Wesentlichen rechteckige Gestalt haben, hat die Ausnehmung 26 eine abgerundete Form. Eine Ausnehmung mit abgerundeter Form so wie die Ausnehmung 26, muss nicht am äußeren Radius 32 des Ringresonators 10 liegen. Sie kann vielmehr ebenfalls am inneren Radius 30 sowie zwischen dem inneren Radius 30 und dem äußeren Radius 32 des Ringresonators 10 angeordnet sein. Figur 7 zeigt eine Anordnung aus Ringresonator 10 und zwei Kopplungsleitungen 34. Hier ist eine Ausführungsform dargestellt, bei der eine im Wesentlichen kapazitive Kopplung zwischen dem Ringresonator 10 und den Kopplungsleitungen 34 vorliegt. Die im Zusammenhang mit den Figuren 2 bis 6 erläuterten Merkmale der vorliegenden Erfindung können gleichermaßen für die in Figur 7 dargestellte Kopplungsstruktur verwendet werden. Figur 8 zeigt eine weitere Anordnung aus Ringresonator 10 und zwei Kopplungsleitungen 36. Ebenfalls für eine solche Anordnung mit zwei Kopplungsleitungen 36, die im Wesentlichen induktiv mit dem Ringresonator 10 koppeln, gelten die vorstehend erläuterten Prinzipien der vorliegenden Erfindung. Die vorhergehende Beschreibung der Ausführungsbeispiele gemäß der vorliegenden Erfindung dient nur zu illustrativen Zwecken und nicht zum Zwecke der Beschränkung der Erfindung. Im Rahmen der Erfindung sind verschiedene Änderungen und Modifikationen möglich, ohne den Umfang der Erfindung sowie ihre Äquivalente zu verlassen.

简体中文网页