



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 97 569 T5 2004.12.02**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 03/058758**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **102 97 569.8**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/39216**
 (86) PCT-Anmeldetag: **06.12.2002**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **17.07.2003**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **02.12.2004**

(51) Int Cl.7: **H01Q 13/08**
H01Q 13/10, H01Q 5/00

(30) Unionspriorität:
60/343888 27.12.2001 US
10/192986 09.07.2002 US

(74) Vertreter:
LADAS & PARRY, 80335 München

(71) Anmelder:
HRL Laboratories, Malibu, Calif., US

(72) Erfinder:
Sievenpiper, Daniel F., Los Angeles, Calif., US

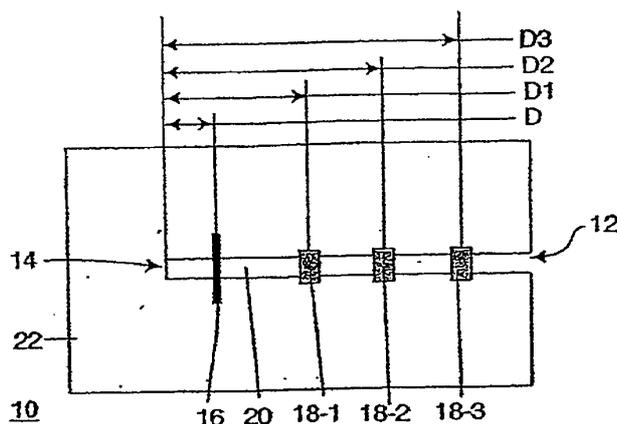
(54) Bezeichnung: **Abgestimmte Schlitzantenne mit Hochfrequenz-MEMS und Verfahren zu deren Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Schlitzantenne zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals auf einer gewünschten Frequenz einer Mehrzahl von verschiedenen Frequenzen, wobei die Schlitzantenne umfasst:

(a) mindestens eine leitfähige Lage, die einen darin begrenzten Schlitz aufweist, wobei der Schlitz länger ist als breit, wobei der Schlitz ein erstes Ende aufweist, das elektrisch geschlossen ist, sowie ein zweites Ende, das offen ist;

(b) eine Mehrzahl von Schalterelementen, die entlang des genannten Schlitzes näher an dessen zweitem Ende als an dessen ersten Ende angebracht sind, wobei jedes Schalterelement der genannten Mehrzahl von Schalterelementen im geschlossenen Zustand derart funktionsfähig ist, dass die mindestens eine leitfähige Lage auf einer Seite des genannten Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite dieser gekoppelt wird;

(c) einen Speisepunkt zur Kopplung eines Hochfrequenzsignals zu und/oder von der mindestens einen leitfähigen Lage, wobei der Speisepunkt angrenzend an den genannten Schlitz an einer Position angeordnet ist, die sich...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet abstimmbarer Antennen unter Verwendung von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern. Sie weist eine Schlitzantenne mit offenem Ende (und möglichst einem Hohlraum auf der Rückseite auf, die einen oder mehrere Hochfrequenz-MEMS-Schalter aufweist, um eine Vielzahl von Funktionen vorzusehen. Abhängig von der jeweiligen Konstruktion der Antenne können die Schalter zur Ausführung einer Frequenzabstimmung, zum Anpassen der Strahlungscharakteristik (wie in Bezug auf die Leitstrahldiversity), zum Anpassen der Polarisierung oder zum Anpassen der Phase der abgestrahlten Welle für Anwendungen mit phasengesteuerter Anordnung verwendet werden.

[0002] Zu den dem Stand der Technik entsprechenden abstimmbaren Antennen unter Verwendung von MEMS-Schaltern zählen abstimmbare Dipole (die unter Störungen durch Gleichstrom-Vorspannungsleitungen für die MEMS-Schalter leiden), herkömmliche Schlitzantennen (die darunter leiden, dass sie nur beschränkt abgestimmt werden können, und zwar aufgrund des niederohmigen Strompfads um das Äußere des Schlitzes herum) und Patch-Antennen (die darunter leiden, dass sie nur beschränkt abgestimmt werden können, und zwar aufgrund der Schwierigkeit der Verstimmung einer erweiterten Resonanzstruktur in signifikantem Ausmaß ohne größere Probleme in Bezug auf die Konstruktion sowie aufgrund von Problemen durch Störungen der Gleichstrom-Vorspannungsleitung eines MEMS-Schalters). Gemäß einem Aspekt verwendet die vorliegende Erfindung ein einziges offenes Ende an einem Schlitz und ermöglicht die Anordnung der Hochfrequenz-MEMS-Schalter nahe dem offenen Ende, um das größte Ausmaß der Abstimmbarkeit vorzusehen, da fehlend alternative Strompfade den gesamten Antennenstrom durch einen geschlossenen MEMS-Schalter drängen. Ferner erfordert die erreichbare asymmetrische Konstruktion nur halb so viele Hochfrequenz-MEMS-Schalter im Vergleich zu konkurrierenden Geometrien, wodurch die Kosten gesenkt und die Komplexität der Antenne verringert werden können.

[0003] Vorgesehen ist gemäß der vorliegenden Erfindung eine einfache Möglichkeit zur Realisierung verschiedener Funktionen, die im Zuge immer komplexer werdender Hochfrequenzvorrichtungen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Hersteller von Mobiltelefonen und Entwickler von Hochfrequenzsystemen haben mittlerweile die Diversity einer Antenne als wichtige Ergänzung für zukünftige kabellose Systeme sowohl zur Verwendung in Mobiltelefon-Handapparaten als auch der Basisstation erkannt. Eine Möglichkeit dies zu realisieren ist das Umschalten bzw. Wechseln zwischen mehreren separaten Antennen. Eine weitere Möglichkeit, die in der vorliegenden

Offenbarung behandelt wird, ist die Verwendung einer einzelnen Antenne sowie die Neukonfiguration der Antenne in mehreren Modi, so dass die Vorrichtung zwischen diesen Modi wechseln kann. Dies kann zu einer einfacheren Konstruktion führen, die weniger Platz in Anspruch nimmt, was speziell für die Anwendung in Handapparaten ein wichtiger Aspekt ist.

[0004] Die vorliegende Erfindung sieht eine einfache Antenne vor, die durch den Einsatz von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern zwischen mehreren unterschiedlichen Modi wechseln kann. Sie kann die Frequenz, das Strahlungsdiagramm und die Polarisierung mit einer Mindestanzahl von Schaltern auf eine Art und Weise regeln, die leicht entwickelt und hergestellt werden kann. Sie weist ferner gegenüber vorhandenen Alternativen verschiedene Vorteile auf, wie etwa das Eliminieren von Störungen durch Gleichstrom-Vorspannungsleitungen für die MEMS-Schalter, sowie die Abstimmbarkeit über einen umfassenden Frequenzbereich. Der Einsatz dieser Antenne als Teil eines Diversity-Transceivers kann einen um mehrere Dezibel verbesserten Rauschabstand vorzusehen. Die hier vorgestellten Antennengeometrien weisen den Vorteil auf, dass sie diese Aufgabe mit minimaler Komplexität und minimalem Platzbedarf erreichen und eine Vielzahl von Antenneneigenschaften regeln können, wie etwa die Frequenz, die Polarisierung und das Strahlungsdiagramm.

[0005] Die vorliegende Erfindung ist allgemein auf das Gebiet der abstimmbaren Antennen anwendbar sowie auf zwei Arten der Antennen-Diversity (Strahlungsdiagramm und Polarisierung). Die offenbarte Antenne kann in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz kommen, darunter Kommunikationssysteme für Kraftfahrzeuge und militärische Kommunikationssysteme. Die Anforderungen werden im Zuge der immer größer werdenden Anzahl erforderliche Dienste (Onstar, GPS, PCs, AMPS, SDARs, etc.) für Kraftfahrzeuge zunehmend strenger. Die Verwendung der Antennen-Diversity wird von Entwicklern von Mobiltelefon-Handapparaten bereits als wichtiger Vorteil sowie als gute Möglichkeit zur Optimierung des Budgets für Verbindungen anerkannt. Kraftfahrzeuge, mit erhöhten Wert, sind ideale Kandidaten, sich diese neuen Techniken zunutze zu machen, um Zuverlässigkeit und/oder Bandbreite zu verbessern. Eine weitere mögliche Anwendung ist der Software Raio, wobei das Militär auf diesem Gebiet signifikante Investitionen als die zukünftige Lösung für alle Kommunikationsanforderungen tätigt.

[0006] Zu dem Stand der Technik zählen:

[0007] (1). Ken Takei, "Tunable Slot Antenna", U.S. Patent US-A-6.028.561, 22.2.2000, an Hitachi. Diese Antenne besteht aus einer gefalteten, U-förmigen Schlitzantenne, die in einem Hohlraum ausgebildet

ist. Sie wird über einen Punkt in der Mitte der U-Form durch ein internes, mikrostreifenartiges Gefüge gespeist, das ein Feld über die Mitte des Schlitzes verursacht. Sie weist eine über eine Reaktanzdiode abstimmbare Kapazität auf, die an dem Speisepunkt angeschlossen ist. Durch das Anlegen einer Gleichstromvorspannung an den Varactor ist die Kapazität abstimmbare, und wobei dadurch die Eingangsimpedanz der Antenne geregelt werden kann. Dadurch wird die Frequenz abgestimmt, auf der die Antenne abgeglichen wird. Die hierin offenbarte Antenne unterscheidet sich von dieser dahingehend, dass sie leitfähige MEMS-Schalter mit Metall-an-Metall-Kontakt für die Durchführung der Abstimmungsfunktion verwendet. Da Reaktanzdioden verlustbehaftet sein können, sieht der geringe Verlust der MEMS-Vorrichtungen einen Effizienzvorteil vor. Ferner ermöglicht es unsere Konstruktion, dass die Antenne eine Vielzahl von Konfigurationen zur Abstimmung des Strahlungsdiagramms oder der Polarisierung aufweist, wie dies später im Text näher beschrieben wird.

[0008] (2). Hiroshi Okabe, Ken Takei, "Tunable Slot Antenna with Capacitively Coupled Island Conductor for Precise Impedance Adjustment", U.S. Patent US-A-6.034.655, 7.3.2000, an Hitachi. Diese Konstruktion ist der ursprünglichen Konstruktion von Takei (siehe Referenz (1)) sehr ähnlich, wobei die Reaktanzdiode jedoch in den Schlitz verlegt wurde und sie einen zusätzlichen weiteren Zweig zu dem Schlitz aufweist. Die offenbarte Antenne weist weiterhin die gleichen Vorteile wie in dem vorherigen Fall auf.

[0009] (3). Hiroshi Okabe, Ken Takei, "Tunable Slot Antenna with Capacitively Coupled Island Conductor for Precise Impedance Adjustment", U.S. Patent US-A-6.188.368, 13.2.2001, an Hitachi. Diese Konstruktion ist mit dem vorherigen Patent der gleichen Verfasser nahezu identisch. Unsere Antenne weist auch hier die gleichen Vorteile wie in dem vorherigen Fall auf.

[0010] (4). Hiroshi Okabe, Ken Takei, "Wireless Handset", U.S. Patent US-A-6.198.441, 6.3.2001, an Hitachi. Dieses Patent beschreibt ein Verfahren zur Abstimmung einer Handapparat-Antenne auf die Frequenz, auf der ein Gespräch ausgeführt wird. Die Abstimmungsfunktion wird durch die Telefonschaltkreise geregelt, so dass sie auf intelligente Weise die Antennenfrequenz mit der Frequenz des vorhandenen Telefonanrufs synchronisiert. Moderne Mobiltelefone verwenden jedoch Spread-Spectrum-Techniken, so dass diese Art der Konstruktion nicht besonders nützlich ist. Bei dieser Konstruktion können weder die Bänder gewechselt werden, noch können das Strahlungsdiagramm oder die Polarisierung gewechselt werden.

[0011] (5). Robert Snyder, James Lilly, Andrew Humen, "Tunable Microstrip Patch Antenna and Control

System Therefore", U.S. Patent US-A-5.943.016, 24.8.1999, an die Atlantic Aerospace Corporation. Dieses Patent beschreibt ein Verfahren zur Abstimmung einer Patch-Antenne unter Verwendung von Hochfrequenzschaltern zur Verbindung oder Trennung einer Reihe von Abstimmstichleitungen. Die vorliegende offenbarte Erfindung sieht im Vergleich zu dieser Konstruktion mehrere Vorteile vor. Da die Antenne gemäß der vorliegenden Erfindung als wesentliches Element einen Schlitz verwendet, ist sie weniger empfindlich in Bezug auf die Position der Vorspannungsschaltungen. Die offenbarte Konstruktion sieht ferner verschiedene zusätzliche Funktionen vor, wie etwa die Möglichkeit der Abstimmung der Polarisierung und des Strahlungsdiagramms zusätzlich zu der Frequenz.

[0012] (6). Trent Jackson, William McKinzie, James Lilly, Andrew Humen, "Tunable Microstrip Patch Antenna and Control System Therefore", U.S. Patent US-A-6.061.025, 9.5.2000, an die Atlantic Aerospace Corporation. Dieses Patent entspricht im Wesentlichen dem vorstehenden Patent einiger der gleichen Verfasser bzw. ist diesem sehr ähnlich.

[0013] (7). Jeffrey Herd, Marat Davidovitz, Hans Steyskal, "Reconfigurable Microstrip Array Geometry which Utilizes Microelectromechanical System (MEMS) Switches", U.S. Patent US-A-6.198.438, 6.3.2001, an die Vereinigten Staaten von Amerika, vertreten durch den Secretary of the Air Force. Dieses Patent beschreibt eine Anordnung von Patch-Antennen, die durch Hochfrequenz-MEMS-Schalter verbunden sind. Die Vorrichtung sieht eine abstimmbare Antenne vor, die durch selektives Ein- oder Ausschalten verschiedener Schalter zur Verbindung der Patches miteinander abgestimmt wird. Größere oder kleinere Patch-Gruppierungen erzeugen Antennen, die mit entsprechend niedrigeren oder höheren Frequenzen betrieben werden. Ein Problem in Verbindung mit dieser Konstruktion ist es, dass sie eine größere Anzahl von Schaltern voraussetzt. Ein bedeutenderes Problem ist es, dass sie keine Möglichkeit vorsieht, das Störungsproblem zwischen den Gleichstrom-Speiseleitungen und dem Hochfrequenzteil der Antenne zu beseitigen.

[0014] (8). Gerard Hayes, Robert Sadler, "Convertible Loop/Inverted F Antennas and Wireless Communicators Incorporating the Same", U.S. Patent US-A-6.204.819, 20.3.2001, an Telefonaktiebolaget L. M. Ericsson. Dieses Patent beschreibt eine Antenne, die MEMS-Vorrichtungen aufweist, die zur Abstimmung der Resonanzfrequenz durch selektive Aktivierung verschiedener Abschnitte der Antenne verwendet werden. Ein Nachteil dieser Bauweise ist es, dass sie kompliziert zu gestalten ist, da jeder Resonanzabschnitt aus einem anderen Antennentyp gebildet wird. Ferner ermöglicht sie lediglich die Frequenzabstimmung. Die vorliegende Konstruktion er-

möglicht die Polarisationsabstimmung oder die Strahlungsdiagrammabstimmung zusätzlich zu der Frequenzabstimmung und sie führt diese Funktionen unter Verwendung einer einfachen und leicht zu gestaltenden Struktur aus.

[0015] (9). Frank Schiavorne, "Linear Polarized RF Radiating Slot", U.S. Patent US-A-4.367.475, 4.1.1983, an die Ball Corporation. Dieses Patent beschreibt eine Schlitzantenne mit zwei offenen Enden, wobei die Frequenz der Schlitzantenne durch konzentrierte Elemente bestimmt wird, die in oder um den Schlitz platziert sind. Unsere Antenne sieht eine Verbesserung gegenüber dieser Konstruktion vor, indem sie unter Verwendung von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern abstimmbar ist. Die vorliegende Antenne sieht eine Struktur vor, die sich sowohl von den Schlitzantennen mit geschlossenen Enden herkömmlicher Schlitzantennenkonstruktionen als auch von dieser Konstruktion mit Schlitz mit offenem Ende unterscheidet. Die vorliegende Antenne ist geschlossen, jedoch ausschließlich durch den MEMS-Schalter, und somit muss der gesamte Antennenstrom durch den Schalter verlaufen.

[0016] (10). David Haub, Louis Vannatta, Hugh Smith, "Multilayered Compact slot antenna structure and method", U.S. Patent US-A-5.966.101, 12.10.1999, an Motorola. Das Patent stellt in dessen Abschnitt zum Stand der Technik das Konzept einer Schlitzantenne mit offenem Ende dar. Das Grundkonzept der einzelnen Schlitzantenne mit offenem Ende berücksichtigt nicht die Möglichkeit zur Abstimmung der Antenne unter Verwendung von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern. Die in diesem dem Stand der Technik entsprechenden Referenzdokument dargestellte Schlitzantenne mit offenem Ende weist für gewöhnlich eine Länge einer Viertel Wellenlänge auf. Unsere über MEMS abgestimmte Schlitzantenne ist eine halbe Wellenlänge lang, wie eine herkömmliche Schlitzantenne, wobei der Einsatz des offenen Endes jedoch bewirkt, dass der ganze Antennenstrom durch den MEMS-Schalter verläuft.

[0017] Die Antenne der vorliegenden Erfindung hat mehrere wichtige Vorteile gegenüber dem Stand der Technik. Zu diesen zählen: (1) der Einsatz von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern, die es ermöglichen, dass die Antenne eine höhere Effizienz aufweist als andere Konstruktionen, die verlustbehaftete Reaktanzdioden verwenden; (2) die Möglichkeit zur Abstimmung nicht nur der Frequenz sondern auch des Strahlungsdiagramms oder der Polarisation; (3) eine einfachere Bauweise als viele alternative Konstruktionen, die eine sehr geringfügige Feinabstimmung oder wenige Versuche erfordert, bis die korrekte Geometrie erreicht ist; (4) die Vielseitigkeit zur Verwendung in Breitband- (ohne Hohlraum) oder Schmalband-Anwendungen (mit Hohlraum) bei geringfügiger Modifikation der Konstruktion. Frühere Versuche zum Vor-

sehen abstimmbarer Antennen, einschließlich über MEMS abgestimmter Antennen, finden sich in den vorstehenden Aufzählungen zum Stand der Technik. Keines dieser Beispiele weist die Einfachheit oder Vielseitigkeit der vorliegenden Konstruktion auf. Zu den offensichtlichsten über MEMS abgestimmten Antennen zählen über MEMS abgestimmte Dipolantennen oder Patch-Antennen oder normale Schlitzantennen. Jede dieser Antennen weist Nachteile auf, darunter Störungen durch Gleichstrom-Vorspannungsleitungen der MEMS-Schalter oder ein begrenzter Abstimmungsbereich aufgrund der Geometrie der Antenne. Die vorliegende Antenne, die vorzugsweise eine Geometrie mit offenem Ende aufweist, sorgt dafür, dass der ganze Antennenstrom (oder zumindest der Großteil des Antennenstroms) durch einen geschlossenen MEMS-Schalter verläuft, was den größten Frequenzabstimmungsbereich zur Folge hat. Gemäß dem Stand der Technik werden Schlitzantennen mit offenem Ende beschrieben, allerdings arbeitet die vorliegende Antenne wie eine herkömmliche Schlitzantenne, da sie an beiden Enden wirklich verschlossen ist – ein Ende kann durch ununterbrochene Erdebene selbst verschlossen sein, und das andere Ende kann durch einen geschlossenen Hochfrequenz-MEMS-Schalter geschlossen werden. Zusätzlich ist die Position des durch den geschlossenen Hochfrequenz-MEMS-Schalter geschlossenen Endes beweglich, da verschiedene MEMS-Schalter geschlossen und an verschiedenen Positionen angeordnet werden können. Dies unterscheidet sich von früheren Versuchen zur Erreichung des gleichen Effekts, da alle vorherigen Versuche mit über MEMS abgestimmten Schlitzantennen Konstruktionen mit geschlossener-geschlossener-Bauweise waren, was eine eingeschränkte Abstimmbarkeit zur Folge hatte. Die vorliegende Konstruktion löst dieses Problem unter Verwendung einer geschlossenen-offenen-Bauweise, wobei das offene Ende tatsächlich durch einen MEMS-Schalter geschlossen wird und vorzugsweise durch einen MEMS-Schalter einer Mehrzahl von MEMS-Schaltern. Der jeweilige geschlossene MEMS-Schalter der Mehrzahl von MEMS-Schaltern ermöglicht die Regelung des Frequenzbetriebs der Schlitzantenne.

[0018] Vorgesehen ist gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine Schlitzantenne zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals auf einer gewünschten einer Mehrzahl von Mittenfrequenzen. Die Schlitzantenne weist mindestens eine leitfähige Lage mit einem darin begrenzten Schlitz auf, wobei der Schlitz länger ist als breit, wobei der Schlitz ferner ein erstes Ende aufweist, das elektrisch geschlossen ist, und ein zweites, elektrisch offenes Ende. Eine Mehrzahl von Schalterelementen ist entlang dem Schlitz angebracht, wobei jedes Schalterelement der Mehrzahl von Schalterelementen im geschlossenen Zustand die mindestens eine leitfähige

Lage auf einer Seite des Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite des Schlitzes koppelt. Ein Speisepunkt ist zur Kopplung eines Hochfrequenzsignals zu und von der mindestens einen leitfähigen Lage vorgesehen, wobei der Speisepunkt angrenzend an den Schlitz an einer Position angeordnet ist, die näher an dem ersten Ende ist als zu einem näheren oder dem am nächsten liegenden Schalterelement der Mehrzahl von Schalterelementen. Die Mehrzahl von Schalterelementen kann geregelt geschlossen werden, um eine gewünschte Mittenfrequenz zu ändern, auf der die Schlitzantenne arbeiten soll.

[0019] Vorgesehen ist gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung eine Schlitzantenne mit Hohlraum auf der Rückseite zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals auf einer gewünschten Frequenz einer Mehrzahl unterschiedlicher Frequenzen, wobei die Schlitzantenne mindestens eine leitfähige Lage mit einem darin begrenzten ersten Schlitz umfasst, wobei der erste Schlitz länger ist als breit, wobei der erste Schlitz mindestens ein offenes Ende aufweist, das durch Überbrücken des Schlitzes durch die MEMS-Schalterbausteine elektrisch geschlossen werden kann, wobei der Schlitz einen dahinter angeordneten Hohlraum aufweist, wobei der Hohlraum begrenzt wird durch: (i) die genannte mindestens eine leitfähige Lage, die den darin begrenzten ersten Schlitz aufweist, (ii) eine weitere leitfähige Lage, die räumlich getrennt von der genannten mindestens einen leitfähigen Lage angeordnet ist, welche den darin begrenzten ersten Schlitz aufweist, und (iii) Seitenwände, welche die genannte mindestens eine leitfähige Lage mit dem darin begrenzten ersten Schlitz mit der genannten weiteren leitfähigen Lage koppelt, wobei mindestens eine der genannten Seitenwände angrenzend an das genannte mindestens eine offene Ende des genannten ersten Schlitzes angeordnet ist, wobei die mindestens eine der genannten Seitenwände darin einen Spalt aufweist, der mit dem genannten mindestens einen offenen Ende des genannten ersten Schlitzes ausgerichtet ist. Die MEMS-Schalterbausteine weisen eine erste Mehrzahl von Schalterelementen auf, die entlang dem ersten Schlitz angebracht sind, wobei jedes Schalterelement der genannten ersten Mehrzahl von Schalterelementen im geschlossenen Zustand mindestens eine leitfähige Lage auf einer Seite des genannten Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite des Schlitzes koppelt. Vorgesehen ist ein Speisepunkt zur Kopplung eines Hochfrequenzsignals zu und/oder von der mindestens einen leitfähigen Lage, wobei der Speisepunkt angrenzend an den Schlitz angeordnet ist. Die Mehrzahl von Schalterelementen kann geregelt geschlossen werden, um die Resonanzfrequenz anzupassen, mit der die Schlitzantenne das Hochfrequenzsignal empfängt und/oder sendet.

[0020] Vorgesehen ist gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ferner ein Verfahren zur Herstellung einer Schlitzantenne, wobei das Verfahren die Schritte umfasst: (1) Gestalten eines Längsschlitzes in einem elektrisch leitfähigen Element, wobei der Längsschlitz auf mindestens eine Kante des elektrisch leitfähigen Elements trifft, um dadurch ein offenes Ende des genannten Schlitzes zu begrenzen, wobei der Schlitz ein weiteres Ende entfernt von dem genannten offenen Ende aufweist; und (2) Anordnen einer Reihe von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Schlitz und näher an dessen offenen Ende als an dessen entferntem Ende, wobei die Reihe von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt.

[0021] Vorgesehen ist gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Schlitzantenne, die auf einer Mehrzahl von Betriebsfrequenzen funktionsfähig ist, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- (a) Gestalten eines Längsschlitzes in einem elektrisch leitfähigen Element; und
- (b) Anordnen einer Reihe von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Längsschlitz, wobei die Mehrzahl der MEMS-Schalter im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt, wobei der Längsschlitz mindestens ein Ende aufweist, das durch mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten Mehrzahl von MEMS-Schaltern elektrisch geschlossen wird, so dass ein Betrieb auf einer ausgewählten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen vorgesehen wird, wobei das elektrisch leitfähige Element einen elektrisch leitfähigen Weg parallel zu dem genannten mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter einer Mehrzahl von MEMS-Schaltern vorsieht, der auf der genannten ausgesuchten einen Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen mindestens ein Viertel einer Wellenlänge lang ist.

[0022] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

[0023] Es zeigen

[0024] Fig. 1 eine Draufsicht einer Schlitzantenne gemäß der vorliegenden Erfindung, welche die Vermittlung der Grundkonzepte hinter den bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung unterstützt;

[0025] Fig. 2 eine alternative Schlitzantennenstruktur, die unter Verwendung einer Schlitzantenne und von MEMS-, Schaltern gestaltet werden kann, die jedoch im Vergleich zu der Schlitzantenne aus Fig. 1

eine weniger wünschenswerte Leistungsfähigkeit aufweist;

[0026] Fig. 3A eine Draufsicht eines Ausführungsbeispiels der Antenne gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0027] Fig. 3B eine Seitenschnittansicht des Ausführungsbeispiels aus Fig. 3A;

[0028] Fig. 3C eine auseinander gezogene Draufsicht eines Teilstücks der Antenne, wobei ein MEMS-Schalter und dessen Träger näher dargestellt sind;

[0029] Fig. 4A und 4B Drauf- und Seitenschnittansichten eines alternativen Ausführungsbeispiels zu dem Ausführungsbeispiel der Abbildungen der Fig. 3A bis 3C;

[0030] Fig. 5A und 5B Drauf- und Seitenansichten eines alternativen Ausführungsbeispiels mit einem Hohlraum auf der Rückseite einer Schlitzantenne gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0031] Fig. 6A und 6B Drauf- und Seitenschnittansichten eines alternativen Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung mit Hohlraum auf der Rückseite, jedoch mit einer anderen Speiseanordnung als in dem Ausführungsbeispiel der Abbildungen der Fig. 5A und 5B;

[0032] Fig. 7 den Zusatz einer weiteren Reihe von MEMS-Schaltern, um Änderungen der Impedanz der Antenne an deren Speisepunkt vorzusehen oder zu ermöglichen;

[0033] Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine Mehrzahl von MEMS-Schaltern mit engen räumlichen Abständen zur Phasenabstimmung und möglicherweise zur Feinabstimmung der Resonanzfrequenz der Antenne verwendet wird;

[0034] Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel einer L-förmigen Schlitzantenne;

[0035] Fig. 10 eine Antenne mit zwei räumlich getrennten Schlitzen, die in 90 Grad Winkeln zueinander angeordnet sind;

[0036] Fig. 11A und 11B Drauf- und Seitenansichten einer Antenne mit gekreuzten Schlitzen und einem Hohlraum;

[0037] Fig. 12 eine Darstellung aller verschiedenen Frequenzzustände, die durch Abstimmung einer bestimmten Schlitzantenne mit offenem Ende und einem Hohlraum auf der Rückseite über eine Länge von 2,5 cm bis 10 cm erzeugt werden, wobei die Darstellungen hier übereinander liegen, um den umfas-

senden Bereich der Frequenzabstimmung darzustellen;

[0038] Fig. 13 einen einzelnen Zustand, bei dem der Schlitz eine Länge von 2,5 cm aufweist, wobei der primäre Strahlungsmodus bei 4,1 GHz liegt, wobei die zweite Spitze, sichtbar bei 4,6 GHz, einen durch den unterhalb dem Schlitz angeordneten orthogonalen Modus erzeugt wird;

[0039] Fig. 14 einen Zustand, bei dem der Schlitz eine Länge von 8,25 cm aufweist, wobei drei primäre Modi bei 2,6 GHz, 3,3 GHz und 4,2 GHz sichtbar sind, die durch Anpassen der Länge des Schlitzes abgestimmt werden, wobei ein vierter Modus erneut bei 4,6 GHz sichtbar ist, was auf den Hohlraum zurückgeht;

[0040] Fig. 15 eine Zusammenfassung der Frequenz jedes Modus als eine Funktion der Schlitzlänge;

[0041] Fig. 16 einen Graphen des Strahlungsdiagramms des Modus niedrigster Ordnung, wobei der Schlitz eine Länge einer halben Wellenlänge aufweist; und

[0042] Fig. 17 das Strahlungsdiagramm für eine Modus zweiter Ordnung der gleichen Schlitzantenne wie in der vorstehenden Abbildung, wobei das Diagramm entlang der E-Ebene eine Null aufweist, und zwei Hauptkeulen in der H-Ebene.

[0043] Eine durch MEMS abgestimmte Schlitzantenne findet verschiedenartige Anwendung in den Bereichen der Antennen mit abstimmbarer Frequenz, der Diversity-Antennen, intelligenter Antennen und phasengesteuerter Anordnungen. In der grundlegendsten Ausführung (siehe Fig. 1) umfasst die vorliegende Erfindung eine Schlitzantenne **10**, die an einem Ende **12** offen und an dem anderen Ende **14** geschlossen ist. Die Antenne weist nahe dem geschlossenen Ende **14** des Schlitzes **20** einen Speisepunkt **16** auf. Die Position des Speisepunkts **16** ist von der Antennengeometrie abhängig, wobei sie für gewöhnlich jedoch in einer Entfernung D angeordnet ist, die deutlich geringer ist als eine Wellenlänge, für gewöhnlich im Bereich von einem achtel bis einem zehntel der Wellenlänge, gemessen von dem geschlossenen Ende **14** des Schlitzes. Zwischen dem Speisepunkt **16** und dem offenen Ende **12** des Schlitzes ist eine Reihe von Hochfrequenz-MEMS-Schaltern **18-1**, **18-2**, **18-3** ... angeordnet, die durch Spannungen geöffnet und geschlossen werden können, die an Steuerleitungen **24-1**, **24-2**, **24-3** ... (siehe Fig. 3) angelegt werden. Die MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** überbrücken den Schlitz **20**. Durch das Öffnen und Schließen der MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** ... können die effektive Länge des Schlitzes **20** verändert und somit die Resonanzfrequenz

der Schlitzantenne abgestimmt werden. Die Antenne **10** ist auf der niedrigsten gewünschten Resonanzfrequenz ziemlich genau eine halbe Wellenlänge lang. Die MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** ... sind an verschiedenen Stellen entlang dem Schlitz **20** angeordnet, wobei die Positionen durch die gewünschten Frequenzen bestimmt werden, auf denen die Schlitzantenne arbeitet, wobei die Abstände D_1 , D_2 , D_3 , ... von dem kurzgeschlossenen Ende **14** zu jedem MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** ... auf jeder gewünschten Resonanzfrequenz ungefähr eine halbe Wellenlänge aufweisen. Der Speisepunkt **16** ist in einer Entfernung D von dem geschlossenen Ende **14** und zwischen dem geschlossenen Ende und dem ersten MEMS-Schalter **18-1** angeordnet und kann eine Vielzahl von Ausführungen aufweisen, wie etwa einen Mikrostreifen, ein Koaxialkabel sowie andere Ausführungen. Die Entfernung bzw. der Abstand D ist für gewöhnlich deutlich kleiner als die Wellenlänge und liegt für gewöhnlich im Bereich von einer achteil bis zu einer zehntel Wellenlänge. Der Schlitz **20** selbst ist zu einer leitfähigen Erdebene oder Oberfläche **22** geschnitten oder wird anderweitig derart ausgebildet, wobei hierin nur ein Abschnitt dieser abgebildet ist. Die Erdebene **22** kann eine große Oberfläche darstellen, die in jeder Dimension der Ebene der Erdebene viele Wellenlängen aufweisen kann. Die Erdebene **22** kann Bestandteil eines Fahrzeugs oder eines Flugzeugs sein, wie etwa deren äußere Oberfläche. Sie kann zudem sehr klein sein, wie etwa in der Leiterplatte einer tragbaren Handapparaturvorrichtung wie etwa eines Mobiltelefons oder eines anderen Kommunikationsgeräts. Bei sehr kleinen Antennen **10** weist die Größe der umgebenden Erdebene einen gewissen Effekt auf die Resonanzfrequenz des Schlitzes **20** auf, wobei diese Auswirkung jedoch nicht groß sein sollte.

[0044] Der Schlitz **20** weist für gewöhnlich eine Breite im Bereich von 1 mm auf, wobei die Breite jedoch nicht kritisch ist. Es existiert eine sehr geringfügige Abhängigkeit der Bandbreite der Antenne **10** auf der Basis der Breite des Schlitzes **20**, wobei zunehmende Breiten zunehmende Bandbreiten erzeugen, wobei dieser Effekt für gewöhnlich jedoch so gering ist, dass er nicht messbar ist. Theoretisch erzeugen breitere Schlitz **20** breitere Bandbreiten. Wenn der Schlitz **20** jedoch zu breit gestaltet wird, ist es nicht möglich, diesen mit dem sehr kleinen MEMS-Schalter abzustimmen, ohne die Geometrie signifikant anpassen zu müssen.

[0045] Auf den ersten Blick erscheint die vorliegende Erfindung angesichts dem vorstehend genannten Stand der Technik offensichtlich. Wie dies hierin erläutert wird, ist sie jedoch sehr neuartig und kann unter Verwendung der vorstehend aufgeführten Standardantennen in der natürlichsten Kombination mit Hochfrequenz-MEMS-Schaltern nicht leicht hergestellt werden. Eine Möglichkeit für die Verwendung

von MEMS-Schaltern zur Erzeugung einer abstimmbaren Antenne ist die Kombination der Schalter mit der Antenne, so dass sie eine bestimmte Dimension anpassen, die die Resonanzfrequenz der Antenne regelt. Zu den verschiedenen Beispielen von Strukturen, die ausprobiert wurden, zählen Dipolantennen, bei denen die MEMS-Schalter die Länge des Dipols regeln, Patch-Antennen, bei denen die MEMS-Schalter die Länge des Patches abstimmen, und Schlitzantennen, bei denen die MEMS-Schalter die Länge des Schlitzes regeln. Jede dieser Antennen weist Nachteile auf: Bei den Dipolantennen verursachen die erforderlichen Gleichstrom-Vorspannungsleitungen erhebliche Interferenzen mit dem Dipol an sich, was zu unvorhersehbaren Strahlungsdiagrammen führt. Bei den Patch-Antennen weist die Antenne selbst eine derart starke Resonanz auf, dass es schwierig ist, die Patch-Antenne neu abzustimmen, ohne dass eine große Anzahl von MEMS-Schaltern eine große Fläche bedeckt. Zudem verursachen die Gleichstrom-Vorspannungsleitungen ein ähnliches Problem in Verbindung mit der Patch-Antenne wie bei dem Dipol. Die Schlitzantenne erscheint als gute Option, da die Gleichstrom-Vorspannungsleitungen dicht an der die Antenne umgebenden Metallerdebene gedruckt werden können und somit sehr geringfügige Interferenzen verursachen können. Die Standard-Schlitzantenne leidet jedoch unter einem erheblichen Nachteil, dass der den Schlitz umgebende Strompfad eine extrem niedrige Impedanz aufweist. Die MEMS-Schalter weisen aufgrund ihrer geringen Größe eine kleine jedoch endliche Induktanz auf. Diese endliche Induktanz wird durch den deutlich niedrigeren Impedanzpfad um das Äußere des Schlitzes kurzgeschlossen, und ein sehr geringer Teil des Stroms verläuft durch den MEMS-Schalter. Als Folge dessen kann der Abstimmungsbereich der Antenne deutlich beeinträchtigt werden. Diese Geometrie ist in der Abbildung aus **Fig. 2** dargestellt, in welcher die Stromleitungen durch gekrümmte Linien mit Pfeilen dargestellt sind. Es verläuft mehr Strom um das geschlossene Ende **14** als durch den geschlossenen Schalter **18**. Das Reinergebnis ist es, dass der Schalter nur einen Teilergebnis aufweist.

[0046] Durch Öffnen eines Endes **12** des Schlitzes **20** und Platzieren des Speisepunkts **16** zwischen dem geschlossenen Ende **14** und den MEMS-Schaltern **18**, wie dies in der Abbildung aus **Fig. 1** dargestellt ist, kann der ganze Antennenstrom durch den jeweiligen geschlossenen MEMS-Schalter **18** geführt werden. Dies führt zu einer besonders gut abstimmbaren und sehr einfach zu konstruierenden Antenne **10**. In Anbetracht der dem Stand der Technik entsprechenden Lehre nach Haub et al. erscheint dies vielleicht offensichtlich, wobei der Schlitz mit offenem Ende bei dieser Konstruktion jedoch auf andere Art und Weise eingesetzt wird. Durch das Öffnen eines Endes des Schlitzes kann dessen Länge um die Hälfte reduziert werden, wobei die Länge anstatt der üb-

lichen halben Wellenlänge einer viertel Wellenlänge entspricht. Grund dafür ist die Tatsache, dass die in einem derartigen Schlitz gebildete stehende Welle an dem geschlossenen Ende einen Knoten aufweist sowie eine Antinode an dem offenen Ende. Wenn man versuchen würde, eine derartige Antenne unter Verwendung eines MEMS-Schalters abzustimmen, ist es am natürlichsten, den Schalter nahe dem geschlossenen Ende zu platzieren, wobei dieser die Position des Knotens in der stehenden Welle regeln würde, und zwar ähnlich dem vorstehend in Bezug auf die Abbildung aus **Fig. 2** beschriebenen Effekts. Die Anordnung der MEMS-Schalter nahe dem offenen Ende ist keine natürliche Wahl, da dies einen Knoten an einem eine Antinode verlangenden Platz platzieren würde. Das Ausführungsbeispiel aus **Fig. 1** unterscheidet sich somit deutlich von dem, was man durch eine natürliche Kombination der Antenne nach Haub mit Hochfrequenz-MEMS-Schaltern erreichen würde. In dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 1** fungiert die Schlitzantenne **10** als normaler Schlitz mit einer halben Wellenlänge, und das offene Ende **12** ist nicht zur Abstimmung der Antenne **10** vorgesehen, sondern zu dem Zweck, den Antennenstrom durch den geschlossenen MEMS-Schalter (**18-1**, **18-2** oder **18-3**) zu leiten, wodurch eine optimale Abstimmfähigkeit ermöglicht wird.

[0047] Die Anzahl der verwendeten MEMS-Schalter **18** ist eine von der jeweiligen Konstruktion abhängige Entscheidung. In der Abbildung aus **Fig. 1** sowie in verschiedenen anderen Abbildungen sind drei Schalter abgebildet, wobei hiermit festgestellt wird, dass jede beliebige gewünschte Anzahl von Schaltern verwendet werden kann.

[0048] Vorstehend wurde das Grundkonzept der vorliegenden Erfindung dargelegt. Der Rest der vorliegenden Offenbarung umfasst Erörterungen der verschiedenen Möglichkeiten zur Implementierung dieses Konzepts in einer herstellbaren Struktur. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die hier dargestellten Beispiele beschränkt, und für den Fachmann auf dem Gebiet der Antennenentwicklung sind nach Anerkennung des vorstehend beschriebenen Konzepts zahlreiche Abänderungen des Grundkonzepts erdenkbar.

[0049] Nachstehend wird in Bezug auf die Abbildungen der **Fig. 3A**, **3B** und **3C** eine Möglichkeit zur Herstellung der vorliegenden Antenne beschrieben. In diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die MEMS-Schalter **18** an einem Träger **26** angebracht, bei dem es sich etwa um eine kleine, einfache Leiterplatte handeln kann. Der Träger wird vorzugsweise aus einem polymeren Verbundwerkstoff wie etwa Duroid oder aus einem Keramikwerkstoff gestaltet. Die Leiterplatte **26** weist zwei metallplattierte Durchkontaktierungen **28** auf, die es ermöglichen, dass der auf der oberen Oberfläche angebrachte Schalter **18** elek-

trischen Zugang zu der Schlitzantennen-Erdebene **22** aufweist, an der der Träger **21** angebracht ist, und zwar indem Strom in den Durchkontaktierungen **28** durch den Träger **26** zu der Erdebene **22** geleitet wird. Um die Schalter **24** mit großer Einfachheit zu schließen wird vorzugsweise eine einzelne Gleichstrom-Vorspannungs- oder Steuerleitung **24** verwendet. Um dies zu erreichen, sollte einer der beiden Hochfrequenzanschlüsse **18a** des MEMS-Schalters **18** ferner als Gleichstrom-Signalerde dienen. Dies ist in der Abbildung aus **Fig. 3C** dargestellt, wobei eine der beiden Durchkontaktierungen **28-1** mit zwei Stellen an dem Schalter eine Drahtverbindung (siehe die Drähte **19**) aufweist. Diese beiden Stellen, mit denen die gemeinsame Durchkontaktierung **28-1** eine Drahtverbindung aufweist, stellen einen Hochfrequenzanschluss **18a** und einen Gleichstromanschluss **18b** dar. Die andere Durchkontaktierung **28-2** ist nur mit einer Stelle **18a** an dem Schalter drahtverbunden und dient nur als ein Hochfrequenzanschluss. Der verbleibende Gleichstromanschluss **18b** an dem Schalter weist eine Drahtverbindung mit der einzelnen Gleichstrom-Vorspannungs- oder Steuerleitung **24** auf. Die Gleichstromschaltung besteht somit aus der Gleichstrom-Vorspannungs- bzw. Steuerleitung **24**, dem Gleichstromabschnitt des MEMS-Schalters (mit Zugang über die Anschlüsse **18b**), einer der Durchkontaktierungen **28** sowie der Erdebene **22** der Schlitzantenne **10** selbst. Die Hochfrequenzschaltung besteht aus der Speisung (die in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel durch ein Koaxialkabel **30** vorgesehen wird), dem Schlitz **20** in der Erdebene **22** und dem Hochfrequenzabschnitt des MEMS-Schalters **18**, auf den der Zugang über die Anschlüsse **18a** und die beiden Durchkontaktierungen **28** in dem Träger erfolgt. Diese Konstruktionstechnik (unter Verwendung des Trägers **26**) ermöglicht die Gestaltung der Antenne **10** sowie deren Konstruktion unabhängig von der Struktur, welche den MEMS-Schalter **24** trägt. Die Antenne **10** kann somit aus gestanztem Metallblech, gedruckten Leiterplatten oder jeder anderen für die Konstruktion geeigneten Metallstruktur gebildet werden. Danach kann der an dem Träger **26** angebrachte MEMS-Schalter **24** nach der Fertigung des Schlitzes **20** platziert werden, was bei Bedarf eine Feinabstimmung ermöglicht. Der Träger **26** kann mit den Bereichen angrenzend an den Schlitz **20** unter Verwendung von leitfähigem Epoxid oder Lötmedium verbunden werden. Unter Verwendung dieser Technik kann der Schlitz **20** ferner völlig frei von festem Material sein, wie dies bei gestanztem Metallblech der Fall wäre.

[0050] In der Abbildung aus **Fig. 3A** ist jeder Schalter **18** an einem separaten Träger **26** dargestellt. Alternativ können alle Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3**, ... anstatt an einzelnen Trägern **26** an dem gleichen Träger angebracht werden. Der Einsatz von einzelnen Trägern wird bevorzugt, da dies eine bessere Kontrolle

in Bezug auf die Positionierung der Schalter längs entlang dem Schlitz **20** vorsieht.

[0051] Nachstehend wird in Bezug auf die Abbildungen der **Fig. 4A** und **4B** eine alternative Konstruktionstechnik beschrieben. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind die MEMS-Schalter **24** direkt auf einer isolierenden oberen Oberfläche oder Schicht **21** angebracht, die vorzugsweise die Erdebene **22** überlagert. Die MEMS-Schalter **24** sind auf beiden Seiten des Schlitzes über Durchkontaktierungen **28** verbunden, die durch die obere Oberfläche **21** verlaufen. Die Gleichstrom-Vorspannungsschaltung wird auf die gleiche Art und Weise wie in dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 3A** bis **3C** gebildet. In diesem Fall ist die Speisung als gedruckte Mikrostreifenleitung **31** dargestellt, die mit der entfernten Seite des Schlitzes **20** über eine Durchkontaktierung **29** verbunden ist. Bei der ganzen Struktur handelt es sich um eine mehrlagige Leiterplatte. Die Speisung stellt eine Mikrostreifenleitung **31** dar, die auf die obere Schicht **21** gedruckt und vorzugsweise unter Verwendung einer einzelnen metallplattierten Durchkontaktierung **29** mit dem entgegengesetzten Ende des Schlitzes **20** verbunden ist. Die EMS-Schalter **24** sind ferner direkt an der oberen Schicht **21** angebracht und mit entgegengesetzten Seiten des Schlitzes **20** unter Verwendung eines Paares metallplattierter Durchkontaktierungen **28** auf ähnliche Weise verbunden, wie dies in Bezug auf die Abbildungen der **Fig. 3A** bis **3C** beschrieben wurde. Die Gleichstrom-Vorspannungsleitungen **24** sind in ähnlicher Weise auf die obere Schicht der Leiterplatte gedruckt und mit den MEMS-Schaltern **18** auf eine Art und Weise verbunden, wie dies in Bezug auf die Abbildungen der **Fig. 3A** bis **3C** beschrieben wurde.

[0052] Bis zu dieser Stelle wurde eine frei stehende Schlitzantenne beschrieben. Die vorliegende Konstruktion kann jedoch so angepasst werden, dass eine Schlitzantenne mit einem Hohlraum auf der Rückseite hergestellt wird, wie etwa die in den Abbildungen der **Fig. 5A** und **5B** dargestellte Antenne. Der Einsatz eines Hohlraums **32** hinter der Schlitzantenne weist den Vorteil auf, dass der Schlitz **20** danach direkt angrenzend an eine große metallische Erdebene angebracht werden kann, wobei keine Öffnungen in die Erdebene geschnitten werden. Dies ist häufig erforderlich, wie etwa bei einem Fahrzeug mit einer Metallkarosserie wie bei einem Kraftfahrzeug. Dies ist ein Vorteil, da der Entwickler in bestimmten Fällen eine Antenne oben auf einer großen, ununterbrochenen Erdebene wie etwa auf dem Dach des Fahrzeugs platzieren möchte. Wenn der Schlitz **20** als Teil eines metallischen Hohlraums **32** gestaltet wird, so kann dieser Hohlraum **32** auf einer Metalloberfläche platziert werden, wie etwa auf dem Dach eines Fahrzeugs, ohne dass die Antenne kurzgeschlossen wird. Der Einsatz des Hohlraums **32** begrenzt ferner die sofortige Bandbreite der Antenne, was abhängig von

der jeweiligen Anwendung ein Vorteil oder ein Nachteil sein kann. Als grobe Richtlinie für die Konstruktion sollte die Breite des Hohlraums für gewöhnlich auf der gewünschten Frequenz ungefähr eine halbe Wellenlänge betragen, dividiert durch den Brechungsindex des den Hohlraum füllenden Materials. Dies ist jedoch eine sehr lockere Regel, und der Hohlraum kann um mindestens einen Faktor zwei kleiner als dieser Wert gestaltet werden, ohne dass dies signifikante negative Auswirkungen hat. Der Hohlraum **32** mit einer bestimmten Größe kann somit als Antenne dienen, die über einen sehr umfassenden Bereich abgestimmt werden kann.

[0053] Eine Hohlraumantenne weist normalerweise entlang ihrer Kanten metallische Seitenwände **35** auf. Wenn eine metallische Seitenwand **35** jedoch die Seite der Antenne aus den Abbildungen der **Fig. 5A** und **5B** angrenzend an die Position abdeckt, an der der Schlitz **20** die Kante berührt, würde die Seitenwand unmittelbar angrenzend an den Schlitz **20** als Strompfad fungieren, wodurch die MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** deutlich weniger effektiv werden würden (im Wesentlichen würde erneut das Problem auftreten, das vorstehend in Bezug auf **Fig. 2** beschrieben worden ist). Somit wird die Seitenwand **35** angrenzend an die Stelle, an der der Schlitz **20** die Kante berührt, mit einem Spalt **39** mit einer Breite **37** geöffnet, so dass die Länge des Strompfads um den Schlitz **20** an dem Rand des Hohlraums vergrößert wird, wodurch sich die Wirksamkeit der MEMS-Schalter **18-1**, **18-2**, **18-3** erhöht. Die Breite **37** des Spalts **39** sollte ausreichend lang sein, so dass der Strompfad parallel zu einem geschlossenen MEMS-Schalter **18** für die Betriebsfrequenz der Antenne ungefähr eine Länge einer viertel Wellenlänge (oder länger) aufweist, wenn der eine MEMS-Schalter **18** geschlossen ist.

[0054] Die Schlitzantenne mit Hohlraum **32** auf der Rückseite kann unter Verwendung eines Mikrostreifens **31** gemäß der Abbildung aus **Fig. 4A** gespeist werden oder unter Verwendung einer versetzten koaxialen Sonde **34** gemäß der Abbildung aus **Fig. 6A**. Die Öffnung **33** in der Oberfläche **21** (siehe **Fig. 6A**) erleichtert das Löten (oder eine anderweitige Verbindung) des zentralen Leiters der koaxialen Sonde **34** an die Oberfläche **22'**. Die Erdabschirmung der koaxialen Sonde **34** wird danach mit der Rückwandplatte **36** gekoppelt. Die Oberfläche **22'** bildet einen Abschnitt der Erdebene für die Antenne, und da die Schlitzantenne mit Hohlraum auf der Rückseite für gewöhnlich an einer elektrisch leitfähigen Oberfläche angebracht wird (nicht abgebildet – wobei es sich etwa um die äußere Metalloberfläche eines Fahrzeugs handeln kann), sieht die elektrisch leitfähige Oberfläche ferner eine Erdebene für die Antenne vor.

[0055] Der Impedanz des Speisepunkts **16** wird vorzugsweise auf 50 Ohm (eine in Antennensystemen

normalerweise verwendete Impedanz, wobei natürlich auch andere Impedanzen verwendet werden können) eingestellt, indem dessen Position entlang dem Schlitz **20** geregelt wird. Für gewöhnlich kann der Speisepunkt **16** in einer Entfernung vorgesehen werden, die 1/10 bis 1/5 einer Wellenlänge von dem kurzgeschlossenen Ende entspricht, und wobei die Position verhältnismäßig leicht innerhalb des Bereichs angepasst werden kann, um die Impedanzübereinstimmung zu finden.

[0056] In den meisten Fällen kann der Speisepunkt **16** an einer einzigen festen Entfernung D von dem geschlossenen Ende **14** des Schlitzes **20** angeordnet werden und einen sehr umfassenden Bereich von Resonanzfrequenzen bedienen. Wenn der gewünschte Frequenzbereich jedoch sehr breit ist, oder wenn die unmittelbare Bandbreite sehr schmal ist, wie im Falle eines sehr dünnen Hohlraums, so kann eine gewisse Anpassung der Anordnung der Speisung erforderlich sein. Dies kann gemäß der Abbildung aus **Fig. 7** erreicht werden. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich bei den MEMS-Schaltern **18-1**, **18-2**, **18-3**, welche die Frequenzabstimmung vorsehen, um die gleichen Schalter, die vorstehend in Bezug auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind. Allerdings ersetzt eine zweite Reihe dicht aneinander angeordneter MEMS-Schalter **15** das geschlossene Ende **14** des Schlitzes **20**. Dies ermöglicht die Anpassung der Position des effektiven Schlitzendes, das einem geschlossenen Schalter der Gruppe von MEMS-Schaltern **15** zugeordnet ist. Die Schalter **15**, die das Schlitzende anpassen, sind näher an dem Speisepunkt **16** angeordnet als die Schalter **18** zur Frequenzregelung. Die Schalter **15** zur Anpassung des Schlitzendes regeln mögliche fehlende Impedanzübereinstimmungen, die in Verbindung mit einer sehr breiten Abstimmungsantenne oder einer Antenne mit sehr hoher Resonanz auftreten können, indem das geschlossene Ende **14** des Schlitzes effektiv längs entlang dem Schlitz **20** bewegt wird. Wenn das Ausführungsbeispiel aus **Fig. 7** ohne Hohlraum (wie etwa dem Hohlraum **32** aus **Fig. 5B**) gestaltet wird, so wird die Oberfläche **22** durch den Schlitz in zwei Abschnitte aufgeteilt, da der Schlitz **20** in diesem Ausführungsbeispiel die Oberfläche **22** kreuzt. Die beiden Abschnitte werden vorzugsweise durch ein dielektrisches Substrat getragen (wie etwa das in dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 4B** dargestellte Substrat **21**), wobei das Substrat in der Abbildung aus **Fig. 7** nicht abgebildet ist.

[0057] Die Abbildung aus **Fig. 8** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall ist eine Gruppe von MEMS-Schaltern **18'** sehr dicht aneinander angeordnet (sie sind einen sehr geringen Teil einer Wellenlänge der Frequenz der Antenne auseinander angeordnet) und sehr nahe an dem offenen Ende des Schlitzes **20** in dem Subst-

rat **22**. Dies ermöglicht die Abstimmung des Schlitzes **20** über einen sehr geringen Bruchteil dessen Bandbreite. Das Öffnen und Schließen der einzelnen Schalter in der Einheit **18'** bewirkt eine Veränderung der Phase der abgestrahlten Welle, wobei Anwendungen in Antennen mit phasengesteuerter Anordnung möglich sind. In der Abbildung aus **Fig. 8** weist die Gruppe vier MEMS-Schalter in der Schaltereinheit **18** auf, wie dies durch die vier Steuer- bzw. Vorspannungsleitungen **24** angezeigt wird, welche die Schaltereinheit **18** verlassen. Natürlich kann die Anzahl der einzelnen in der Schaltereinheit **18'** verwendeten Schaltern bei der Konstruktion bzw. Planung ausgewählt werden. Die Schaltergruppe kann auf einem kleinen Substrat **23** angeordnet werden, und die Antenne kann im Wesentlichen durch die gleichen Techniken hergestellt werden, die vorstehend in Bezug auf die Abbildungen der **Fig. 3A** bis **3C** beschrieben worden sind, mit der Ausnahme, dass die Schalter in diesem Fall deutlich enger aneinander angeordnet sind. Wie in den anderen Ausführungsbeispielen kann die leitfähige Erdebene bzw. die Oberfläche **22** an oder in Verbindung mit einer dielektrischen Oberfläche **21** angebracht werden (siehe zum Beispiel **Fig. 4B**).

[0058] Da die MEMS-Schalter aus dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 8** die Resonanzfrequenz um viel weniger als die Bandbreite verändern, handelt es sich bei dem primären Effekt um die Abstimmung der Phase der Strahlung. Das in der Abbildung aus **Fig. 8** dargestellte Antennenelement kann zum Beispiel als grundlegendes Antennenelement einer phasengesteuerten Anordnung verwendet werden, in dem der phasenabgestimmte Schlitz auf einem eindimensionalen oder zweidimensionalen Gitter wiederholt wird.

[0059] Nachstehend wird ein weiteres Ausführungsbeispiel in Bezug auf die Abbildung aus **Fig. 9** beschrieben. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel nimmt der Schlitz **20** die Form des Buchstabens "L" an und weist seinen Speisepunkt **16** an der Ecke **17** des "L" auf. Zwei MEMS-Schalter **38** sind in dem Schlitz platziert, und zwar einer auf jeder Seite des Speisepunkts **16** und sehr dicht an diesem. Durch das Schließen eines der beiden Schalter **38** wird der Arm bzw. der Abschnitt des L-förmigen Schlitzes **20** mit dem geschlossenen Schalter **38** kurzgeschlossen, während der andere Arm bzw. Abschnitt die Hochfrequenzstrahlung abstrahlen und/oder empfangen kann. Dies bewirkt einen Wechsel der Polarisation der Antenne zwischen zwei verschiedenen linearen Polarisationen. Dieses Ausführungsbeispiel der Antenne kann zum Beispiel für die Polarisations-Diversity in einer Antenne tragbarer Handapparate verwendet werden. Die Längen der beiden Schlitzte **20** werden vorzugsweise unter Verwendung von Gruppen von MEMS-Schaltern **18** geregelt, wie dies bereits vorstehend im Text beschrieben worden ist, und zwar in jedem Arm bzw. Abschnitt des L-förmigen

Schlitzes **20**. Der Arm bzw. der Abschnitt mit einem offenen Schalter **38** strahlt, während der geschlossene Schalter **38** in dem anderen Arm bzw. Abschnitt als kurzgeschlossenes Ende **14** (siehe die Beschreibung in Bezug auf **Fig. 1**) des arbeitenden Schlitzarms bzw. Schlitzabschnitts fungiert. Der L-förmige Schlitz kann als zwei Schlitze betrachtet werden, die sich schneiden.

[0060] Das Ausführungsbeispiel aus **Fig. 9** ist dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 7** in gewisser Weise dahingehend ähnlich, dass der Schlitz bzw. die Schlitze **20** als die leitfähige Oberfläche **22** vollständig kreuzend dargestellt sind, wobei diese in zwei Abschnitte unterteilt wird. Wie dies bereits vorstehend erwähnt worden ist, kann die Erdebene **22** größer sein als wie dies durch die Abbildungen vorgesehen ist, und somit kann die Erdebene, die sich über die in den Abbildungen dargestellten Grenzen hinaus erstreckt, auch gut die distalen Enden des Schlitzes bzw. der Schlitze schließen. Wenn die distalen Enden des Schlitzes bzw. der Schlitze tatsächlich auf diese Weise geschlossen werden, so sollte das distale Ende ausreichend weit von den MEMS-Schaltern **18** entfernt positioniert werden, so dass beim Schließen eines bestimmten MEMS-Schalters **18** der durch den Kurzschluss an dem distalen Ende vorgesehene Strompfad eine Länge (gemessen von der Position des jeweiligen MEMS-Schalters **18**) von mindestens einer viertel Wellenlänge auf der Frequenz aufweisen sollte, auf welcher die Antenne arbeitet, um zu bewirken, dass der Großteil des Antennenstroms durch den geschlossenen MEMS-Schalter **18** geleitet wird, anstatt über den Kurzschluss an dem distalen Ende des Schlitzes. Wenn das distale Ende des Schlitzes gemäß den Abbildungen der **Fig. 1, 3A, 4A und 8** offen ist, so beträgt die Länge des vorstehend genannten Strompfads mindestens eine viertel Wellenlänge, und zwar aufgrund der Länge des Schlitzes zurück zu dessen geschlossenem Ende **14**. Wenn beide Enden des Schlitzes offen sind, wie dies in den **Fig. 7 und 9** abgebildet ist, so kann die Länge des vorstehend genannten Strompfads als unendlich lang durch die leitfähige Oberfläche **22** angesehen werden. Ein Strompfad existiert, jedoch verläuft dieser über einen MEMS-Schalter **15** oder **38**, der wie das geschlossene Ende **14** aus **Fig. 1** fungiert, wenn der MEMS-Schalter betätigt wird.

[0061] Zwei einzelne Antennen **10**, deren eigener Schlitz **20** jeweils orthogonal zu dem Schlitz der anderen Antenne angeordnet ist, können in Kombination verwendet werden. Das Umschalten dieser Antennen kann dabei durch Umschalten der Speisungen an die Speisepunkte **16** der beiden Antennen geregelt werden oder durch den Einsatz der MEMS-Schalter **38** zur Deaktivierung eines zugeordneten Schlitzes **20** einer der Antennen, um die Antennen-Diversity vorzusehen.

[0062] Mehrere Antennen **10** der vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele können zusammenwirkend gemeinsam in einer Erdebene eingesetzt werden. Gemäß der Abbildung aus **Fig. 10** können zum Beispiel zwei Antennen im rechten Winkel zueinander angeordnet werden. Durch Einführen einer relativen Verzögerung in den Speisepfad zu dem Speisepunkt einer Antenne im Vergleich zu der anderen Antenne kann die Polarisation der Antenne kreisförmig gestaltet werden. In diesem Fall würde jede Antenne für gewöhnlich einen einzelnen MEMS-Schalter aufweisen, der geschlossen wird, wenn die zugeordnete Antenne **10** verwendet wird.

[0063] Alternativ kann jede Antenne **10** aus **Fig. 10** mit dem gleichen Phasensignal gespeist werden, wobei dabei jedoch die Frequenz einer der Antennen etwas durch das Schließen eines ausgewählten Schalters einer Gruppe von MEMS-Schaltern in jeder Antenne verändert wird, wobei die geringfügige Frequenzdifferenz der beiden Antennen so vorgesehen werden kann, dass eine Phasendifferenz von 90 Grad erzeugt wird, wie dies in der U.S. Patentanmeldung 09/829.192, eingereicht am 10. April 2001 offenbart wird, wobei die Anmeldung eine Kreuzdipolantenne offenbart, die eine kreisförmige Polarisation erzeugen kann. Dabei kann wechselweise ein MEMS-Schalter **18** in einem der beiden orthogonalen Schlitze **20** aus **Fig. 10** geschlossen werden, um eine Antenne mit umschaltbarer kreisförmiger Polarisation zu erzeugen.

[0064] Die Abbildungen der **Fig. 11A und 11B** zeigen eine Kreuzdipolschlitzantenne mit einem Hohlraum auf der Rückseite mit gekreuzten Schlitzen **20** mit offenem Ende.

[0065] Jeder Schlitz weist an dessen Enden eine Reihe von MEMS-Schaltern mit Regelung der Resonanzfrequenz des zugeordneten Schlitzes auf. Dieses Ausführungsbeispiel ist mit einer koaxialen Speisung **34** ähnlich dem Ausführungsbeispiel aus den **Fig. 6A und 6B** dargestellt. Die Seitenwände **35** sollten einen Zwischenraum bzw. Spalt **39** mit einer darin vorgesehenen Breite **37** angrenzend an die Position aufweisen, an der die Schlitze **20** die Seitenwände **35** schneiden, um die Länge des Strompfads angrenzend an die Enden der Schlitze **20** zu vergrößern, so dass die Effektivität der MEMS-Schalter **18** gesteigert wird. Alternativ kann der Hohlraum vergrößert werden, so dass dieser ausreichend groß ist und die Schlitze ausreichend lang sind, so dass der gleiche Effekt vorgesehen wird. In beiden Fällen sollte der Strompfad, der dazu neigt, die MEMS-Schalter zu umgehen, ob dies durch einen zusätzlichen Bereich des Schlitzes oder durch eine Öffnung in dem Hohlraum dargestellt ist, insgesamt im Bereich einer 1/4 Wellenlänge liegen.

[0066] Die Antennen aus den **Fig. 11A und 11B** kön-

nen natürlich ohne den Hohlraum hergestellt werden, indem die Oberfläche **22'** an einer dielektrischen Trägeroberfläche angeordnet wird.

[0067] Offenbart wurden mehrere Ausführungsbeispiele. Diese Ausführungsbeispiele können nach Belieben mit oder ohne Hohlräume gestaltet werden. Wie dies bereits vorstehend erwähnt worden ist, ermöglicht das Vorsehen eines Hohlraums eher einen Schmalbandbetrieb im Vergleich zu Ausführungen ohne Hohlraum. Wenn ein Hohlraum verwendet wird, so wird der Hohlraum für gewöhnlich mit einem Dielektrikum "gefüllt", wie etwa mit einem festen dielektrischen Material, einem Gas (zum Beispiel Luft) oder auch einem Vakuum.

[0068] Diese Gedanken können untereinander kombiniert oder mit anderen Techniken kombiniert werden, und somit wird davon ausgegangen, dass sich der Fachmann auf dem Gebiet der Antennenentwicklung zahlreiche andere Konstruktionen vorstellen kann, welche die hierin enthaltenen Lehren verwenden.

[0069] Zur Untermauerung der Machbarkeit der vorstehend beschriebenen Strukturen wurde eine Antenne mit einem Schlitz mit einem Hohlraum auf der Rückseite gestaltet, ausgebildet als Leiterplatte aus Duroid 5880. Die Rückseite der Platte bestand vollständig aus Metall und die Vorderseite bestand ebenfalls aus Metall, wies jedoch einen darin ausgebildeten Schlitz **20** auf. Der Schlitz **20** wurde an einem Ende kurzgeschlossen und war an dem anderen Ende offen. Ein Koaxialkabel wurde zur Speisung des Schlitzes nahe dessen kurzgeschlossenen Ende verwendet. Die Abmessungen der Platte betragen 10 cm auf 4,5 cm, und die Speisung wurde 8 mm entfernt von dem kurzgeschlossenen Ende des Schlitzes **20** platziert. Eine Anordnung von Verbindungsdrähten aus Gold wurde entlang dem Schlitz platziert, wobei eine Seite des Schlitzes mit der anderen kurzgeschlossen wurde, und wobei das Vorhandensein des MEMS-Schalters simuliert wurde. Der erste Verbindungsdraht wurde 2,5 cm entfernt von dem kurzgeschlossenen Ende und dem Schlitz platziert, und die Drähte waren in Abständen von jeweils 6 mm angeordnet. Die Drähte wurden nacheinander entfernt, und die Antenne wurde zur Dokumentation des Rückflussverlusts gemessen und somit der Qualität der Übereinstimmung der Eingangsimpedanz. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in **Fig. 12** zusammengefasst. Die Antenne ist unter Verwendung dieser Technik über einen Bereich von 2,4 GHz bis 4,6 GHz abstimbar. Die Abbildungen der **Fig. 13** und **14** zeigen zwei spezifische Zustände der Antenne. Die Abbildung aus **Fig. 13**, in der der Schlitz eine Länge von 2,5 cm aufweist, zeigt eine primäre Spitze bei 4,2 GHz und die sekundäre Spitze bei 4,6 GHz. Die primäre Spitze stellt den Hauptstrahlungsmodus der Antenne dar, und dabei handelt es sich um den

abstimmbaren Modus. Die sekundäre Spitze stellt einen anderen Modus in dem Hohlraum dar, der nicht abstimbar ist. Die Abbildung aus **Fig. 14** zeigt drei hauptsächliche Spitzen, die einen Modus erster Ordnung bei 2,4 GHz, einen Modus zweiter Ordnung bei 3,3 GHz, einen Modus dritter Ordnung bei 4,1 GHz und wiederum einen nicht abstimmbaren Modus bei 4,6 GHz umfassen. Das Vorhandensein und die Position dieses nicht abstimmbaren Modus sind von dem Vorhandensein des Hohlraums **32** abhängig sowie den Details dessen Geometrie. Die anderen Modi können durch Regeln der Länge des Hohlraums, durch Öffnen und Schließen der MEMS-Schalter abgestimmt werden.

[0070] Die Resonanz der niedrigsten Ordnung umfasst den Modus, bei dem die einzelne halbe Wellenlänge über die Länge des Schlitzes **20** Platz findet. Die Frequenz dieses Modus kann somit aus der Länge des Schlitzes bestimmt werden sowie dem effektiven Brechungsindex des Materials auf beiden Seiten des Schlitzes **20**. Dieser Modus erzeugt ein sehr breites Strahlungsdiagramm, das nahezu ungerichtet und für den Fall des Schlitzes mit Hohlraum auf der Rückseite halb ungerichtet ist. Der Modus zweiter Ordnung genügt einer ganzen Wellenlänge in dem Schlitz. Der Modus dritter Ordnung genügt drei halben Wellenlängen in dem Schlitz. Ohne Hohlraum würden die Modi zweiter und dritter Ordnung somit entsprechend um einen Faktor von zwei oder drei größer sein als der Modus erster Ordnung. Bei dem Schlitz mit Hohlraum auf der Rückseite werden alle drei Modi in Richtung der Mittenfrequenz des Hohlraums komprimiert, die in dem hier gemessenen Fall bei etwa 3,3 GHz liegt. Die Abbildung aus **Fig. 15** zeigt eine Darstellung der Frequenz jedes Modus als eine Funktion der Schlitzlänge. In dieser Abbildung sind der Modus erster Ordnung, der Modus zweiter Ordnung und der Modus dritter Ordnung abgebildet. Durch entsprechende Auswahl verschiedener Schalterpositionen kann die Modusordnung unter Beibehaltung der Frequenz geändert werden. Um zum Beispiel einen Modus erster Ordnung und einen Modus zweiter Ordnung bei 3,3 GHz zu erzeugen, lägen die Schalterpositionen bei 4,75 cm und 9,5 cm. Das Umschalten zwischen diesen beiden Modi erzeugt verschiedene Strahlungsdiagramme, was für eine Diversity des Strahlungsdiagramms nützlich ist.

[0071] Eine Anwendung einer mittels MEMS abgestimmten Schlitzantenne ist die Strahlungsdiagramm-Diversity. Jeder Modus erzeugt ein anderes Strahlungsdiagramm, und durch Umschalten zwischen diesen Strahlungsdiagrammen kann ein kabelloses System einen höheren Rauschabstand erreichen, indem die Diversity-Verstärkung vorteilhaft genutzt wird. Die Abbildungen der **Fig. 16** und **17** zeigen ein Beispiel für eine Möglichkeit zum Wechseln zwischen Modi. Die Abbildung aus **Fig. 16** zeigt ein typisches Strahlungsdiagramm für den Modus nied-

rigster Ordnung einer Schlitzantenne mit Hohlraum auf der Rückseite. Die Abbildung aus **Fig. 17** zeigt den Modus zweiter Ordnung für die gleiche Antenne. Da sich die Strahlungsdiagramme der beiden Modi signifikant unterscheiden, kann das Umschalten zwischen den beiden Modi zwei verschiedene Ansichten der umgebenden Umgebung mit mehreren Pfaden ebenso vorsehen wie ein signifikantes Ausmaß der Diversity-Verstärkung. Unter Verwendung des Graphen aus **Fig. 15** können die Positionen der MEMS-Schalter so ausgewählt werden, dass die beiden Modi auf der gleichen Frequenz auftreten, wobei es sich um die für ein modernes kabelloses System am besten geeignete Konfiguration handelt.

[0072] Die Abbildung aus **Fig. 17** zeigt das Strahlungsdiagramm für einen Modus zweiter Ordnung der gleichen Schlitzantenne wie in **Fig. 16**. In diesem Fall weist das Strahlungsdiagramm entlang der E-Ebene eine Null auf und zwei Hauptkeulen in der H-Ebene. Durch einen Wechsel zwischen diesem Strahlungsdiagramm und dem aus der vorherigen Abbildung kann ein erhebliches Maß der Strahlungsdiagramm-Diversity erreicht werden.

[0073] Bei einigen Ausführungsbeispielen ist der Schlitz bzw. sind die Schlitze in einer Erdebene begrenzt. In anderen Ausführungsbeispielen der Antenne ist der Schlitz bzw. sind die Schlitze in einem leitfähigen Element bzw. in leitfähigen Elementen begrenzt, die einen Abschnitt eines Hohlraums definieren. Das Ausführungsbeispiel auf der Basis des Hohlraums weist den Vorteil auf, dass es leicht auf der Oberseite einer größeren Erdebene angeordnet werden kann, wie etwa wie dies durch die äußere Metalloberfläche eines Fahrzeugs (Kraftfahrzeug, Automobil, Lastkraftwagen, Flugzeug, Rakete, etc.) vorgesehen wird. Die Ausführungsbeispiele, die gemäß der vorstehenden Beschreibung keine Hohlräume aufweisen, können auf einfache Weise so modifiziert werden, dass sie durch Befolgen der hierin vorgesehenen Lehren einen Hohlraum aufweisen. In ähnlicher Weise können die Ausführungsbeispiele, die gemäß der vorstehenden Beschreibung darin keine Hohlräume aufweisen, derart modifiziert werden, dass sie, sofern gewünscht, auf die Hohlräume verzichten. Als Beispiel kann das Ausführungsbeispiel mit Hohlraum auf der Rückseite aus den Abbildungen der **Fig. 11A** und **11B** herangezogen werden. Wenn der Hohlraum weggelassen wird, bedeutet dies, dass die untere leitfähige Oberfläche und die Seitenwände **35** verschwinden, wobei vier leitfähige, geradlinige Elemente verbleiben, die durch MEMS-Schalter **18'** verbunden sind. Der durch den Hohlraum vorgesehene mechanische Träger verschwindet, wobei jedoch eine gewisse Art eines mechanischen Trägers wünschenswert ist, um die vier geradlinigen, leitfähigen Oberflächen zu tragen. Eine Möglichkeit zum Tragen dieser Oberfläche (und somit deren MEMS-Schalter **18**) ist deren Anordnung auf einer Hi-Z-Oberfläche

der in der folgenden Patentanmeldung der UCLA offenbarten Art: Sievenpiper und E. Yablonovitch, "Circuit and Method for Eliminating Surface Currents on Metals". Vorläufige U.S. Patentanmeldung 60/079953, eingereicht am 30. März 1998, und die entsprechende PCT-Anmeldung PCT/US 99/06884, offengelegt als WO 99/50929 am 7. Oktober 1999, deren Offenbarungen hierin durch Referenz enthalten sind. Die Größen der die Hi-Z-Oberfläche(n) bildenden leitfähigen Elemente sollten so bemessen sein, dass ihre Abmessungen deutlich kleiner sind als eine Wellenlänge der höchsten gewünschten Resonanzfrequenz der Antenne.

[0074] Die Hi-Z-Oberfläche der PCT-Anmeldung PCT/US 99/06884, offengelegt als WO 99/50929 am 7. Oktober 1999, kann in Verbindung mit allen hierin offenbarten Ausführungsbeispielen verwendet werden, entweder durch Anbringen des offenbarten Ausführungsbeispiels an einer Hi-Z-Oberfläche oder zuerst durch Entfernung des Hohlraums vor der Anbringung an der Hi-Z-Oberfläche.

[0075] In den offenbarten Ausführungsbeispielen der Schlitzantennen weist jeder Schlitz **20** ein physikalisch offenes Ende auf, das durch MEMS-Schalter **18** elektrisch geschlossen wird, wenn mindestens einer der Schalter geschlossen wird. Dabei wird angenommen, dass die Schalter im Normalzustand offene Schaltungsschalter sind. Die Schalter **18** können alternativ im Normalzustand geschlossene Schalter sein, die den Effekt aufweisen würden, dass sie die Richtung verändern, wie die Steuerspannung angelegt wird.

[0076] Das offene Ende der Schlitze **20** ist als physikalisch offen dargestellt. Wenn der Schlitz sehr lang ist, kann das "offene" Ende des Schlitzes tatsächlich physikalisch geschlossen sein, sofern der Strompfad um das physikalisch geschlossene Ende ausreichen lang ist im Vergleich zu dem Strompfad über den MEMS-Schalter **18**, so dass die Betätigung des MEMS-Schalters **18** eine erhebliche Auswirkung auf die Betriebsfrequenz der Schlitzantenne aufweisen würde. Um in Bezug auf die Abbildung aus **Fig. 2** einen erheblichen Effekt vorzusehen, müsste das geschlossene Ende **14** um ein Vielfaches weiter von dem Speisepunkt **16** entfernt sein als der MEMS-Schalter **18**.

[0077] Im Zuge der Beschreibung der vorliegenden Erfindung in Bezug auf bestimmte Ausführungsbeispiele sind für den Fachmann auf dem Gebiet zweifelsohne Modifikationen erdenklich. Zum Beispiel wurden Variationen bzw. Ausführungsbeispiele eines Grundkonzepts offenbart. Diese Variationen und Ausführungsbeispiele können wenigstens auf verschiedene Art und Weise abhängig von den Merkmalen kombiniert werden, die eine Schlitzantenne aufweisen soll. Die Erfindung ist somit nicht auf die of-

fenbarten Ausführungsbeispiele und Variationen beschränkt, sofern dies nicht ausdrücklich den Anforderungen der abhängigen Ansprüche entspricht.

Zusammenfassung

[0078] Die vorliegende Erfindung beschreibt eine Schlitzantenne zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals auf einer gewünschten Frequenz einer Mehrzahl unterschiedlicher Frequenzen. Die Schlitzantenne weist mindestens eine leitfähige Lage mit einem darin begrenzten Schlitz auf, wobei der Schlitz länger ist als breit und mindestens ein offenes Ende aufweist. Eine Mehrzahl von Schalterelementen ist entlang dem genannten Schlitz nahe an dessen offenes Ende angebracht, wobei jedes der genannten Schalterelemente im geschlossenen Zustand die mindestens eine leitfähige Lage entlang einer Seite des genannten Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite dieser koppelt. Ein Speisepunkt ist angrenzend an den genannten Schlitz vorgesehen. Die Mehrzahl von Schalterelementen kann geregelt geschlossen werden, um eine gewünschte Resonanzfrequenz einzustellen, auf der die Schlitzantenne das Hochfrequenzsignal empfängt und/oder sendet.

Patentansprüche

1. Schlitzantenne zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals auf einer gewünschten Frequenz einer Mehrzahl von verschiedenen Frequenzen, wobei die Schlitzantenne umfasst:

- (a) mindestens eine leitfähige Lage, die einen darin begrenzten Schlitz aufweist, wobei der Schlitz länger ist als breit, wobei der Schlitz ein erstes Ende aufweist, das elektrisch geschlossen ist, sowie ein zweites Ende, das offen ist;
- (b) eine Mehrzahl von Schalterelementen, die entlang dem genannten Schlitzes näher an dessen zweites Ende als an dessen erstes Ende angebracht sind, wobei jedes Schalterelement der genannten Mehrzahl von Schalterelementen im geschlossenen Zustand derart funktionsfähig ist, dass die mindestens eine leitfähige Lage auf einer Seite des genannten Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite dieser gekoppelt wird;
- (c) einen Speisepunkt zur Kopplung eines Hochfrequenzsignals zu und/oder von der mindestens einen leitfähigen Lage, wobei der Speisepunkt angrenzend an den genannten Schlitz an einer Position angeordnet ist, die sich näher an dem genannten ersten Ende befindet als ein einem näheren oder einem am nächsten liegenden Schalterelement der genannten Mehrzahl von Schalterelemente; und
- (d) wobei die Mehrzahl von Schalterelementen geregelt geschlossen werden kann, um eine gewünschte Resonanzfrequenz zu verändern, auf welcher die Schlitzantenne das Hochfrequenzsignal empfängt und/oder sendet.

2. Schlitzantenne nach Anspruch 1, wobei die genannte Mehrzahl von Schalterelementen entlang dem genannten Schlitz näher an einem Ende des Schlitzes als an einem anderen Ende des Schlitzes angeordnet ist.

3. Schlitzantenne nach Anspruch 2, wobei die genannte Mehrzahl von Schalterelementen entlang dem genannten Schlitz näher an dem zweiten Ende des Schlitzes als an dessen ersten Ende angeordnet ist.

4. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das elektrisch geschlossene Ende des Schlitzes durch ein Teilstück der genannten mindestens einen leitfähigen Lage gebildet wird, welches den genannten Schlitz physisch verschließt.

5. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das elektrisch geschlossene Ende des Schlitzes durch einen regelbaren Schalter gebildet wird, der über den genannten Schlitz verbunden ist, wobei der regelbare Schalter an der geschlossenen Stellung die genannte eine Seite der leitfähigen Bahn mit der anderen Seite dieser an dem genannten ersten Ende verbindet.

6. Schlitzantenne nach Anspruch 5, wobei es sich bei dem regelbaren Schalter um einen einer Mehrzahl von regelbaren Schaltern handelt, die entlang dem genannten Schlitz angrenzend an dessen erstes Ende angeordnet sind, wobei die genannten regelbaren Schalter einzeln geschlossen werden können, um die Position des genannten ersten Endes entlang dem genannten Schlitz zu verändern und um dadurch die Impedanz des Speisepunkts zu beeinflussen.

7. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Schlitz eine L-förmige Konfiguration mit ersten und zweiten orthogonal angeordneten Abschnitten aufweist, wobei der Speisepunkt angrenzend an einen Punkt angeordnet ist, an dem sich die beiden orthogonal angeordneten Abschnitte treffen, wobei der erste Abschnitt ein Ende aufweist, das elektrisch geschlossen ist, wenn der genannte regelbare Schalter, der dem zweiten Abschnitt zugeordnet ist, geschlossen ist, und wobei der zweite Abschnitt ein Ende aufweist, das elektrisch geschlossen ist, wenn ein dem ersten Abschnitt zugeordneter regelbarer Schalter geschlossen ist, wobei sich das erste Ende des Schlitzes zwischen dem dem zweiten Abschnitt zugeordneten regelbaren Schalter und dem dem ersten Abschnitt zugeordneten Schalter als Reaktion auf das Schließen der regelbaren Schalter bewegt, welche dem ersten und dem zweiten Abschnitt zugeordnet sind.

8. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei diese ferner einen Hohlraum aufweist,

der angrenzend an den genannten Schlitz in der genannten mindestens einen leitfähigen Bahn angeordnet ist.

9. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die genannte Mehrzahl von Schalterelementen an einem oder an mehreren dielektrischen Trägern angebracht ist, wobei der genannte eine oder die genannten mehreren dielektrischen Träger über dem genannten Schlitz angebracht sind, so dass die genannte Mehrzahl von Schalterelementen dadurch entlang dem genannten Schlitz angebracht ist.

10. Schlitzantenne mit Hohlraum auf der Rückseite zum Empfangen und/oder Senden eines Hochfrequenzsignals zumindest auf einer gewünschten Frequenz einer Mehrzahl verschiedener Frequenzen, wobei die Schlitzantenne umfasst:

(a) mindestens eine leitfähige Lage, die einen darin begrenzten ersten Schlitz aufweist, wobei der erste Schlitz länger ist als breit, wobei der erste Schlitz mindestens ein offenes Ende aufweist, das durch MEMS-Schalterbausteine, welche den ersten Schlitz überbrücken, elektrisch geschlossen werden kann, wobei der Schlitz einen dahinter angeordneten Hohlraum aufweist, wobei der Hohlraum begrenzt wird durch (i) die genannte mindestens eine leitfähige Lage, die den darin begrenzten ersten Schlitz aufweist, (ii) eine weitere leitfähige Lage, die räumlich getrennt von der genannten mindestens einen leitfähigen Lage angeordnet ist, welche den darin begrenzten ersten Schlitz aufweist, und (iii) Seitenwände, welche die genannte mindestens eine leitfähige Lage mit dem darin begrenzten ersten Schlitz mit der genannten weiteren leitfähigen Lage koppelt, wobei mindestens eine der genannten Seitenwände angrenzend an das genannten mindestens eine offene Ende des genannten ersten Schlitzes angeordnet ist, wobei die mindestens eine der genannten Seitenwände darin einen Spalt aufweist, der mit dem genannten mindestens einen offenen Ende des genannten ersten Schlitzes ausgerichtet ist;

(b) wobei die MEMS-Schalterbausteine eine erste Mehrzahl von Schalterelementen aufweisen, die entlang dem ersten Schlitz angeordnet sind, wobei jedes Schalterelement der genannten ersten Mehrzahl von Schalterelementen im geschlossenen Zustand die mindestens eine leitfähige Lage auf einer Seite des genannten ersten Schlitzes mit der mindestens einen leitfähigen Lage auf einer zweiten Seite dieser koppelt;

(c) einen Speisepunkt zur Kopplung eines Hochfrequenzsignals mit und/oder von der mindestens einen leitfähigen Lage, wobei der Speisepunkt angrenzend an dem genannten ersten Schlitz angeordnet ist; und

(d) wobei die Mehrzahl von Schalterelementen geregelt geschlossen werden kann, um die Resonanzfrequenz zu verändern, auf der die Schlitzantenne das Hochfrequenzsignal empfängt und/oder sendet.

11. Schlitzantenne nach Anspruch 10, wobei die genannte erste Mehrzahl von Schalterelementen entlang dem genannten ersten Schlitz näher an einer peripheren Kante des genannten Hohlraums als zu dem genannten Speisepunkt angeordnet ist.

12. Schlitzantenne nach Anspruch 10 oder 11, wobei der genannte erste Schlitz zwei offene Enden aufweist, die an der peripheren Kante des genannten Hohlraums enden, und ferner mit einer zweiten Mehrzahl von Schalterelementen, die entlang dem genannten Schlitz näher an einem zweiten offenen Ende des Schlitzes als an dem genannten Speisepunkt angeordnet ist.

13. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 10 bis 12, die ferner einen zweiten Schlitz mit zwei offenen Enden aufweist, die an der peripheren Kante des genannten Hohlraums enden, wobei der zweite Schlitz den ersten Schlitz an einer Position in der Mitte jedes der genannten ersten und zweiten Schlitzes schneidet, wobei der zweite Schlitz erste und zweite Mehrzahlen von MEMS-Schalterelementen aufweist, die entlang dem genannten zweiten Schlitz näher an dessen offenen Enden als an dem genannten Speisepunkt angeordnet sind.

14. Schlitzantenne nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei der Schlitz ein elektrisch geschlossenes Ende entfernt von dessen offenen Ende aufweist.

15. Schlitzantenne nach Anspruch 14, wobei das elektrisch geschlossene Ende des genannten Schlitzes durch ein Teilstück zumindest einer leitfähigen Lage ausgebildet ist.

16. Schlitzantenne, die auf einer Mehrzahl von Betriebsfrequenzen arbeiten kann, wobei die Schlitzantenne umfasst:

(a) ein elektrisch leitfähiges Element mit einem darin begrenzten Längsschlitz; und

(b) eine Mehrzahl von MEMS-Schaltern, die entlang dem genannten Längsschlitz angeordnet sind, wobei die Mehrzahl von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt, wobei der Längsschlitz mindestens ein Ende aufweist, das durch mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten Mehrzahl von MEMS-Schaltern elektrisch geschlossen wird, um einen Betrieb auf einer ausgesuchten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen vorzusehen, wobei das elektrisch leitfähige Element einen elektrisch leitfähigen Weg parallel zu dem mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter einer Mehrzahl von MEMS-Schaltern vorsieht, der auf der genannten ausgesuchten einen Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen mindestens ein Viertel einer Wellenlänge lang ist.

17. Schlitzantenne nach Anspruch 16, wobei das Verfahren ferner umfasst:

(c) einen zweiten Längsschlitz in dem elektrisch leitfähigen Element, wobei der zweite Längsschlitz in einem rechten Winkel zu dem erst genannten Längsschlitz angeordnet ist; und

(d) eine zweite Mehrzahl von MEMS-Schaltern, die entlang dem genannten zweiten Längsschlitz angeordnet ist, wobei die zweite Mehrzahl von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des zweiten Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt, wobei der zweite Längsschlitz mindestens ein Ende aufweist, das durch mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten zweiten Mehrzahl von MEMS-Schaltern elektrisch geschlossen wird, um einen Betrieb auf einer zweiten ausgesuchten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen vorzusehen, wobei das elektrisch leitfähige Element einen zweiten elektrisch leitfähigen Weg parallel zu dem genannten mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten zweiten Mehrzahl von MEMS-Schaltern vorsieht, wobei der zweite Weg auf der genannten weiten ausgesuchten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen mindestens ein Viertel einer Wellenlänge lang ist.

18. Schlitzantenne nach Anspruch 17, wobei der zweite Längsschlitz den erst genannten Längsschlitz schneidet.

19. Verfahren zur Herstellung einer Schlitzantenne, wobei das Verfahren umfasst:

(a) Gestalten eines Längsschlitzes in einem elektrisch leitfähigen Element, wobei der Längsschlitz auf mindestens eine Kante des elektrisch leitfähigen Elements trifft, um dadurch ein offenes Ende des genannten Schlitzes zu begrenzen, wobei der Schlitz ein weiteres Ende entfernt von dem genannten offenen Ende aufweist; und

(b) Anordnen einer Reihe von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Schlitz und näher an dessen offenes Ende als an dessen entferntem Ende, wobei die Reihe von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei das andere Ende des Schlitzes ferner auf eine Kante des elektrisch leitfähigen Elements trifft, wodurch ein zweites offenes Ende des genannten Schlitzes begrenzt wird, und wobei das Verfahren ferner den Schritt des Anordnens einer zweiten Reihe von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Schlitz und näher an dessen zweiten Ende als an dessen zuerst genannten offenen Ende aufweist, wobei die zweite Reihe von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt.

21. Verfahren zur Herstellung einer Schlitzantenne, die auf einer Mehrzahl von Betriebsfrequenzen funktionsfähig ist, wobei das Verfahren umfasst:

(a) Gestalten eines Längsschlitzes in einem elektrisch leitfähigen Element; und

(b) Anordnen einer Reihe von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Längsschlitz, wobei die Mehrzahl der MEMS-Schalter im geschlossenen Zustand eine Seite des Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt, wobei der Längsschlitz mindestens ein Ende aufweist, das durch mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten Mehrzahl von MEMS-Schaltern elektrisch geschlossen wird, so dass ein Betrieb auf einer ausgewählten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen vorgesehen wird, wobei das elektrisch leitfähige Element einen elektrisch leitfähigen Weg parallel zu dem genannten mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter einer Mehrzahl von MEMS-Schaltern vorsieht, der auf der genannten ausgesuchten einen Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen mindestens ein Viertel einer Wellenlänge lang ist.

22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei das Verfahren ferner aufweist:

(c) Gestalten eines zweiten Längsschlitzes in dem elektrisch leitfähigen Element, wobei der zweite Längsschlitz in einem rechten Winkel zu dem erst genannten Längsschlitz angeordnet ist; und

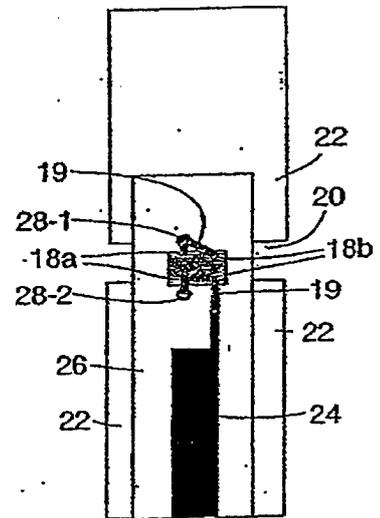
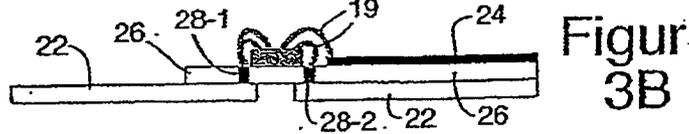
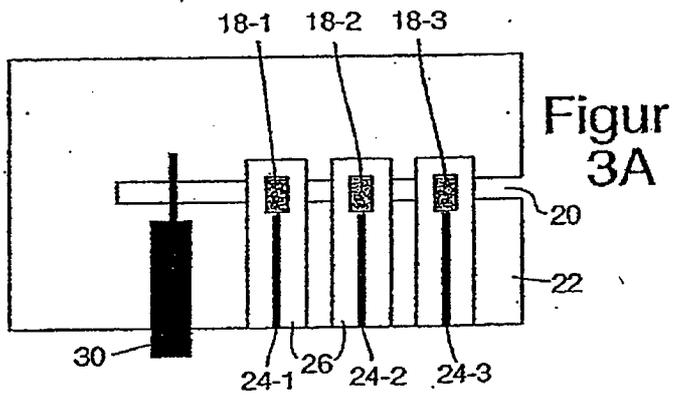
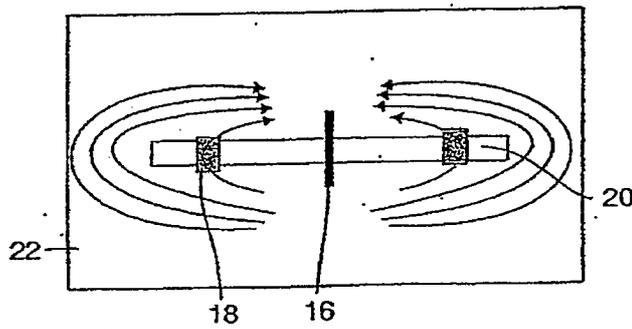
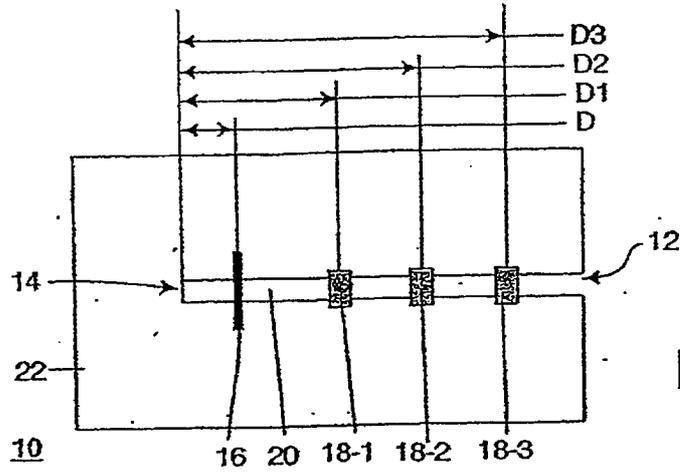
(d) Anordnen einer zweiten Mehrzahl von MEMS-Schaltern entlang dem genannten Längsschlitz, wobei die zweite Mehrzahl von MEMS-Schaltern im geschlossenen Zustand eine Seite des zweiten Schlitzes mit einer entgegengesetzten Seite des Schlitzes koppelt, wobei der zweite Längsschlitz mindestens ein Ende aufweist, das durch mindestens einen ausgewählten MEMS-Schalter der genannten zweiten Mehrzahl von MEMS-Schaltern elektrisch geschlossen wird, um einen Betrieb auf einer zweiten ausgesuchten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen vorzusehen, wobei das elektrisch leitfähige Element einen zweiten elektrisch leitfähigen Weg parallel zu dem genannten mindestens einen ausgesuchten MEMS-Schalter der genannten zweiten Mehrzahl von MEMS-Schaltern vorsieht, der auf der genannten weiten ausgesuchten Frequenz der genannten Mehrzahl von Betriebsfrequenzen mindestens ein Viertel einer Wellenlänge lang ist.

23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei der zweite Längsschlitz den ersten genannten Längsschlitz schneidet.

24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, wobei der erst genannte Weg und der zweite Weg unendlich lang sind.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



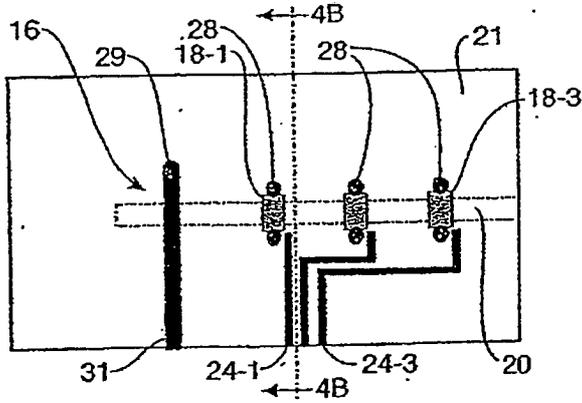


Figure 4A

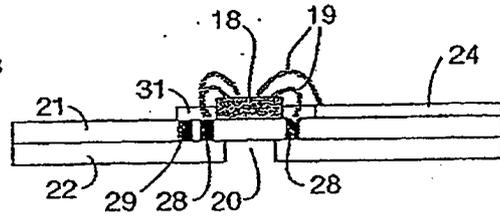


Figure 4B

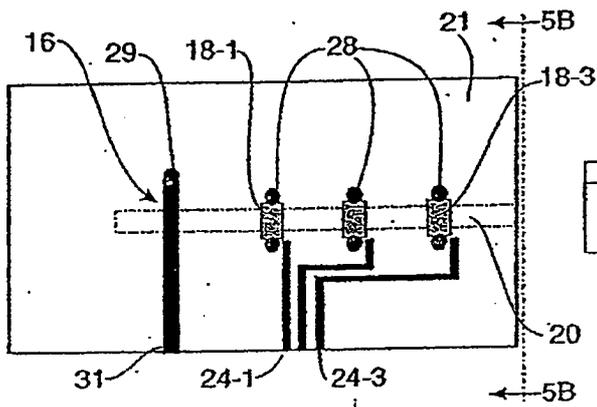


Figure 5A

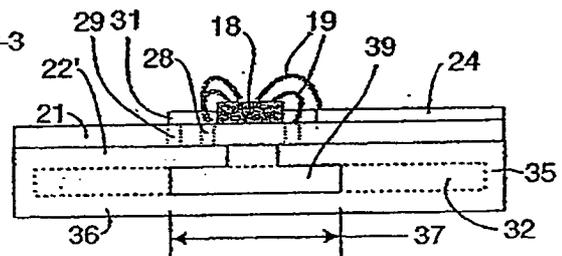


Figure 5B

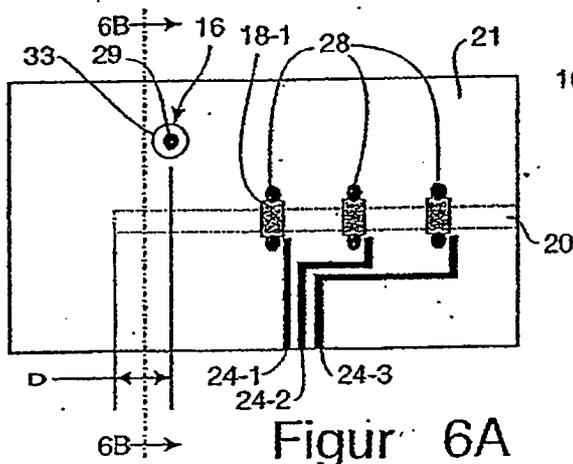


Figure 6A

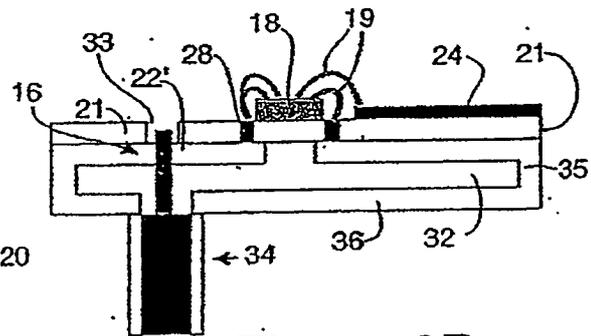
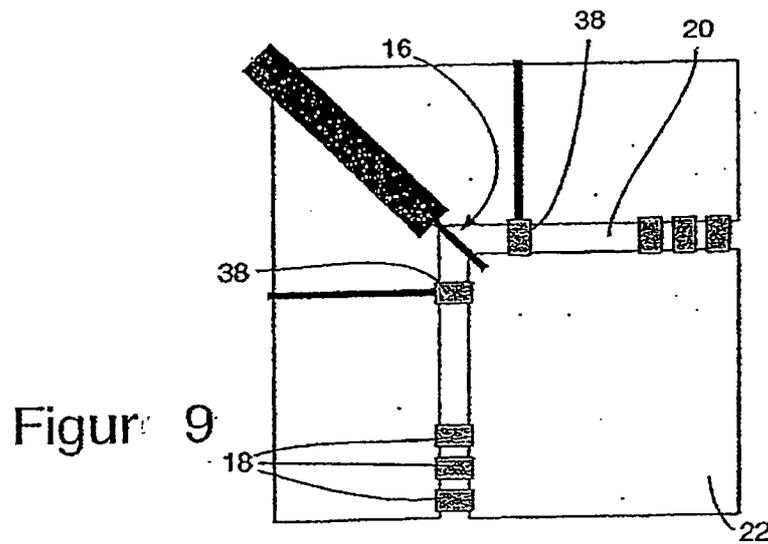
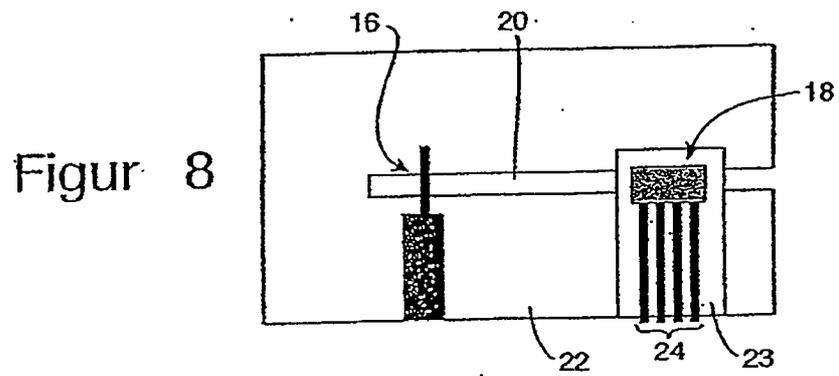
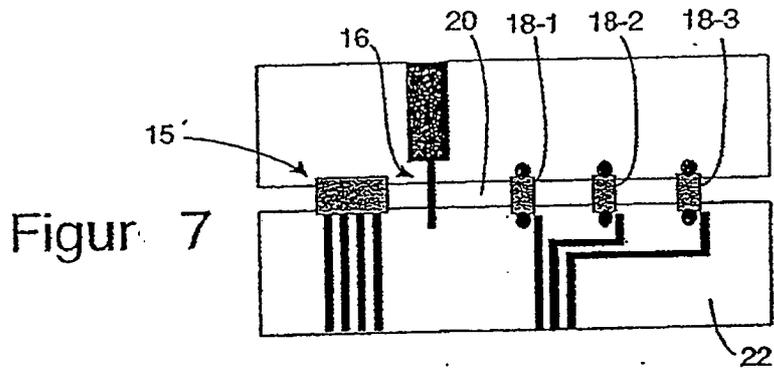
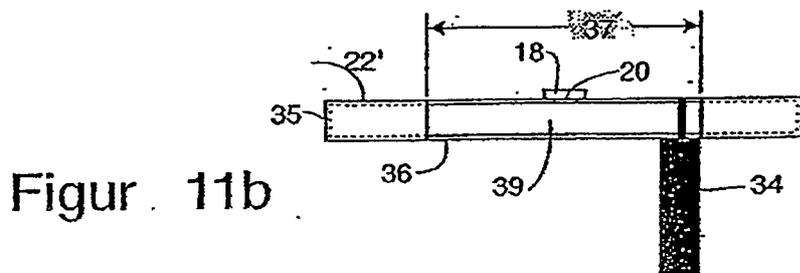
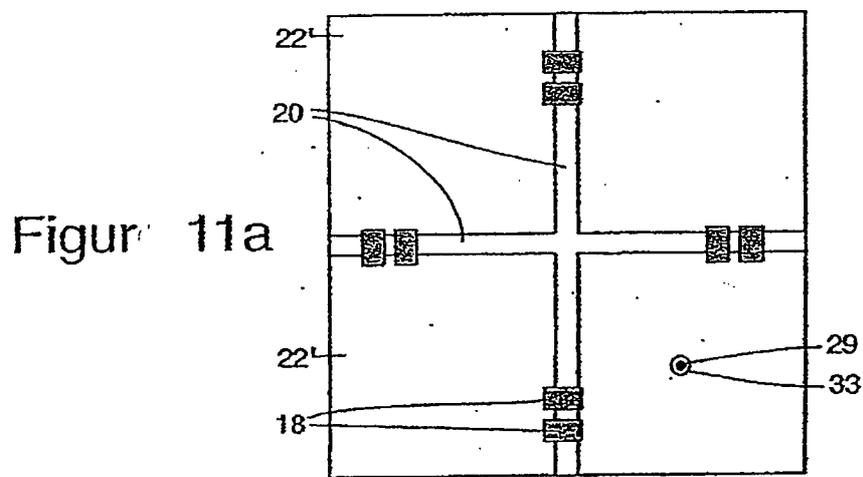
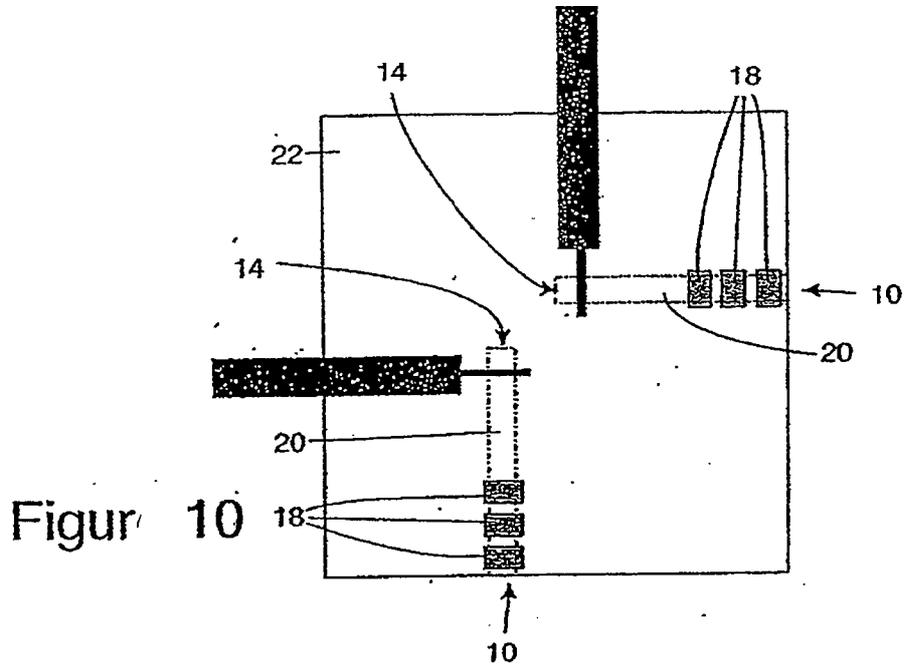
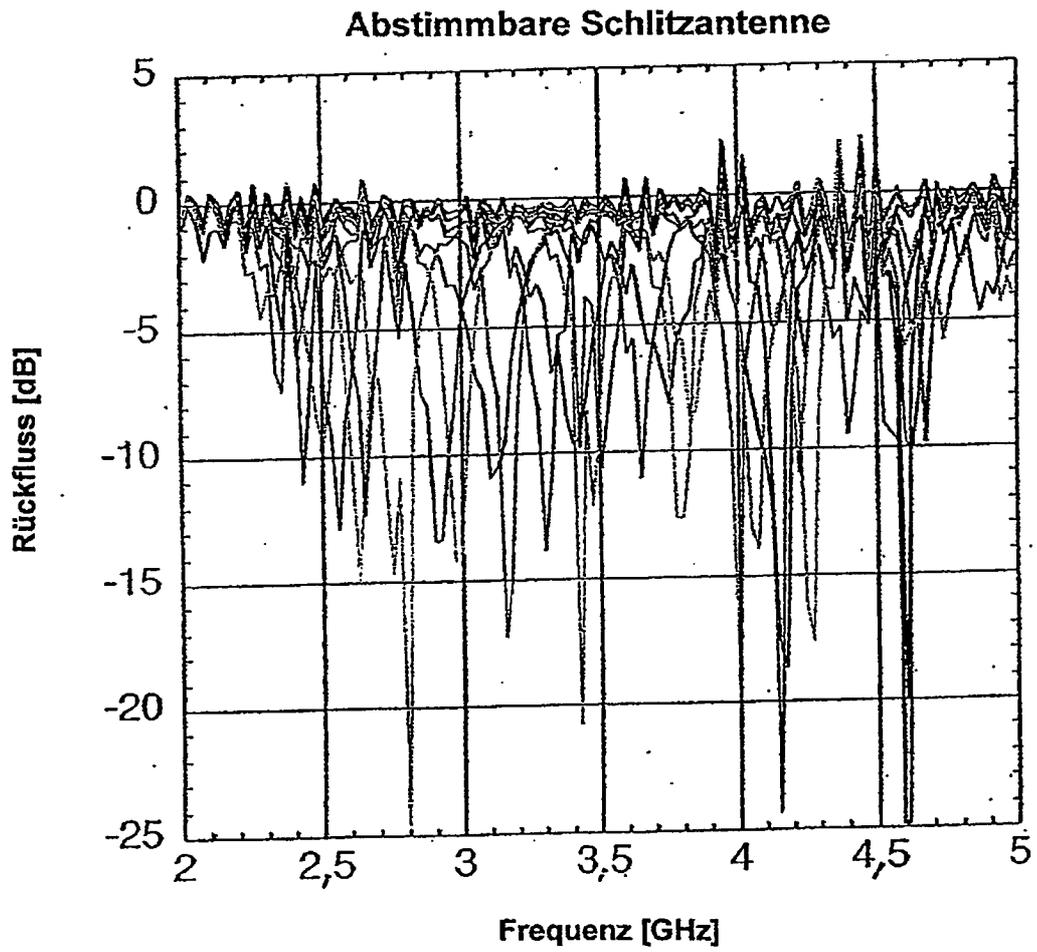


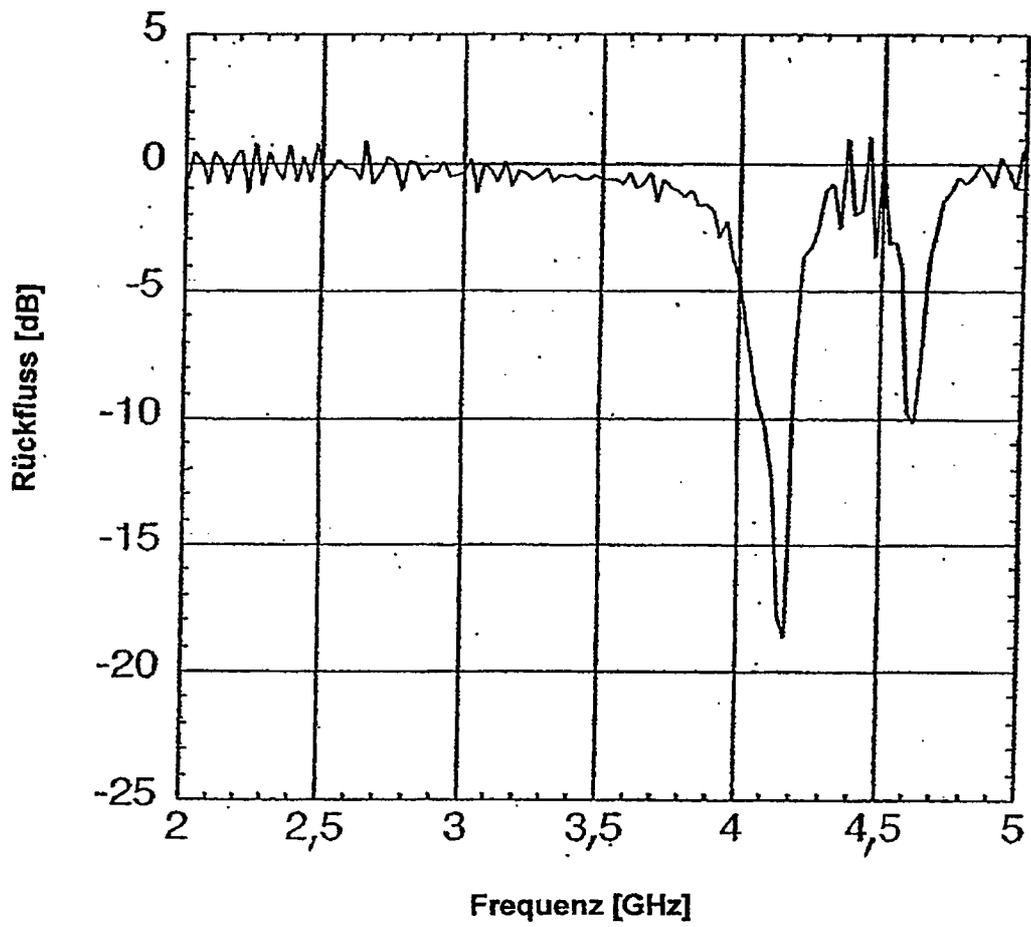
Figure 6B



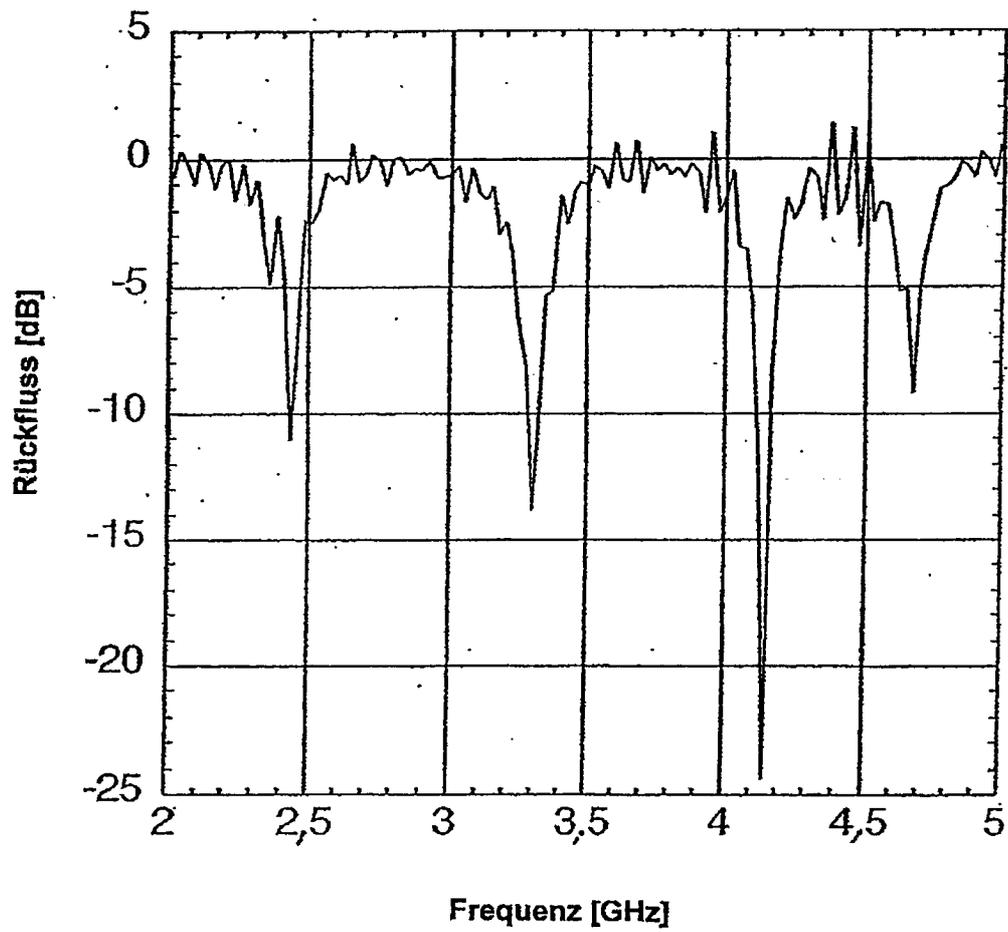




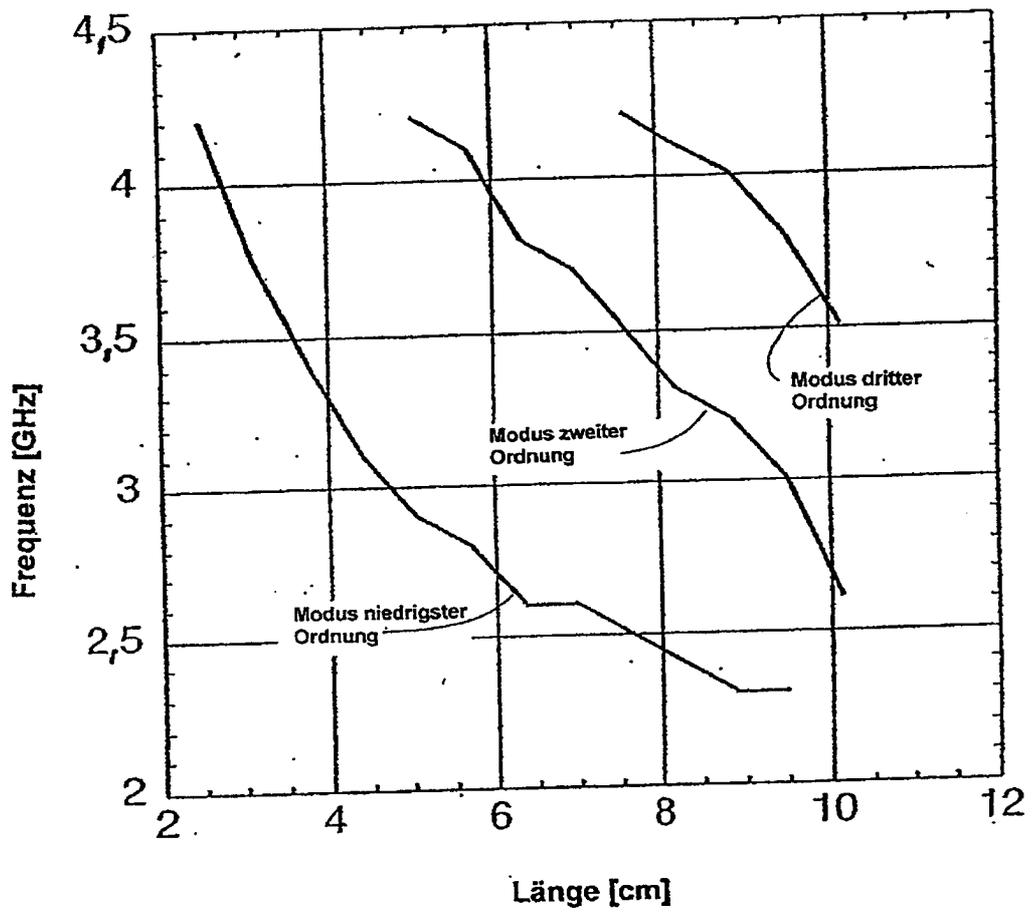
Figur 12



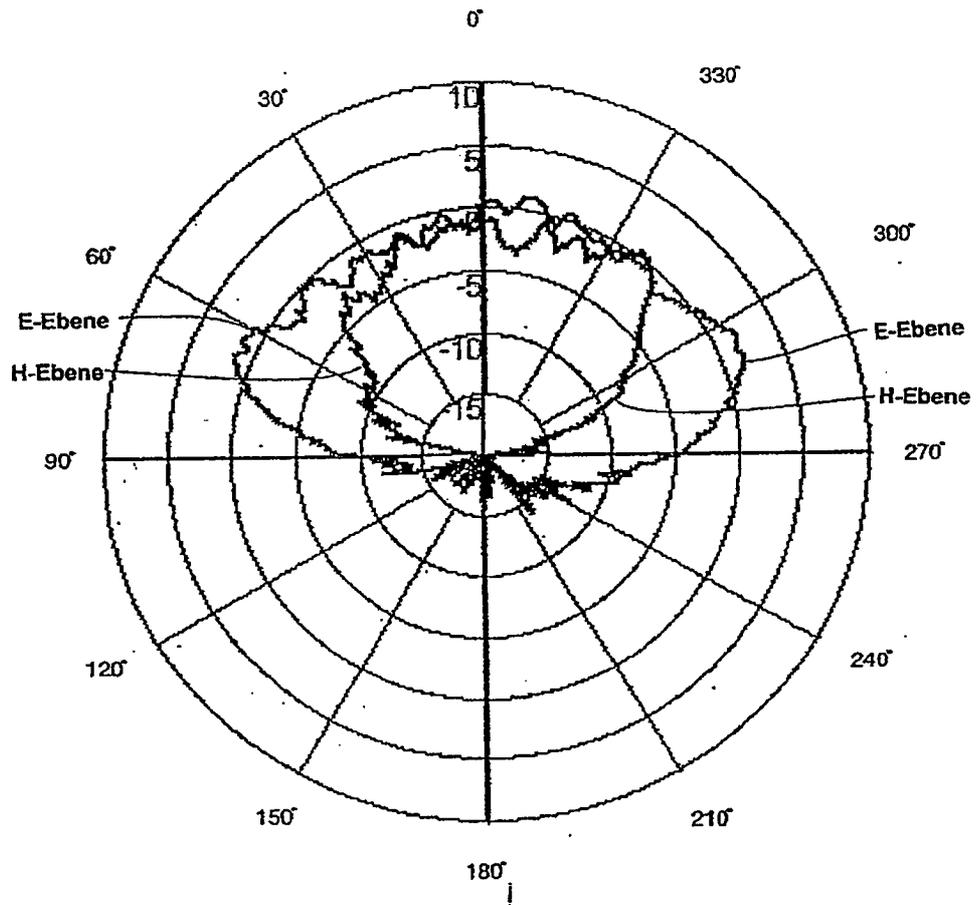
Figur 13



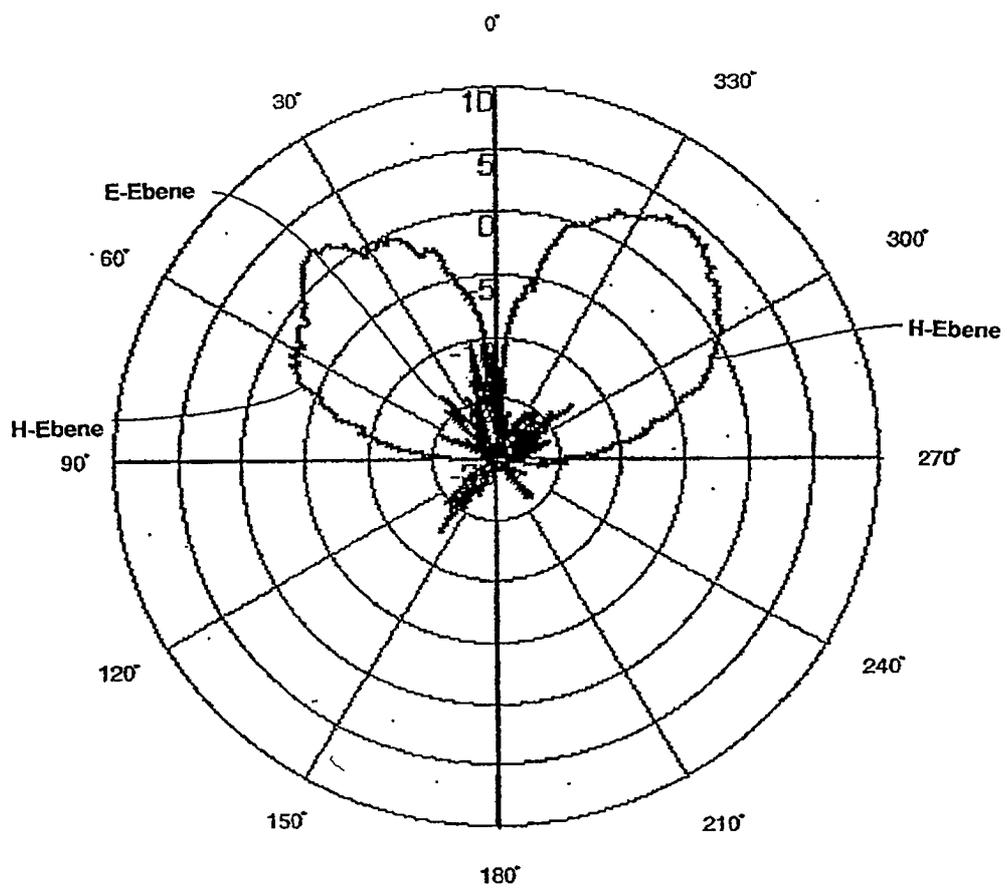
Figur 14



Figur 15



Figur 16



Figur 17