



(10) **DE 11 2015 006 131 T5** 2017.11.02

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/175796**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 006 131.2**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2015/028283**  
(86) PCT-Anmeldetag: **29.04.2015**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.11.2016**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **02.11.2017**

(51) Int Cl.: **E21B 47/12 (2012.01)**  
**E21B 47/13 (2012.01)**  
**E21B 47/26 (2012.01)**

(71) Anmelder:  
**Halliburton Energy Services, Inc., Houston, Tex.,  
US**

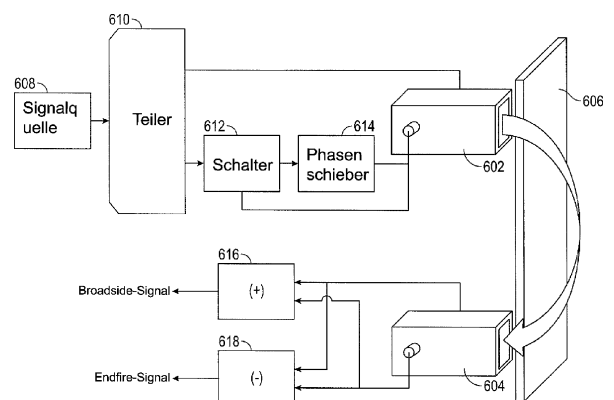
(74) Vertreter:  
**Fleuchaus & Gallo Partnerschaft mbB, 81369  
München, DE**

(72) Erfinder:  
**Pan, Li, Singapore, SG; Wang, Chao-Fu,  
Singapore, SG; Song, Rencheng, Singapore, SG;  
Ma, Jin, Singapore, SG**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Dielektrisches Hochfrequenzwerkzeug mit zwei Modi**

(57) Zusammenfassung: Ein Sender/Empfänger zur Verwendung in einem dielektrischen Logging-Werkzeug. Der Sender/Empfänger beinhaltet allgemein ein Gehäuse, ein Septum, eine erste Antenne und eine zweite Antenne. Im Betrieb als Sender werden ein erstes und ein zweites elektromagnetisches Signal von der ersten bzw. der zweiten Antenne emittiert. Das Gehäuse und das Septum sind so geformt, dass sie das erste und das zweite elektromagnetische Signal zu einem kombinierten Signal kombinieren, das in Abhängigkeit von der Phasendifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten elektromagnetischen Signal unterschiedliche Ausrichtungen aufweist. Im Betrieb als Empfänger wird ein eingehendes elektromagnetisches Signal in eine erste und eine zweite Signalkomponente aufgeteilt. Die erste und die zweite Signalkomponente werden auf die erste bzw. die zweite Antenne gerichtet, wo sie in ein erstes und ein zweites elektrisches Signal umgewandelt werden. Das erste und das zweite elektrische Signal können dann beispielsweise durch Addieren oder Subtrahieren der Signale kombiniert werden, um ein resultierendes elektrisches Signal zu erzeugen, das eingehenden elektromagnetischen Signalen entspricht, die unterschiedliche Ausrichtungen aufweisen.



## Beschreibung

### ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

**[0001]** Moderne Ölfeldvorgänge verlangen große Mengen an Informationen in Bezug auf Parameter und Bedingungen, die im Bohrloch angetroffen werden. Solche Informationen beinhalten typischerweise Charakteristiken der von dem Bohrloch durchquerten Erdformationen und Daten bezüglich der Größe und Konfiguration des Bohrlochs selbst. Die Erfassung von Informationen, die sich auf Bedingungen im Bohrloch beziehen, die häufig als „Vermessen [Logging]“ bezeichnet wird, kann anhand mehrerer Verfahren durchgeführt werden, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, Wireline- oder Slickline-Vermessen, Vermessen während des Bohrens („Logging While Drilling“, LWD), von einem Bohrgestänge beförderten Vermessen, von einer Rohrschlange beförderten Vermessen und von einem Traktor beförderten Vermessen.

**[0002]** Ein Beispiel für ein Logging-Werkzeug, das zur Verwendung in einer beliebigen dieser Logging-Konfigurationen geeignet ist, ist ein dielektrisches Werkzeug. Im Allgemeinen beinhaltet ein dielektrisches Werkzeug mindestens einen Sender und mindestens einen Empfänger. Während des Vermessens liegen der Sender und der Empfänger an der benachbarten Formation an, und am Sender wird ein elektromagnetisches Signal erzeugt. Das elektromagnetische Signal breitet sich durch die Formation aus, sodass ein Teil des elektromagnetischen Signals den Empfänger erreicht. Beim Ausbreiten des elektromagnetischen Signals durch die Formation ändern sich Charakteristiken des elektromagnetischen Signals, wie Amplitude und Phase, aufgrund der Zusammensetzung und der Struktur der Formation. Durch Messen der Ausbreitungszeit und der Änderung der Charakteristiken des elektromagnetischen Signals kann ein Bediener Eigenschaften der Formation durch Berechnung oder Vergleich mit zuvor erfassten Daten ermitteln, einschließlich, ohne darauf beschränkt zu sein, Widerstand, Permittivität, Dielektrizitätskonstante, wassergefüllter Porosität und Wassersättigung.

**[0003]** Das elektromagnetische Signal wird durch eine mit dem Sender assoziierte Antenne generiert, indem ein elektrisches Signal an die Antenne bereitgestellt wird. Die Ausrichtung des von der Antenne erzeugten elektromagnetischen Signals ist im Allgemeinen auf Grundlage der Ausrichtung der Antenne und der Form des Sendergehäuses festgelegt.

**[0004]** Da die Formationszusammensetzung und -eigenschaften in mehreren Richtungen variieren können, ist es häufig wünschenswert, dielektrische Vermessungsdaten unter Verwendung von elektromagnetischen Signalen in mehreren Ausrichtungen zu

erfassen. Beispielsweise werden Sender, die eine Antenne aufweisen, die senkrecht zur Achse des dielektrischen Werkzeugs angeordnet ist, manchmal als im „Broadside“-Modus (Querstrahler) betrieben beschrieben. Der Broadside-Modus weist im Allgemeinen eine höhere Kopplungsverstärkung auf und ist daher in verlustbehafteten Logging-Umgebungen mit niedrigem Widerstand bevorzugt. Als weiteres Beispiel werden Sender, die eine Antenne aufweisen, die parallel zur Achse des dielektrischen Werkzeugs angeordnet ist, manchmal als im „Endfire“-Modus (Längsstrahler) betrieben beschrieben und erzeugen ein elektromagnetisches Signal, das senkrecht zu dem im Broadside-Modus erzeugten ist. Im Endfire-Modus ermittelt ein dielektrisches Werkzeug Formationseigenschaften primär in einer Ebene orthogonal zur Werkzeugachse. Der Endfire-Modus stellt eine größere Tiefe der Untersuchung bereit und wird weniger von einer Beabstandung beeinflusst (d.h. Abstände zwischen dem Sender und dem Empfänger und der Oberfläche des Bohrlochs, die durch eine Bohrschlammschicht oder allgemeine Unebenheit der Bohrlochoberfläche hervorgerufen werden). Dementsprechend ist ein dielektrisches Werkzeug wünschenswert, das in mehreren Modi betrieben werden kann.

### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0005]** Ein vollständigeres Verständnis der vorliegenden Ausführungsformen und ihrer Vorteile kann durch Bezugnahme auf die folgende Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen erlangt werden, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche Merkmale bezeichnen.

**[0006]** Fig. 1 zeigt eine beispielhafte Vermessenwährend-des-Bohrens(LWD)-Umgebung;

**[0007]** Fig. 2 zeigt eine beispielhafte Wireline-Logging-Umgebung;

**[0008]** Fig. 3 zeigt ein dielektrisches Werkzeug, das für eine Beförderung mittels Bohrgestänge oder Rohrschlange geeignet ist;

**[0009]** Fig. 4 ist eine schematische Ansicht eines Sensorkissens zur Verwendung in einem dielektrischen Werkzeug;

**[0010]** Fig. 5A–C sind verschiedene Ansichten eines Senders/Empfängers gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung – genauer gesagt, Fig. 5A ist eine isometrische Ansicht, Fig. 5B ist eine Vorderansicht und Fig. 5C ist eine Querschnittsansicht;

**[0011]** Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das eine Ausführungsform einer Elektronik darstellt, die für den Betrieb eines Sender/Empfänger-Paares gemäß ei-

ner Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung geeignet ist.

**[0012]** Während Ausführungsformen dieser Offenbarung dargestellt und beschrieben wurden und unter Bezugnahme auf Ausführungsbeispiele der Offenbarung definiert sind, implizieren solche Bezugnahmen keine Beschränkung der Offenbarung, und es ist keine solche Beschränkung daraus abzuleiten. Der offenbarte Gegenstand ist beträchtlicher Abwandlung, Veränderung und Äquivalenten in Form und Funktion zugänglich, wie es den einschlägigen Fachleuten mit dem Vorteil dieser Offenbarung ersichtlich ist. Die dargestellten und beschriebenen Ausführungsformen dieser Offenbarung sind lediglich Beispiele und geben den Geltungsbereich der Offenbarung nicht in seiner Gesamtheit wider.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0013]** Die vorliegende Offenbarung betrifft allgemein dielektrische Logging-Werkzeuge. Insbesondere betrifft die vorliegende Offenbarung einen Sender/Empfänger, der multimodal betrieben werden kann, zur Verwendung in einem dielektrischen Logging-Werkzeug.

**[0014]** Beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden hier detailliert beschrieben. Im Interesse der Klarheit sind möglicherweise nicht alle Merkmale der tatsächlichen Implementierung in dieser Patentschrift beschrieben. Es versteht sich natürlich, dass in der Entwicklung von einer beliebigen derartigen tatsächlichen Ausführungsform zahlreiche implementierungsspezifische Entscheidungen getroffen werden müssen, um die konkreten Ziele der Implementierung zu erreichen, die von einer Implementierung zur anderen variieren. Zudem versteht es sich, dass eine derartige Entwicklungsanstrengung komplex und zeitraubend sein könnte, für einschlägige Durchschnittsfachleute mit dem Vorteil der vorliegenden Offenbarung jedoch ein Routineunterfangen wäre.

**[0015]** Zum besseren Verständnis der vorliegenden Offenbarung werden die folgenden Beispiele bestimmter Ausführungsformen gegeben. Die folgenden Beispiele sollten in keinerlei Weise als den Geltungsbereich der Offenbarung beschränkend oder definierend angesehen werden.

**[0016]** Der offenbarte Sensor, die offenbarten Werkzeuge und die offenbarten Verfahren lassen sich am besten im Zusammenhang mit den größeren Systemen verstehen, in denen sie betrieben werden. Entsprechend zeigt **Fig. 1** eine veranschaulichende Bohrumgebung. Eine Bohrplattform **102** trägt einen Bohrturm **104** mit einem Fahrblock **106** zum Anheben und Absenken eines Bohrstranges **108**. Ein oberer Antrieb **110** stützt und dreht den Bohrstrang

**108**, wenn er durch den Bohrlochkopf **112** abgesenkt wird. Ein Meißel **114** wird durch einen Bohrlochmotor und/oder Drehung des Bohrstranges **108** angetrieben. Wenn sich der Meißel **114** dreht, erzeugt er eine Bohrung **116**, die durch verschiedene Formationen hindurchgeht. Eine Pumpe **118** zirkuliert das Bohrfluid **120** durch ein Zufuhrrohr **122** durch das Innere des Bohrstranges **108** zum Meißel **114**. Das Fluid tritt durch Öffnungen im Meißel **114** aus und strömt durch den Ringraum um den Bohrstrang **108** nach oben, um Bohrklein an die Oberfläche zu transportieren, wo das Fluid gefiltert und rezirkuliert wird.

**[0017]** Der Meißel **114** ist nur ein Teil einer Bohrgarnitur, die einen oder mehrere Bohrkragen (dickwandige Stahlrohre) beinhaltet, um Gewicht und Steifigkeit zur Unterstützung des Bohrprozesses bereitzustellen. Einige dieser Bohrkragen beinhalten eingebaute Logging-Instrumente, um Messungen von verschiedenen Bohrparametern wie Position, Ausrichtung, Meißelbelastung, Bohrlochdurchmesser usw. durchzuführen. Die Werkzeugausrichtung kann im Hinblick auf einen Werkzeugflächenwinkel (Drehausrichtung), einen Neigungswinkel (die Steigung) und eine Kompassrichtung angegeben werden, die jeweils aus Messungen durch Magnetometer, Inklinometer und/oder Beschleunigungsmesser abgeleitet werden können, wenngleich alternativ auch andere Sensortypen, wie etwa Gyroskope, verwendet werden können.

**[0018]** Ein LWD-Werkzeug **124** kann in der Bohrgarnitur nahe dem Meißel **114** integriert sein. Wenn der Meißel das Bohrloch durch die Formationen vorantreibt, dreht sich das LWD-Werkzeug **124** und erfasst azimutalabhängige Reflexionsmessungen, die eine Bohrlochsteuerung Werkzeugpositions- und Ausrichtungsmessungen zuordnet. Die Messungen können im internen Speicher abgelegt und/oder an die Oberfläche übermittelt werden. Eine Telemetriewelle **126** kann in der Bohrgarnitur enthalten sein, um eine Kommunikationsverbindung mit der Oberfläche aufrechtzuerhalten. Schlammpulstelemetrie ist eine gängige Telemetrietechnik zum Übertragen von Werkzeugmessungen an Oberflächenempfänger und zum Empfangen von Befehlen von der Oberfläche, jedoch können auch andere Telemetrietechniken verwendet werden.

**[0019]** An der Oberfläche empfängt ein Datenerfassungsmodul **136** das Uplink-Signal von der Telemetriewelle **126**. Das Modul **136** bietet wahlweise eine gewisse vorläufige Verarbeitung und digitalisiert das Signal. Ein Datenverarbeitungssystem **150** (in **Fig. 1** als Computer gezeigt) empfängt ein digitales Telemetriesignal, demoduliert das Signal und zeigt die Werkzeugdaten oder Bohrprotokolle für einen Benutzer an. Software (in **Fig. 1** als Informationsspeichermedium **152** dargestellt) steuert den Betrieb des Systems **150**. Ein Benutzer interagiert über ein oder meh-

rere Eingabegeräte **154** und ein oder mehrere Ausgabegeräte **156** mit dem System **150** und dessen Software **152**.

**[0020]** Bei Wireline-Logging-Vorgängen kann der Bohrstrang **108** aus dem Bohrloch zu verschiedenen Zeitpunkten während des Bohrprozesses herausgenommen werden, wie in **Fig. 2** angegeben. Sobald der Bohrstrang herausgenommen worden ist, können Logging-Vorgänge unter Verwendung eines Wireline-Logging-Werkzeugs **134** durchgeführt werden, d.h. einer Sensorinstrumentsonde, die an einem Kabel **142** aufgehängt ist, das Leiter zum Transportieren von Energie zu dem Werkzeug und von Telemetrie von dem Werkzeug an die Oberfläche aufweisen kann. Ein dielektrischer Logging-Teil des Logging-Werkzeugs **134** kann bewegliche Sensorkissen **136** beinhalten, die so ausgebildet sind, dass sie an der Bohrlochwand anliegen, wenn das Logging-Werkzeug **134** innerhalb des Bohrlochs positioniert ist. Eine Logging-Einrichtung **144** erfasst Messungen von dem Logging-Werkzeug **134** und beinhaltet Recheneinrichtungen zum Verarbeiten und Speichern der Messungen, die von dem Logging-Werkzeug **134** durchgeführt wurden.

**[0021]** **Fig. 3** zeigt ein alternatives dielektrisches Werkzeug **300**, das für eine Beförderung entlang des Bohrlochs mittels Bohrgestänge oder Rohrschlange geeignet ist. Das dielektrische Werkzeug **300** umfasst im Allgemeinen ein starres Gehäuse **302**, das Gewindeverbindungen **304A**, **304B** zur Verbindung mit benachbarten Abschnitten des Bohrgestänges oder der Rohrschlange aufweist. Aufgrund der Steifigkeit des angebrachten Bohrgestänges oder der angebrachten Rohrschlange kann das dielektrische Werkzeug **300** durch stark abgewinkelte Abschnitte des Bohrlochs transportiert werden.

**[0022]** Ähnlich dem Wireline-beförderten dielektrischen Werkzeug kann das dielektrische Werkzeug **300** ein bewegliches Sensorkissen **306** umfassen. Wie in **Fig. 3** dargestellt, befindet sich das Sensorkissen **306** in einer ausgefahrenen Position. In der ausgefahrenen Position wird bewirkt, dass das Sensorkissen an der Innenfläche des Bohrlochs anliegt, sodass Messungen der umgebenden Formation gemacht werden können. Das Sensorkissen **306** kann eingefahren werden, wenn es nicht in Gebrauch ist, was eine leichtere Beförderung des dielektrischen Werkzeugs innerhalb des Bohrlochs und einen Schutz der Onboard-Elektronik des dielektrischen Werkzeugs ermöglicht, wenn es nicht in Gebrauch ist.

**[0023]** **Fig. 4** stellt ein Sensorkissen **400** dar, das zur Verwendung in einem dielektrischen Werkzeug, wie dem dielektrischen Werkzeug **124**, **134** oder **300**, geeignet ist. Ein dielektrisches Werkzeug kann mit nur einem Sender und einem Empfänger funktionie-

ren, wenngleich die Verwendung mehrerer Sender und Empfänger im Allgemeinen vorteilhaft ist. Wie gezeigt, beinhaltet das Sensorkissen **400** zwei Sender **402A**, **402B** und drei Empfänger **404A**, **404B**, **404C**. Das Vorhandensein von mehreren Empfängern kann einen deutlich erweiterten Betriebsbereich, zusätzliche Tiefen der Untersuchung, erhöhte Messgenauigkeit und eine Kompensation für Beabstandung des Werkzeugs und Schlammkucheneffekte bieten. Obwohl nicht dargestellt, kann ein dielektrisches Werkzeug auch Sensoren, wie etwa Druck- und Temperatursensoren, beinhalten, um eine zusätzliche Kompensation für Bohrlochbedingungen bereitzustellen.

**[0024]** Während des Betriebs wird das dielektrische Werkzeug innerhalb des Bohrlochs positioniert, und es wird bewirkt, dass das Sensorkissen an der Formation anliegt. Jeder der drei Empfänger **404A**, **404B** und **404C** stellt eine Dämpfungs- und Phasenverschiebungsmessung als Reaktion auf das Auslösen des Senders **402A** bereit, wobei sechs unabhängige Messungen bereitgestellt werden. Sechs zusätzliche Messungen werden als Reaktion auf das Auslösen des zweiten Senders **402B** erhalten. Diese sechs zusätzlichen Messungen können wahlweise mit den ersten sechs kombiniert werden, um einen Satz kompensierter Messungen bereitzustellen. Das dielektrische Werkzeug kann auch andere Sensoren zum Messen von Bohrlochbedingungen, wie etwa Temperatur und Druck, zur zusätzlichen Kompensation beinhalten.

**[0025]** Sender des dielektrischen Werkzeugs, wie etwa die Sender **402A** und **402B**, können aus einer Antenne bestehen, die innerhalb eines leitfähigen Sendergehäuses, das eine Öffnung aufweist, angeordnet ist. Beim Vermessen ist die Öffnung so ausgerichtet, dass sie an die zu vermessende Formation anliegt. Die Senderantenne ist mit einem Speiseschaltkreis verbunden, der ein hochfrequentes elektrisches Signal (z.B. im Bereich von 100 MHz bis 10 GHz) an die Senderantenne bereitstellt, das die Senderantenne anregt und bewirkt, dass die Antenne die hochfrequente elektrische Energie in ein hochfrequentes elektromagnetisches Signal umwandelt. Wenn sich das elektromagnetische Signal innerhalb des Gehäuses ausbreitet, wirkt das Sendergehäuse als Wellenleiter und richtet das elektromagnetische Signal in Richtung der Öffnung und in die benachbarte Formation.

**[0026]** Ähnlich wie Sender können die Empfänger des dielektrischen Werkzeugs aus einer Antenne bestehen, die in einem Gehäuse, das eine Öffnung aufweist, angeordnet ist. Das Gehäuse ist so konfiguriert, dass es als Wellenleiter wirkt, sodass elektromagnetische Signale, die durch die Öffnung in das Empfängergehäuse eintreten, auf die Empfängerantenne gerichtet werden. Die elektromagnetischen Signale werden von der Empfängerantenne absorbiert,

die das elektromagnetische Signal in ein elektrisches Signal umwandelt, das dann gemessen und analysiert werden kann, um Formationseigenschaften zu ermitteln.

**[0027]** Fig. 5A, Fig. 5B und Fig. 5C stellen eine Ausführungsform eines Senders/Empfängers **500** dar, gemäß dieser Offenbarung. Der Sender/Empfänger **500** beinhaltet ein leitfähiges Gehäuse **502**, das eine Öffnung **504** aufweist. Innerhalb des Gehäuses **502** ist ein leitfähiges Septum **506** angeordnet. Zwei Antennen **508A** und **508B** erstrecken sich von gegenüberliegenden Seiten des Gehäuses **502** zu jeweiligen Seiten des Septums **506**. Wie dargestellt, können die Antennen **508A** und **508B** kollinear sein. Die Antennen **508A** und **508B** können auch beliebig aufgebaut sein, um hochfrequente elektromagnetische Signale zu erzeugen. Wie in Fig. 5B dargestellt, sind die Antennen **508A** und **508B** beispielsweise der Kern der Koaxialkabel **510A** und **510B**. Der durch das Gehäuse **502** und das Septum **506** definierte Hohlraum kann mit einem dielektrischen Material gefüllt sein. Obwohl die vorliegende Offenbarung nicht auf ein bestimmtes dielektrisches Füllmaterial beschränkt ist, werden im Allgemeinen Materialien, die eine hohe Dielektrizitätskonstante aufweisen, bevorzugt.

**[0028]** Das Gehäuse des Senders oder Empfängers wirkt im Allgemeinen als Wellenleiter, der elektromagnetische Signale von einer Antenne weg oder auf eine Antenne zu richtet. Im Fall des Senders/Empfängers **500** und wie in Fig. 5C ersichtlich, die den Sender/Empfänger gegen eine Formation **501** positioniert darstellt, unterteilt das Septum **506** einen ersten Abschnitt des Innenhohlraums des Gehäuses **502** in zwei parallele Wellenleiter. Wenn sich das Septum **506** in Richtung der Öffnung **504** erstreckt, wird das Septum **506** schmaler und endet schließlich innerhalb des Gehäuses **502**, sodass die verbleibende Länge des Gehäuses **502** zwischen dem Ende des Septums **506** und der Öffnung **504** einen einzigen Wellenleiter bildet.

**[0029]** Wenn der Sender/Empfänger **500** als ein Sender betrieben wird, wird ein hochfrequentes elektrisches Signal an jede der Antennen **508A** und **508B** bereitgestellt. Die Antennen **508A** und **508B** wandeln das elektrische Signal in ein erstes und ein zweites elektromagnetisches Signal um, die sich entlang der Länge des Gehäuses **502** ausbreiten. Zunächst werden die elektromagnetischen Signale durch das Septum **506** getrennt und durch die zwei parallelen Wellenleiter gerichtet. Mit schmaler werdendem Septum **506** kommt es zu einer Kombination des ersten und des zweiten elektromagnetischen Signals, sodass, wenn das Septum **506** endet, das erste und das zweite elektromagnetische Signal ein kombiniertes elektromagnetisches Signal bilden. Das kombinierte elektromagnetische Signal breitet sich entlang des restli-

chen Teils des Gehäuses **502** aus, bis es die Öffnung **506** erreicht und aus dem Gehäuse **502** austritt.

**[0030]** Um einen Betrieb sowohl im Broadside- als auch im Endfire-Modus zu ermöglichen, sind das Septum **506** und das Gehäuse **502** so konfiguriert, dass der Sender elektromagnetische Signale in Ausrichtungen erzeugt, die den Broadside- und Endfire-Modi entsprechen, je nachdem wie die Antennen **508A** und **508B** angeregt werden. Um ein dem Broadside-Modus entsprechendes elektromagnetisches Signal zu erzeugen, werden die Antennen **508A** und **508B** in einem geraden Modus angeregt, wobei die zur Anregung jeder der Antennen **508A**, **508B** verwendeten elektrischen Signale im Wesentlichen phasengleich sind. Um ein dem Endfire-Modus entsprechendes elektromagnetisches Signal zu erzeugen, werden die Antennen **508A**, **508B** in einem ungeraden Modus angeregt, wobei die zur Anregung der Antenne **508A** verwendeten elektrischen Signale und das zur Anregung der Antenne **508B** verwendete elektrische Signal phasenverschoben sind.

**[0031]** Wenn der Sender/Empfänger **500** als Empfänger betrieben wird, tritt ein eingehendes elektromagnetisches Signal über die Öffnung **504** in das Gehäuse **502** ein und wird zum Septum **506** geleitet. Das Septum **506** teilt das eingehende elektromagnetische Signal in zwei getrennte Signalkomponenten auf. Die Signalkomponenten breiten sich dann jeweils entlang des restlichen Teils des Gehäuses durch einen durch das Septum **506** und das Gehäuse **502** definierten Wellenleiter zu ihrer jeweiligen Antenne **508A** oder **508B** aus. Nachdem die elektromagnetischen Signale von den Antennen **508A** und **508B** empfangen worden sind, werden sie in entsprechende elektrische Signale umgewandelt. Wenn das dielektrische Werkzeug im Broadside-Modus betrieben wird, werden die von den Antennen **508A** und **508B** empfangenen elektrischen Signale addiert, um ein entsprechendes resultierendes Broadside-Signal zu erzeugen. Wenn andererseits das dielektrische Werkzeug im Endfire-Modus betrieben wird, werden die von den Antennen **508A** und **508B** empfangenen elektrischen Signale voneinander subtrahiert, wobei die Differenz zwischen den Signalen einem resultierenden Endfire-Signal entspricht.

**[0032]** Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das eine Ausführungsform einer Elektronik darstellt, die in Verbindung mit Sender/Empfängern gemäß dieser Offenbarung verwendet werden kann. Fig. 6 stellt einen Sender **602** und einen Empfänger **604** dar. Der Sender **602** und der Empfänger **604** sind an einer Formation **606** anliegend dargestellt. Wie zuvor erörtert, beinhaltet der Sender **602** zwei Antennen. Der Empfänger **604** umfasst ebenso zwei Antennen.

**[0033]** Während des Betriebs wird von einer Signalquelle **608** ein elektrisches Signal erzeugt und

in einen Leistungsteiler **610** geleitet. Der Leistungsteiler **610** teilt das elektrische Signal in zwei getrennte Zuführungssignale für jede der Senderantennen auf. Das erste Zuführungssignal wird direkt vom Leistungsteiler **610** an die erste Senderantenne gesendet. Das zweite Zuführungssignal wird andererseits zuerst durch einen Schalter **612** umgeleitet. Der Schalter **612** ist zwischen einer ersten und einer zweiten Position entsprechend den Broadside- und Endfire-Modi betriebsfähig. In der ersten/Broadside-Position lässt der Schalter **612** zu, dass das Signal direkt an die zweite Senderantenne läuft. In der zweiten/Endfire-Position bewirkt der Schalter **612**, dass das Signal zunächst einen Phasenschieber **614** durchläuft, bevor es die zweite Senderantenne erreicht. Wenn der Schalter **612** zum Betrieb des dielektrischen Werkzeugs im Endfire-Modus positioniert ist, erzeugt die erste Senderantenne folglich ein erstes elektromagnetisches Signal, während die zweite Senderantenne ein zweites elektromagnetisches Signal erzeugt, das von dem von der ersten Antenne erzeugten elektromagnetischen Signal phasenverschoben ist.

**[0034]** Der Sender **602** kombiniert elektromagnetische Signale, die von den Senderantennen erzeugt werden, in ein einzelnes elektromagnetisches Signal, das dann durch die Formation **606** geleitet wird. Mindestens ein Teil des kombinierten elektromagnetischen Signals, das von dem Sender **602** generiert wird, erreicht den Empfänger **604**. Aufgrund des Aufbaus des Empfängers **604** wird das elektromagnetische Signal zwischen der ersten und der zweiten Empfängerantenne aufgeteilt, wodurch ein erstes bzw. ein zweites Antwortsignal erzeugt wird.

**[0035]** Das erste und das zweite Antwortsignal können dann kombiniert und/oder verglichen werden, um ein endgültiges Ausgangssignal zu erzeugen. Bei Betrieb des dielektrischen Werkzeugs im Broadside-Modus werden das erste und das zweite Antwortsignal zusammenaddiert **616**, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das dem Betrieb im Broadside-Modus entspricht. Bei Betrieb des dielektrischen Werkzeugs im Endfire-Modus stellt alternativ die Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Antwortsignal **618** ein Ausgangssignal entsprechend einem Endfire-Modus bereit. In jedem Modus kann auch ein Zeitschaltkreis (nicht dargestellt) enthalten sein, um die Ausbreitungszeit zwischen dem Sender und dem Empfänger zu ermitteln. Obwohl in **Fig. 6** nicht dargestellt, kann in dem dielektrischen Werkzeug zusätzliche Elektronik vorhanden sein. Beispielsweise kann die Werkzeugelektronik eine Systemuhr, eine Steuereinheit, eine Mehrkanal-Datenerfassungseinheit und eine Datenverarbeitungs- und Speichereinheit beinhalten.

**[0036]** Sobald ein Ausgangssignal erzeugt worden ist, kann es analysiert werden, um die Formations-eigenschaften zu ermitteln. Beispielsweise können

die Phase und die Amplitude des Ausgangssignals mit einem Referenzsignal, wie etwa dem kombinierten elektromagnetischen Signal oder dem ursprünglich erzeugten elektrischen Signal, verglichen werden, um Phasen- und Amplitudenänderungen während der Ausbreitung durch die Formation zu ermitteln. Die Ausbreitungszeit, wie durch einen Zeitschaltkreis ermittelt, kann ebenfalls in die Analyse einbezogen werden. Eine Analyse des Ausgangssignals kann eines von Verarbeiten, Übertragen, Speichern, Abrufen und Durchführen von Berechnungen an dem Ausgangssignal beinhalten. Eine Analyse des Ausgangssignals kann ebenfalls eine Analyse von beliebigen Daten beinhalten, die von dem Ausgangssignal abgeleitet sind oder dieses repräsentieren.

**[0037]** Eine Analyse des Ausgangssignals kann von einem Bediener und/oder einem Informationsverarbeitungssystem durchgeführt werden. Für Zwecke dieser Offenbarung kann ein Informationsverarbeitungssystem jegliche Instrumentalität oder Zusammenstellung von Instrumentalitäten beinhalten, die zum Rechnen, Klassifizieren, Verarbeiten, Übertragen, Empfangen, Abrufen, Entwickeln, Schalten, Speichern, Anzeigen, Manifestieren, Detektieren, Aufzeichnen, Reproduzieren, Handhaben oder Nutzen von jeglicher Form von Informationen, Intelligenz oder Daten zu geschäftlichen, wissenschaftlichen, Steuerungs- oder anderen Zwecken betriebsfähig sind. Ein Informationsverarbeitungssystem kann beispielsweise ein PC, ein Netzwerkspeichergerät oder jegliches andere geeignete Gerät sein und kann in Größe, Gestalt, Leistung, Funktionalität und im Preis variieren. Das Informationsverarbeitungssystem kann Arbeitsspeicher (RAM), eine(n) oder mehrere Prozessoren oder Verarbeitungsressourcen, wie eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) oder Hardware- oder Softwaresteuerlogik, Nur-Lesespeicher (ROM) und/oder andere Typen von nichtflüchtigem Speicher beinhalten. Im hier verwendeten Sinne kann ein Prozessor einen Mikroprozessor, Mikrocontroller, einen digitalen Signalprozessor (DSP), eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC) oder beliebige andere digitale oder analoge Schaltung umfassen, die dazu konfiguriert ist, Programmanweisungen zu interpretieren und/oder auszuführen und/oder Daten für das assoziierte Werkzeug oder den assoziierten Sensor zu verarbeiten. Zusätzliche Komponenten des Informationsverarbeitungssystems können ein oder mehrere Laufwerke, ein oder mehrere Netzwerkports zur Kommunikation mit externen Geräten sowie verschiedene Eingabe- und Ausgabe-(I/O)-Geräte beinhalten, wie eine Tastatur, eine Maus und eine Videoanzeige. Das Informationsverarbeitungssystem kann auch einen oder mehrere Bussse beinhalten, die zum Übertragen von Kommunikationen zwischen den verschiedenen Hardware-Komponenten betriebsfähig sind.

**[0038]** Wenngleich zahlreiche Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in der vorstehenden Beschreibung und den begleitenden Figuren dargelegt wurden, ist diese Beschreibung nur beispielhaft. Änderungen an Einzelheiten bezüglich der Struktur und der Anordnung, die in dieser Beschreibung nicht ausdrücklich enthalten sind, können jedoch im vollen Schutzzumfang liegen, der durch die Ansprüche angegeben ist.

### Patentansprüche

1. Elektromagnetische Vorrichtung zum Betrieb als mindestens eins von einem Sender und einem Empfänger, umfassend:

ein Gehäuse, das einen Hohlraum definiert;  
ein Septum, das innerhalb des Hohlraums angeordnet ist und sich entlang mindestens eines Teils des Hohlraums erstreckt;  
eine erste Antenne, die innerhalb des Hohlraums angeordnet ist und sich von dem Gehäuse in Richtung einer ersten Seite des Septums erstreckt; und  
eine zweite Antenne, die innerhalb des Hohlraums angeordnet ist und sich von dem Gehäuse in Richtung einer zweiten Seite des Septums erstreckt.

2. Elektromagnetische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Septum und das Gehäuse so geformt sind, dass sie ein erstes elektromagnetisches Signal, das von der ersten Antenne emittiert wird, und ein zweites elektromagnetisches Signal, das von der zweiten Antenne emittiert wird, zu einem kombinierten Signal kombinieren, so dass  
wenn das erste und das zweite elektromagnetische Signal phasengleich sind, sich das kombinierte Signal in einer ersten Ausrichtung befindet und  
wenn das erste und das zweite elektromagnetische Signal phasenverschoben sind, sich das kombinierte Signal in einer zweiten Ausrichtung befindet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die zweite Ausrichtung des kombinierten Signals im Wesentlichen senkrecht zur ersten Ausrichtung des kombinierten Signals ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das kombinierte Signal in der zweiten Ausrichtung ist, wenn das erste und das zweite elektromagnetische Signal um etwa 180° phasenverschoben sind.

5. Elektromagnetische Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Septum und das Gehäuse so geformt sind, dass sie ein eingehendes elektromagnetisches Signal, das in das Gehäuse eintritt, in eine erste und eine zweite Signalkomponente unterteilen und die erste und die zweite Signalkomponente an die erste bzw. die zweite Antenne richten.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei:

die erste und die zweite Antenne die erste und die zweite Signalkomponente in das erste bzw. das zweite elektrische Signal umwandeln,

Addieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals ein erstes kombiniertes Signal bereitstellt, das dem eingehenden elektromagnetischen Signal entspricht, wenn die eingehende elektromagnetische Welle in einer ersten Ausrichtung ist, und

Subtrahieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals ein zweites kombiniertes Signal bereitstellt, das dem eingehenden elektromagnetischen Signal entspricht, wenn die eingehende elektromagnetische Welle in einer zweiten Ausrichtung ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei mindestens eine von der ersten und der zweiten Antenne einen Kern eines Koaxialkabels umfasst.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Hohlraum mit einem dielektrischen Füllstoff gefüllt ist.

9. Dielektrisches Werkzeug, umfassend:

einen Werkzeugkörper;  
mindestens einen Sender, der innerhalb des Werkzeugkörpers angeordnet ist, wobei der Sender Folgendes umfasst:

ein Sendergehäuse, das einen Senderhohlraum definiert;

ein Senderseptum, das innerhalb des Senderhohlraums angeordnet ist und sich entlang mindestens eines Teils des Senderhohlraums erstreckt;

eine erste Senderantenne, die innerhalb des Senderhohlraums angeordnet ist und sich von dem Sendergehäuse in Richtung einer ersten Seite des Senderseptums erstreckt; und

eine zweite Senderantenne, die innerhalb des Senderhohlraums angeordnet ist und sich von dem Gehäuse in Richtung einer zweiten Seite des Senderseptums erstreckt; und

mindestens einen Empfänger, der innerhalb des Gehäuses angeordnet ist, wobei der Empfänger Folgendes umfasst:

ein Empfängergehäuse, das einen Empfängerhohlraum definiert;

ein Empfängerseptum, das innerhalb des Empfängerhohlraums angeordnet ist und sich entlang mindestens eines Teils des Empfängerhohlraums erstreckt;

eine erste Empfängerantenne, die innerhalb des Empfängerhohlraums angeordnet ist und sich von dem Empfängergehäuse in Richtung einer ersten Seite des Empfängerseptums erstreckt; und

eine zweite Empfängerantenne, die innerhalb des Empfängerhohlraums angeordnet ist und sich von dem Gehäuse in Richtung einer zweiten Seite des Empfängerseptums erstreckt;

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die kombinierte Sendewelle das Gehäuse in der zweiten Ausrichtung verlässt, wenn die erste und die zweite elek-

elektromagnetische Welle um ungefähr  $180^\circ$  phasenverschoben sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei:  
der Werkzeugkörper ferner ein bewegliches Kissen umfasst;  
der mindestens eine Sender und der mindestens eine Empfänger in dem ausfahrbaren Arm angeordnet sind; und  
das bewegliche Kissen ausgefahren werden kann, sodass der Sender und der Empfänger an das Bohrloch anliegen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei der mindestens eine Empfänger und der mindestens eine Sender miteinander austauschbar sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, ferner umfassend einen Schalter, der mit dem Sender verbunden ist, wobei ein Betrieb des Schalters steuert, ob das erste elektromagnetische Signal und das zweite elektromagnetische Signal phasengleich oder phasenverschoben sind.

14. Verfahren zum Vermessen von Bohrlochinformationen, umfassend:  
Einsetzen eines dielektrischen Logging-Werkzeugs in ein Bohrloch einer Formation, wobei das dielektrische Logging-Werkzeug einen oder mehrere Sender und einen oder mehrere Empfänger umfasst;  
Kombinieren mindestens eines ersten elektromagnetischen Signals und eines zweiten elektromagnetischen Signals innerhalb des einen oder der mehreren Sender, um ein kombiniertes elektromagnetisches Signal zu bilden;  
Emittieren des kombinierten elektromagnetischen Signals in die Formation; und  
Empfangen des kombinierten elektromagnetischen Signals an dem einen oder den mehreren Empfängern.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei:  
das kombinierte elektromagnetische Signal in einer ersten Ausrichtung ist, wenn das erste elektromagnetische Signal und das zweite elektromagnetische Signal phasengleich sind; und  
das kombinierte elektromagnetische Signal in einer zweiten Ausrichtung ist, wenn das erste elektromagnetische Signal und das zweite elektromagnetische Signal phasenverschoben sind und die zweite Ausrichtung im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Ausrichtung ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das kombinierte elektromagnetische Signal in der zweiten Ausrichtung ist, wenn das erste elektromagnetische Signal und das zweite elektromagnetische Signal um ungefähr  $180^\circ$  phasenverschoben sind.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei ein Schalter verwendet werden kann, um zu bewirken, dass das erste und das zweite elektromagnetische Signal phasengleich oder phasenverschoben sind.

18. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Empfangen des kombinierten elektromagnetischen Signals am Empfänger ferner Folgendes umfasst:  
Aufteilen des kombinierten elektromagnetischen Signals in mindestens eine erste Komponente und eine zweite Komponente;  
Empfangen der ersten Komponente mit einer ersten Antenne, um ein erstes elektrisches Signal zu erzeugen und Empfangen der zweiten Komponente mit einer zweiten Antenne, um ein zweites elektrisches Signal zu erzeugen; und  
Kombinieren des ersten elektrischen Signals und des zweiten elektrischen Signals, um ein kombiniertes elektrisches Signal zu erzeugen.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei:  
Kombinieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals durch Addieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals ein kombiniertes elektrisches Signal erzeugt, das einem elektromagnetischen Signal in einer ersten Ausrichtung entspricht; und  
Kombinieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals durch Subtrahieren des ersten und des zweiten elektrischen Signals ein kombiniertes elektrisches Signal erzeugt, das einem elektromagnetischen Signal in einer zweiten Ausrichtung entspricht.

20. Verfahren nach Anspruch 18, ferner umfassend Analysieren von Charakteristiken des kombinierten Signals, um Änderungen an dem kombinierten elektromagnetischen Signal zu ermitteln, während es sich zwischen dem Sender und dem Empfänger bewegt.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

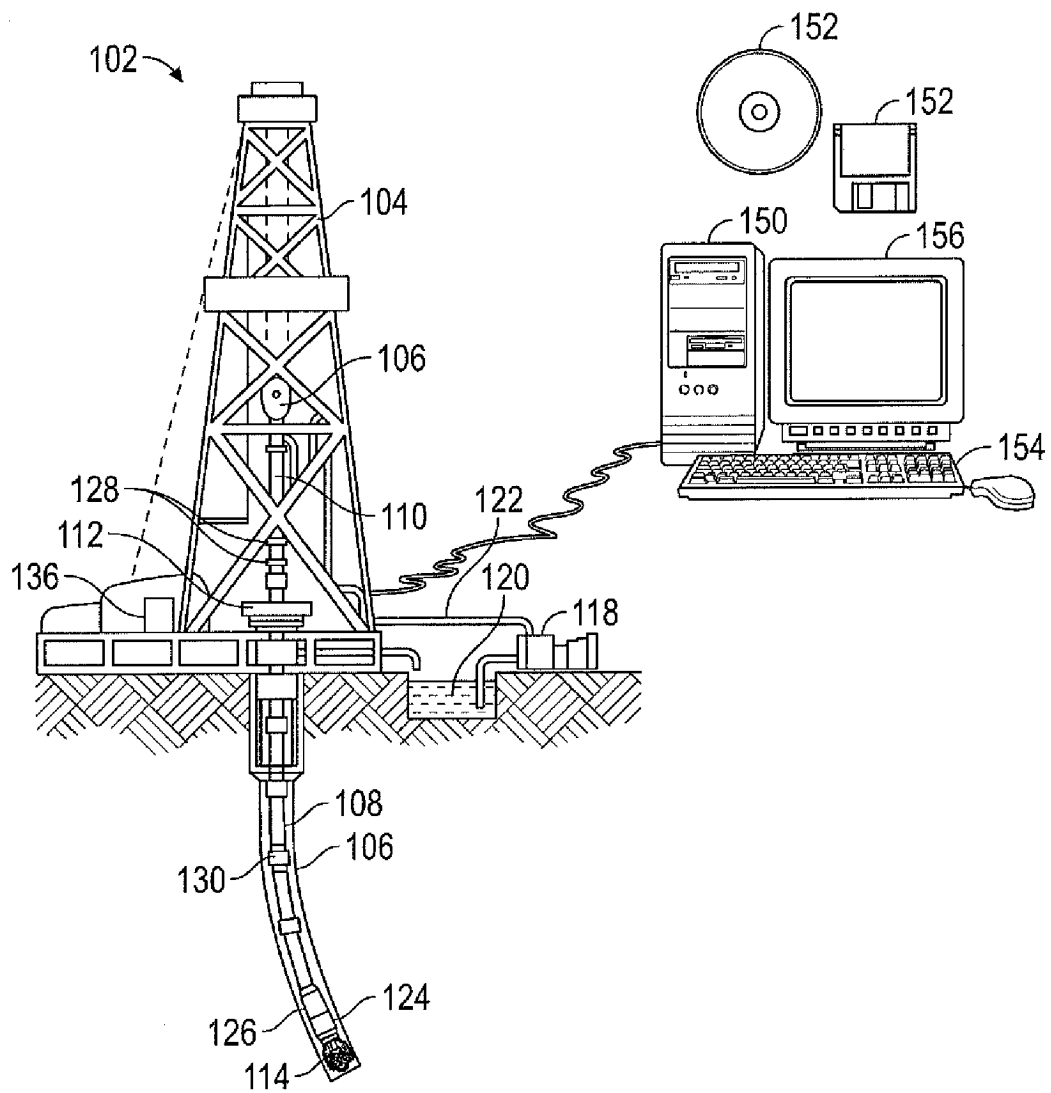


FIG. 1

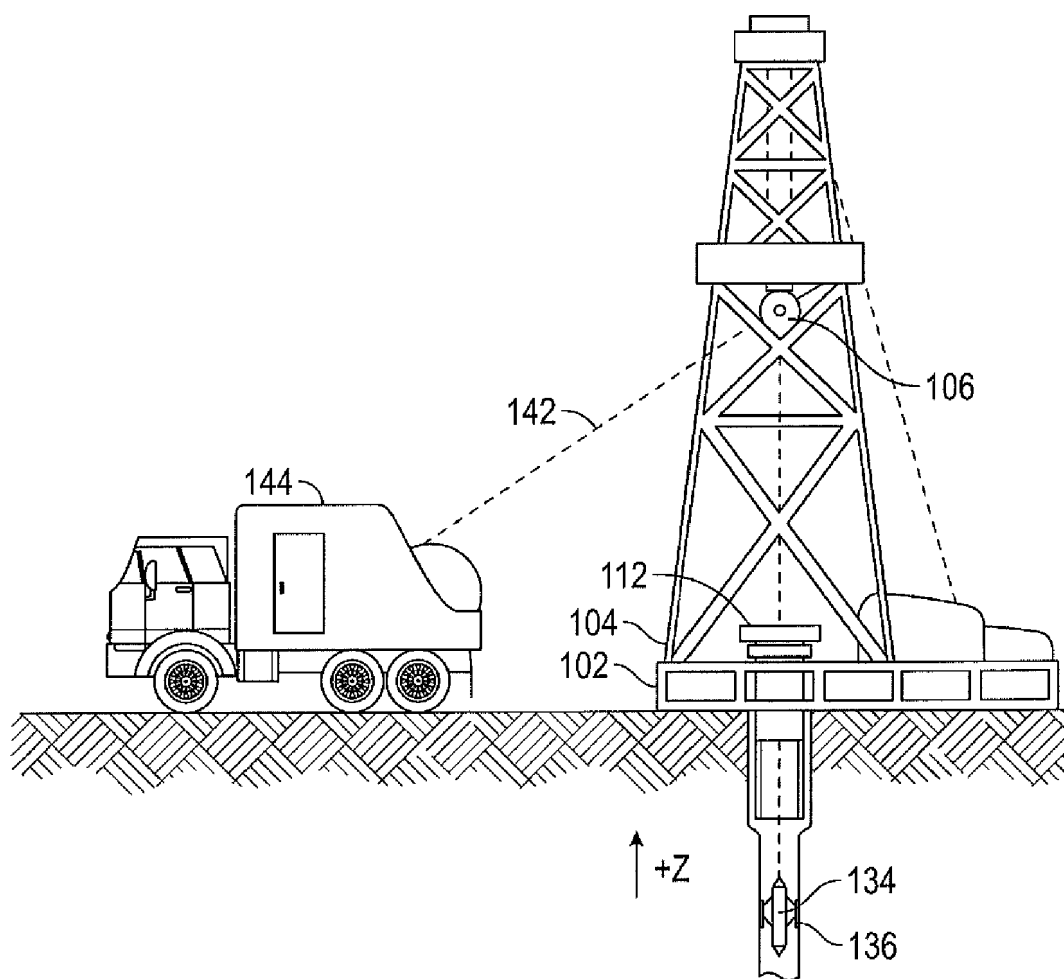


FIG. 2

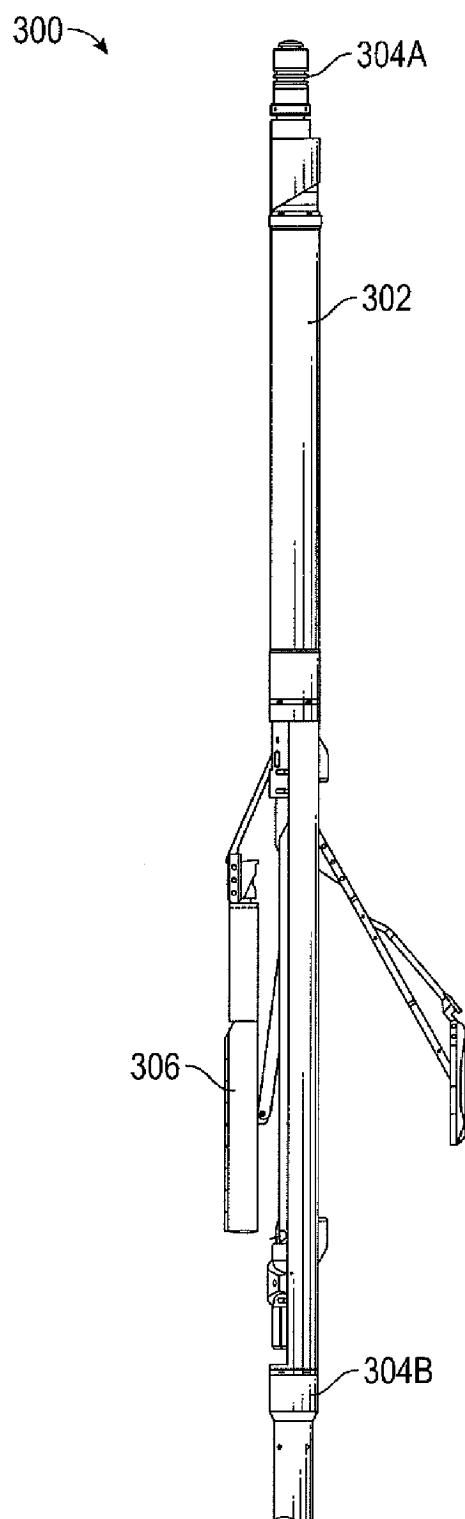


FIG. 3

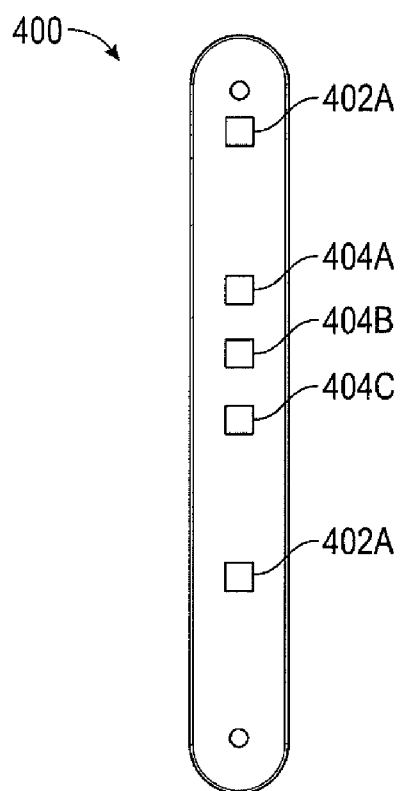


FIG. 4

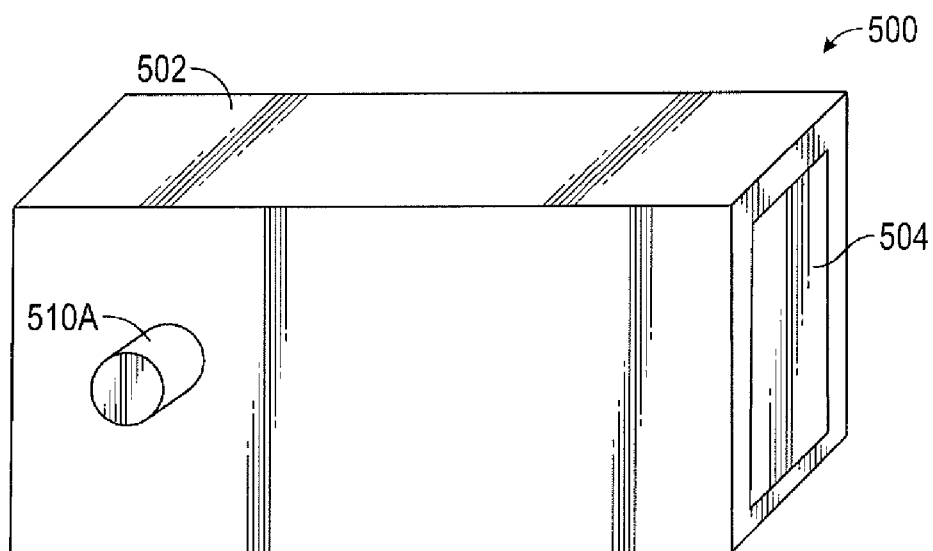


FIG. 5A

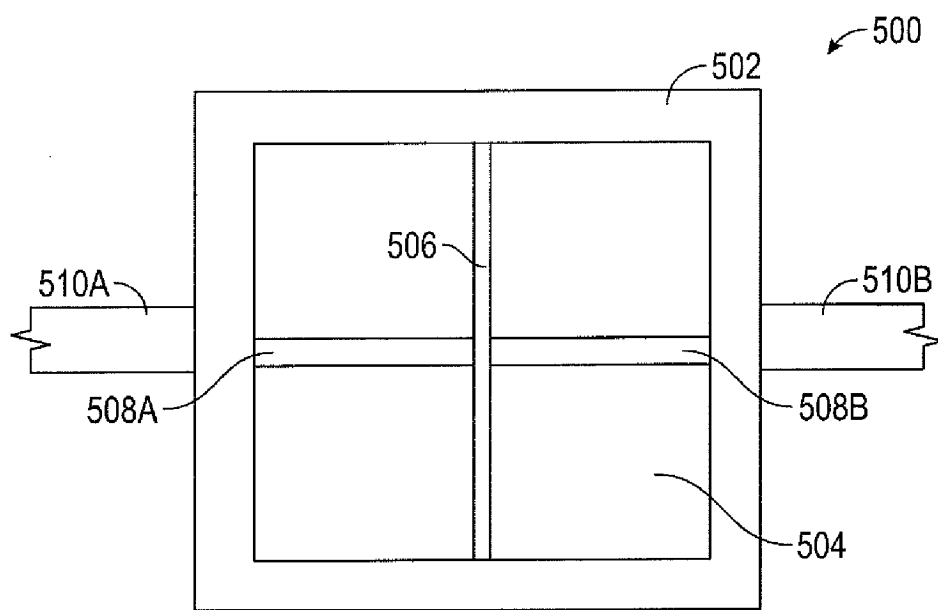


FIG. 5B

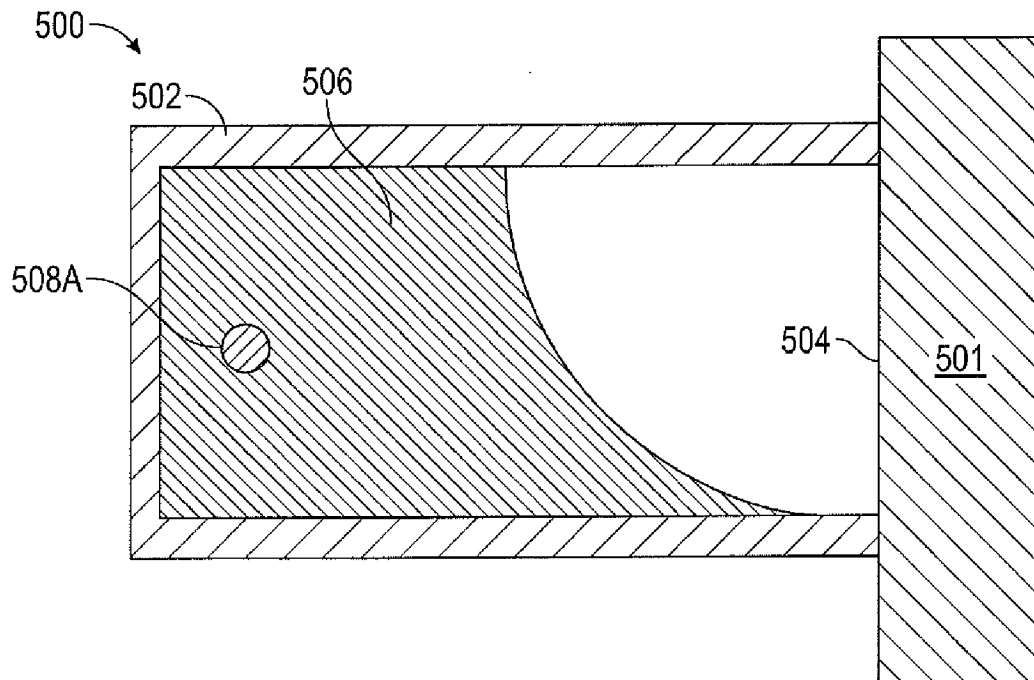


FIG. 5C

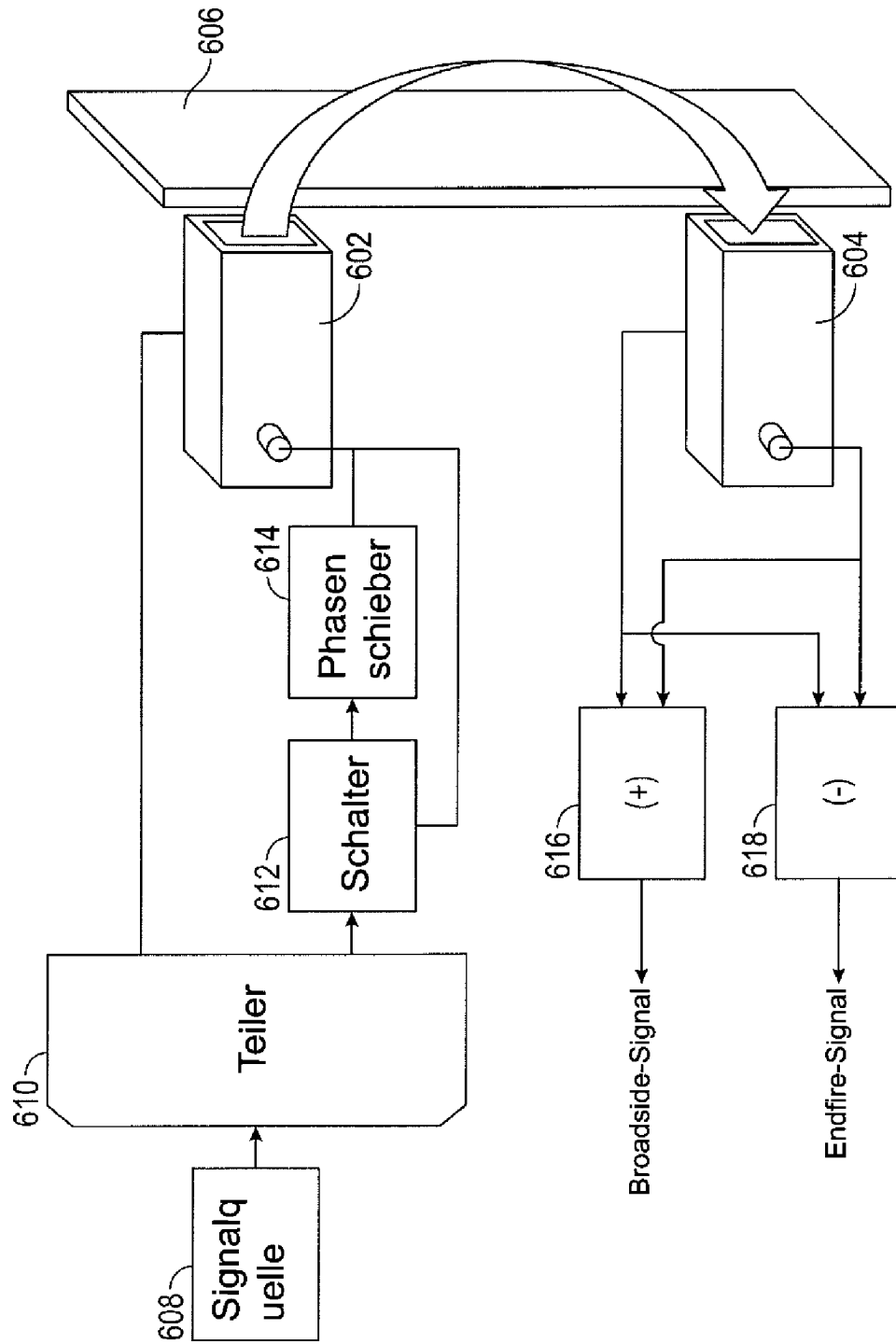


FIG. 6