

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Januar 2015 (08.01.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/000452 A1

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01S 13/32 (2006.01) *G01S 13/36* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2013/000342
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
1. Juli 2013 (01.07.2013)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (71) **Anmelder:** BALLUFF GMBH [DE/DE];
Schurwaldstrasse 9, 73765 Neuhausen a. d. F. (DE).
- (72) **Erfinder:** FERICEAN, Sorin; Glemseckstrasse 34, 71229 Leonberg (DE). EBERSPÄCHER, Mark; Carl-Orff-Strasse 2, 72636 Frickenhausen (DE).
- (74) **Anwälte:** JAKELSKI, Joachim et al.; Jakelski & Althoff, Mollenbachstrasse 37, 71229 Leonberg (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** PROXIMITY SENSOR AND METHOD FOR MEASURING THE DISTANCE FROM AN OBJECT

(54) **Bezeichnung:** NÄHERUNGSSENSOR UND VERFAHREN ZUR MESSUNG DES ABSTANDS EINES OBJEKTS

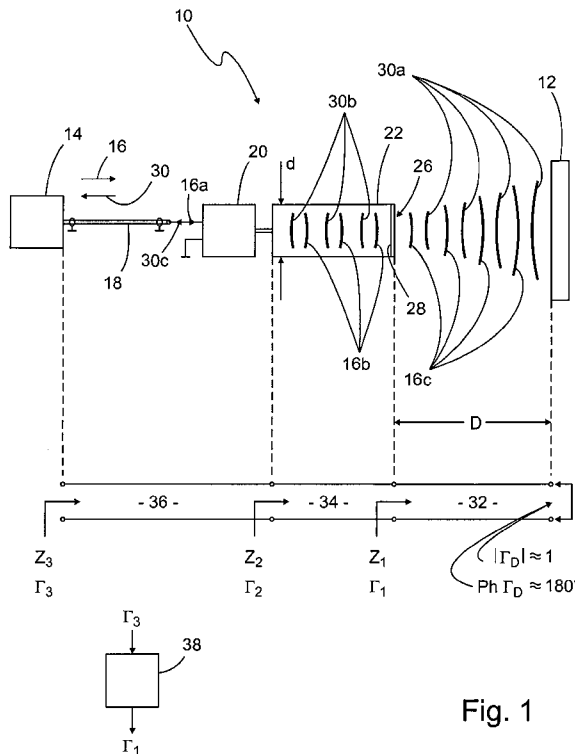


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a proximity sensor (10) and to a method for measuring the distance (D) from an object (12). The proximity sensor (10) contains a microwave oscillator (52) which provides, as an output signal (54), a transmission wave (16) which is emitted by the proximity sensor (10) in the direction of the object (12) as a free space transmission wave (16c) which is reflected by the object (12), which is electrically conductive or has at least one electrically conductive surface, as a free space reflection wave (30a) and is received by the proximity sensor (10) as a reflection wave (30), wherein the reflection coefficient (Γ) is determined from the transmission wave (16) and the reflection wave (30) and is provided by the proximity sensor (10) as a measure of the distance (D). The proximity sensor (10) according to the invention and the method according to the invention are distinguished by the fact that the transmission wave (16) is guided in a waveguide (22) as a waveguide transmission wave (16b), that the transmission wave (16) is injected into the waveguide (22) with a wave mode which results in the waveguide transmission wave (16b) being separated at the aperture (26) at the front end of the waveguide (22) into the free space transmission wave (16c) and in the free space transmission wave (16c) propagating to the object (12).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2015/000452 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft einen Näherungssensor (10) und ein Verfahren zur Messung des Abstands (D) eines Objekts (12). Der Näherungssensor (10) enthält einen Mikrowellenoszillator (52), der als Ausgangssignal (54) eine Sendewelle (16) bereitstellt, welche der Näherungssensor (10) in Richtung auf das Objekt (12) als Freiraum-Sendewelle (16c) abstrahlt, die das Objekt (12), welches elektrisch leitfähig ist oder zumindest eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist, als Freiraum-Reflexionswelle (30a) reflektiert und der Näherungssensor (10) als Reflexionswelle (30) empfängt, wobei eine Ermittlung des Reflexionsfaktors (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) vorgesehen ist, welchen der Näherungssensor (10) als ein Maß für den Abstand (D) bereitstellt. Der erfindungsgemäße Näherungssensor (10) und das erfindungsgemäße Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass die Sendewelle (16) in einem Hohlleiter (22) als Hohlleiter-Sendewelle (16b) geführt ist, dass die Einkopplung der Sendewelle (16) in den Hohlleiter (22) mit einem Wellenmode vorgesehen ist, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle (16b) an der Apertur (26) am vorderen Ende des Hohlleiters (22) in die Freiraum-Sendewelle (16c) und zur Propagierung der Freiraum-Sendewelle (16c) zum Objekt (12) führt.

5

10 **Titel****Näherungssensor und Verfahren zur Messung des Abstands eines Objekts**

15 Die Erfindung geht aus von einem Näherungssensor und einem Verfahren zur Messung des Abstands eines Objekts nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

20 In der Patentschrift EP 1 000 314 B1 wird eine kreiszylindrische Abstandsmessvorrichtung beschrieben, die auf der Ermittlung der Resonanzfrequenz eines Hohlraumresonators beruht. Der Resonator wird aus dem Resonatorgehäuse und dem zu detektierenden Objekt gebildet. Die physikalische Resonatorlänge setzt sich dabei aus der Länge des Resonatorgehäuses und dem Abstand zum Objekt zusammen. Wird eine Mindestgröße des zu detektierenden Objekts überschritten, ist die
25 Resonanzfrequenz unmittelbar mit der Länge des Resonators verknüpft, woraus auf den Objektabstand geschlossen werden kann. Die genaue Abhängigkeit zwischen Resonatorlänge und Resonanzfrequenz hängt von der vorliegenden Feldverteilung und somit vom verwendeten Hohlleiter-Wellenmode ab. Als entscheidender
30 Faktor beim Entwurf geht dabei die elektrische Permittivität der Hohlleiterfüllung mit ein. Nimmt dieser Wert zu, verkleinern sich einerseits sowohl die Baulänge des

Resonators als auch der benötigte Querschnitt aber andererseits verringert sich auch mit zunehmender Permittivität die Reichweite der Abstandsmessvorrichtung.

Bei dem beschriebenen Konzept wird als Resonatorrückwand ein metallisiertes Dielektrikum vorgesehen, auf dem sich auf der Außenseite die Auswertelektronik befindet. Zur Ankopplung der Elektronik an den Resonator wird entweder eine koplanare Schlitzkopplung oder eine Mikrostreifenleitung vorgeschlagen. Die Einkopplung mittels Mikrostreifenleitung ist vor allem dann hilfreich, wenn die Auswertelektronik vom Resonator abgesetzt montiert werden soll, beispielsweise aus Gründen der thermischen Entkopplung. Zusätzlich können entweder ein oder zwei Koppelstellen realisiert werden, je nachdem ob der Resonator im Transmissions- oder im Reflexionsbetrieb verwendet werden soll.

Zur Bestimmung der Resonanzfrequenz enthält die Auswertelektronik einen einstellbaren Oszillator, dessen Frequenz innerhalb einer gewissen Bandbreite linear durchgestimmt und der resultierende Reflexions- bzw. Transmissionsfaktor des Resonators beobachtet wird. In der Umgebung einer Resonanzfrequenz weisen diese Faktoren starke Variationen auf, die sich systematisch durch Differenzieren nach der Frequenz erkennen lassen. Da schaltungstechnisch durch die Ansteuerung ein linearer Zusammenhang zwischen Frequenz und Zeit besteht, kann die Ableitung nach der Frequenz mittels einer Ableitung nach der Zeit erhalten werden. Übersteigt die so gewonnene zweite Ableitung eine vorgegebene Schwelle, ist eine Resonanz erkannt und die Frequenz wird nicht weiter verstimmt, sondern konstant gehalten und ihr aktueller Wert mittels eines Frequenzzählers ermittelt.

Als alternativer Ansatz zur Frequenzbestimmung wird in der Patentschrift EP 1 000 314 B1 ein Konzept auf Basis einer geschlossenen Phasenregelschleife (PLL) vorgeschlagen. Hierbei wird die Sollfrequenz über einen direkten digitalen Synthesizer (DOS) als Führungsgröße der PLL vorgegeben. Erkennt nun die Detektionsschaltung eine Resonanz, ist die Frequenz durch die Einstellungen des di-

gitalen Synthesizers unmittelbar bekannt, wodurch die Zyklusdauer einer Messung deutlich verkürzt werden kann.

Unabhängig davon, wie die Resonanzfrequenz ermittelt wird, ist bei diesem Resonatorverfahren die Tatsache nachteilig, dass der zu erfassende Abstandsbereich unmittelbar die benötigte Bandbreite der Betriebsfrequenz vorgibt. Für industrielle Sensoren ist die nutzbare Bandbreite fest vorgegeben und somit auch der Abstandsbereich.

Ungeachtet der zulässigen ISM-Bänder (Industrial, Scientific and Medical Band) wird ein Frequenzbereich für den Betrieb zwischen 1 – 100 GHz vorgeschlagen, wobei die Bandbreite ungefähr 2 GHz bzw. 10 % betragen soll. Zusätzlich erweist es sich als schwierig, mit diesem Resonator-konzept große Abstandsbereiche realisieren zu können. Grund hierfür ist zum einen, dass bei größer werdenden Abständen die Änderungen der Resonanzfrequenz kleiner werden. Zusätzlich führt die kleiner werdende Güte des Resonators nur noch zu schwach ausgeprägten Minima in den Reflexions- bzw. Transmissionsfaktoren, wodurch die Detektion der zugehörigen Resonanzfrequenzen fehleranfällig wird. Dies ist ersichtlich, wenn die Lage der Resonanzfrequenz in der komplexen Frequenz-Ebene veranschaulicht wird. Mit abnehmender Güte entfernt sich die komplexe Eigenfrequenz von der ω -Achse, wodurch beim Verstimmen des Oszillators keine Singularität mehr durchlaufen werden kann. Die begrenzte Reichweite ist zusätzlich durch die Wahl des verwendeten TE₀₁-Modes bedingt, da die Feldverteilung um den Hohlleiter in diesem Fall vorwiegend evaneszente Wellen aufweist, die schnell mit zunehmender Entfernung abklingen.

In dem Fachbeitrag von S. Bonerz, W. Bechteler, J. Greif, „Sensorsystem zur Überwachung der Werkzeugplananlage auf Basis von Keramikresonatoren und Hohlleiterstrukturen“, ANSYS Conference and 29th CADFEM Users Meeting, 19. – 21. Oktober 2011, wurde ein Verfahren vorgestellt, bei dem die Ermittlung eines Abstands eines Objekts von einem Abstandssensor ebenfalls auf Grundlage eines Hohlleiterresonators basiert. Auch hier bestimmt der zu messende Abstand die

Länge eines Resonators und somit dessen Resonanzfrequenz. Der verwendete Hohlleiter-Wellenmode ist hier der Grundmode TE₁₁ eines kreiszylindrischen Hohlleiters. Die Resonanzfrequenz wird durch einen Frequenzsweep mittels einer Messung der aufgenommenen Wirkleistung des Resonators ermittelt.

5

In dem Fachbeitrag von T. F. Bechteler, A. S. A. Bechteler, "The Groove-Guide Oscillator," IEEE Microwave Magazine, Vol. 12, No. 6, Seiten 110 – 119, Okt. 2011, ist ein Abstandsmessverfahren auf Grundlage eines sogenannten Groove-Guide Oscillators beschrieben, das ebenfalls einem Resonator-konzept entspricht. Obwohl auch hier das Problem der Abstandsmessung auf die Ermittlung von Eigenfrequenzen eines Resonators zurückgeführt wird, unterscheidet sich jedoch dieses System sowohl im Aufbau des Resonators als auch in der vorgeschlagenen Ermittlung der Resonanzfrequenz grundlegend von dem in der Patentschrift EP 1 000 314 B1 beschriebenen Lösungsansatz. Kernstück des bekannten Abstandensensors bildet ein Groove-Guide Oscillator. Prinzipiell versteht man in der Mikrowellentechnik unter einem Groove-Guide einen Wellenleiter, der zwei gegenüber liegende Platten enthält, in die jeweils in Ausbreitungsrichtung eine Kerbe mit rechteckigem Querschnitt eingebracht ist. Die gesamte Anordnung ist symmetrisch bezüglich einer Ebene, deren Normale mit der Verbindungslinie beider Platten zusammenfällt. In dem Raum, der sich durch die Kerben und die leitenden Platten ergibt, können in Richtung der Kerbe ausbreitungsfähige Wellenmoden existieren. Aufgrund der geforderten Symmetrie und der starken Abhängigkeit der Ausbreitungseigenschaften vom Plattenabstand, stellt dieser Wellenleiter hohe Anforderung an die Fertigungsgenauigkeit.

10

15

20

25

Wesentlich einfacher ist die Fertigung eines alternativ einsetzbaren „halbsymmetrischen“ Wellenleiters, bei dem die eine Hälfte der Anordnung vollständig durch eine leitende Ebene ersetzt wird.

30

Die auch bei den beschriebenen Wellenleitern vorhandene Abhängigkeit der Ausbreitungskonstanten vom Abstand zum Objekt, wird zur Ermittlung des Abstands

herangezogen. Dabei wird zur Realisierung eines Resonators die Kerbe nicht mehr gerade, sondern kreisförmig eingebracht, damit eine kreisförmige Leiterschleife entsteht. Eine Resonanz ergibt sich genau dann, wenn ein ganzzahliges Vielfaches der geführten Wellenlänge gerade dem Leiterumfang entspricht. Da die geführte Wellenlänge eine Funktion des Plattenabstandes und der Frequenz ist, kann die Resonanzbedingung innerhalb einer gewissen Bandbreite für verschiedene Abstände erfüllt und daraus die Information über den Abstand erhalten werden.

Der Oszillator wird mittels eines Gunn-Elements angeregt, wodurch der Oszillator auf seiner Eigenfrequenz schwingt. Die Frequenzbestimmung erfolgt dann durch ein Heterodynsystem, bei dem die heruntergemischte Eigenfrequenz einem Frequenzzähler zugeführt wird. Konstruktionsbedingt weist der beschriebene Abstandssensor eine große Baugröße auf, da der Durchmesser des Resonators verhältnismäßig groß gewählt werden muss, um die Strahlungsverluste in radialer Richtung klein zu halten. Der Durchmesser des beschriebenen Resonators beträgt für den Betrieb zwischen 8 – 12 GHz 60 mm bei einer Plattengröße von 200 mm x 200 mm. Der damit erzielte Messbereich erstreckt sich von 13 – 15 mm. Wird der Plattenabstand weiter vergrößert, können im betrachteten Frequenzbereich höhere Wellenmoden auftreten, wodurch Mehrdeutigkeit entsteht.

In der Patentschrift DE 10 2010 009 664 A1 ist ein Abstandssensor beschrieben, der einerseits zur Überwachung des Abstands zwischen einer Arbeitsspindel einer Werkzeugmaschine und dem stationären Teil der Werkzeugmaschine und andererseits zur Kontrolle einer Werkzeugplananlage eingesetzt wird. Zusätzlich sind Rückschlüsse auf die Drehzahl der Arbeitsspindel und die Qualität der Spindellager möglich.

Der Abstandssensor enthält eine Hochfrequenzleitung, die mit einem Oszillator und mit einer Reflexionsmesseinrichtung verbunden ist. Die Position der Arbeitsspindel relativ zu der Hochfrequenzleitung beeinflusst das Reflexionsverhalten, sodass aus dem ermittelten Reflexionsfaktor auf den Abstand geschlossen werden kann. Die

Hochfrequenzleitung ist beispielsweise als Mikrostreifenleitung realisiert, die aus flexiblem Material hergestellt ist, welches durch Klebung auf der Oberfläche des stationären Teils der Werkzeugmaschine befestigt wird.

5 Ein von einem Oszillator bereitgestelltes hochfrequentes Sendesignal wird in die Hochfrequenzleitung eingekoppelt. Ein Teil des Sendesignals wird von einem ersten Richtkoppler ausgekoppelt und einem ersten Leistungsdetektor zugeführt. Der überwiegende Teil des Sendesignals wird nach dem Durchlaufen eines zweiten Richtkopplers in die Hochfrequenzleitung eingespeist.

10

Das vom Objekt zurückgestrahlte Reflexionssignal überlagert sich dem Sendesignal. Ein Teil des Reflexionssignals wird vom zweiten Richtkoppler ausgekoppelt und einem zweiten Leistungsdetektor zugeführt. Die beiden Leistungsdetektoren sind mit einer Auswerteeinheit verbunden, welche das Verhältnis der beiden Leistungen, das heißt den Reflexionsfaktor ermittelt und ausgibt, woraus ein Maß für den Abstand des Objekts angegeben werden kann.

15

Zusätzlich kann noch ein dielektrischer Resonator vorgesehen sein, der ein ausgeprägtes Resonanzverhalten des Abstandssensors bewirkt. Eine Veränderung des Abstandes des Objekts von dem dielektrischen Resonator hat eine Verschiebung der Resonanzfrequenz des dielektrischen Resonators zur Folge. Die Ermittlung des Abstandes des Objekts kann dann zusätzlich oder alternativ auf die Bewertung der Frequenzänderung gestützt werden.

20

25 In dem Fachbeitrag von C. Nguyen, S. Kim, Theory, „Analysis and Design of RF Interferometric Sensors“, Springer-Verlag 2012 ist ein interferometrisches Verfahren zum Betreiben eines Abstandssensors beschrieben. Zur Gewinnung der Abstandsinformation wird bei diesen Verfahren die Phasenverschiebung zwischen einem gesendeten und dem empfangenen Signal ausgewertet. Hierbei können Abstände zwischen dem Abstandssensor und dem Objekt, die größer sind als die halbe Wellenlänge des Signals nicht mehr eindeutig aus der Phasenlage erkannt wer-

30

den. Im Fachbeitrag wird vorgeschlagen, eine eindeutige Phaseninformation mittels Algorithmen der Signalverarbeitung zu erhalten. Allerdings ist es hierzu notwendig, dass das Objekt vom Ursprung aus an die zu messende Position verschoben wird, wobei die Phase kontinuierlich aufgezeichnet wird. Ein absolut messender Abstandssensor kann damit nicht realisiert werden.

In dem Fachbeitrag von A. Stelzer et. al. „A Microwave Position Sensor with Sub-millimeter Accuracy“, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol. 47, No. 12, Dezember 1999, ist ein Hybridverfahren beschrieben, bei dem das interferometrische Verfahren mit bekannten Radarverfahren, beispielsweise dem FMCW-Verfahren (Frequency Modulation Continuous Wave) kombiniert wird. Obwohl ein solches Verfahren wieder eine eindeutige Abstandsbestimmung ermöglicht, kann das Verfahren nicht ohne Weiteres zum Ersetzen von bekannten induktiven Abstandssensoren im industriellen Umfeld herangezogen werden. Der Hauptgrund liegt darin, dass typischerweise der minimal mögliche Messabstand über die Bandbreite der Betriebsfrequenz bestimmt wird, sodass nicht bis zur Position null gemessen werden kann. Weiterhin müssen geltende Vorschriften betreffend Emissionen von elektromagnetischer Strahlung beachtet werden. Ein Betrieb ist nur innerhalb eines ISM-Bandes möglich, weshalb nicht frei über die Bandbreite und den daraus resultierenden Minimalabstand entschieden werden kann. Beispielsweise ergibt sich für ein Standardsystem bei der vollen Ausnutzung der zulässigen Bandbreite von 250 MHz des ISM-Bandes bei 24 GHz ein Minimalabstand von 60 cm.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Näherungssensor und ein Verfahren zur Messung des Abstands eines Objekts mit einem weiten Erfassungsbereich anzugeben, die darüber hinaus nahezu unabhängig von der Permeabilität des zu erfassenden metallischen Objekts sind.

Die Aufgabe wird durch die in den unabhängigen Ansprüchen angegebenen Merkmale jeweils gelöst.

Offenbarung der Erfindung

Die Erfindung geht aus von einem Näherungssensor zur Messung des Abstands eines Objekts vom Näherungssensor. Der Näherungssensor enthält einen Mikro-

5 wellenoszillator, der als Ausgangssignal eine Sendewelle bereitstellt, welche der Näherungssensor in Richtung auf das Objekt als Freiraum-Sendewelle abstrahlt, die das Objekt, welches elektrisch leitfähig ist oder zumindest eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist, als Freiraum-Reflexionswelle reflektiert und der Nähe-

10 rungssensor als Reflexionswelle empfängt, wobei eine Ermittlung des Reflexionsfaktors aus der Sendewelle und der Reflexionswelle vorgesehen ist, welchen der Näherungssensor als ein Maß für den Abstand bereitstellt. Der erfindungsgemäße Näherungssensor zeichnet sich dadurch aus, dass die Sendewelle in einem Hohl-

15 leiter als Hohlleiter-Sendewelle geführt ist, dass die Einkopplung der Sendewelle in den Hohlleiter mit einem Wellenmode vorgesehen ist, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle an der Apertur am vorderen Ende des Hohlleiters in die Freiraum-Sendewelle und zur Propagierung der Freiraum-Sendewelle zum Objekt führt.

Der erfindungsgemäße Näherungssensor bietet gegenüber beispielsweise induktiven Näherungssensoren einen erheblich breiteren Messbereich, der um bis zu ei-

20 nem Faktor 10 größer sein kann, sowie einen größeren Linearitätsbereich.

Mit dem erfindungsgemäßen Näherungssensor können beispielsweise gegenüber einem Näherungssensor nach dem Standard-Radarprinzip, das prinzipbedingt einen Blindbereich von null bis zu einem Mindestabstand aufweist, sehr geringe Ab-

25 stände im Bereich von null bis zu wenigen Zentimetern erfasst werden.

Gegenüber einem Näherungssensor, der eine charakteristische Resonanzeigenschaft ausnutzt, entfällt das teilweise zeitintensive Suchen einer Resonanzfrequenz und die Bandbreite ist unabhängig vom Abstands-Messbereich, wobei ein sehr

30 schmalbandiger Betrieb oder sogar ein Betrieb mit der Bandbreite von null möglich ist.

Aufgrund des Wegfalls einer Modulation der Sendewelle und Wegfall des diskontinuierlichen Betriebs des Mikrowellenoszillators beansprucht der erfindungsgemäße Näherungssensor nur eine geringe Hochfrequenz-Bandbreite. Möglich ist daher sogar die Bandbreite null. Dadurch hält der erfindungsgemäße Näherungssensor problemlos die geltenden EMV-Vorschriften ein.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Näherungssensors liegt darin, dass das Messergebnis weitgehend unabhängig von der Permeabilität des Objekts ist.

Mit Blick auf die Fertigung ist es von Vorteil, dass der erfindungsgemäße Näherungssensor in StandardbaufORMen von bekannten induktiven Näherungssensoren realisiert werden kann.

Die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Näherungssensors mit einem Hohlleiter, in welchen die Einkopplung der Sendewelle mit einem Wellenmode vorgesehen ist, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle an der Apertur am vorderen Ende des Hohlleiters in eine Freiraum-Sendewelle und zu Propagierung der Freiraum-Sendewelle zum Objekt führt, ermöglicht einerseits die Beeinflussung der Ausbreitungsrichtung der abgestrahlten Freiraum-Sendewelle und andererseits eine Bereitstellung der Sendewelle mit einer möglichst niedrigen Leistung.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Näherungssensors sind jeweils Gegenstände von abhängigen Vorrichtungsansprüchen.

Eine propagierende Freiraum-Sendewelle wird mit der vergleichsweise einfachen Anregung des dem Rundhohlleiter zugehörigen TE₁₁-Modes der Hohlleiter-Sendewelle erzielt.

Der Hohlleiter kann prinzipiell rechteckförmig oder kreiszylindrisch ausgestaltet

sein. Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass der Hohlleiter kreiszylindrisch ausgestaltet ist. Dadurch kann der erfindungsgemäße Näherungssensor mit vorhandenen Bauteilen der bekannten induktiven Näherungssensoren kostengünstig realisiert werden. Weiterhin ist ein unmittelbarer Austausch eines herkömmlichen induktiven Sensors gegen den erfindungsgemäßen Näherungssensor möglich, ohne dass Änderungen an der Messapparatur vorgenommen werden müssen.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Näherungssensors sieht vor, dass an der Apertur am vorderen Ende des Hohlleiters ein dielektrisches Fenster vorgesehen ist. Das dielektrische Fenster verhindert das Eindringen von Schmutz in den Hohlleiter. Alternativ oder insbesondere zusätzlich kann der gesamte Hohlleiter mit einem dielektrischen Material gefüllt sein. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, einen vorzugsweise vorhandenen Wellentypwandler unmittelbar im Hohlleiter zu fixieren.

Die Einkopplung der Sendewelle mit seinem vorgegebenen Wellenmode wird am einfachsten mit einem Wellentypwandler erzielt, der die Leitungs-Sendewelle in die Hohlleiter-Sendewelle umsetzt.

Zum Ermitteln eines Maßes für den Abstand aus dem Reflexionsfaktor ist ein Quadraturmischer oder alternativ die 6-Tor-Technik aufgrund der Verfügbarkeit als fertige technische Lösungen besonders vorteilhaft einzusetzen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Messung des Abstands eines Objekts, bei dem ein Ausgangssignal eines Mikrowellenoszillator als eine Sendewelle bereitgestellt wird, welche in Richtung auf das Objekt als Freiraum-Sendewelle abgestrahlt wird, welche vom Objekt, welches elektrisch leitfähig ist oder zumindest eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist, als Freiraum-Reflexionswelle reflektiert wird und als Reflexionswelle empfangen wird, wobei der Reflexionsfaktor aus der Sendewelle und der Reflexionswelle ermittelt und als ein Maß für den Abstand bereitgestellt wird, zeichnet sich dadurch aus, dass die Sendewelle in einem Hohlleiter

als Hohlleiter-Sendewelle geführt wird, dass die Einkopplung der Sendewelle in den Hohlleiter mit einem Wellenmode vorgenommen wird, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle an der Apertur am vorderen Ende des Hohlleiters in die Freiraum-Sendewelle und zur Propagierung der Freiraum-Sendewelle zum Objekt führt.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren kann alternativ auch als ein Verfahren zum Betreiben des erfindungsgemäßen Näherungssensors bezeichnet werden. Daher liegen die bereits zu dem erfindungsgemäßen Näherungssensor vorgetragenen Vorteile auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vor.

10

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung des Abstands eines Objekts sind jeweils Gegenstände von abhängigen Verfahrensansprüchen.

15

Vorteilhafterweise wird als Wellenmode der dem Rundhohlleiter zugehörigen TE₁₁-Mode vorgesehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Ermittlung des Abstands bei nur einer Frequenz der Sendewelle und nur einem vorgegebenen Wellenmode.

20

Eine alternative oder zusätzliche Ausgestaltung sieht vor, dass zur Ermittlung des Abstands eine Abstimmung des Mikrowellenoszillators alternierend auf wenigstens zwei unterschiedliche Frequenzen der Sendewelle vorgenommen wird. Damit kann die Ermittlung des Abstands bei wenigstens zwei unterschiedlichen Frequenzen der Sendewelle und bei einem einzigen Wellenmode vorgenommen werden.

25

Eine Ausgestaltung sieht vor, dass zur Einkopplung der Sendewelle in den Hohlleiter alternierend zum ersten Wellenmode wenigstens ein zweiter Wellenmode vorgesehen wird.

30

Mit dieser Maßnahme ist gemäß einer anderen Alternative oder gemäß einer zusätzlichen Ausgestaltung vorgesehen, dass die Ermittlung des Abstands bei einer einzigen Frequenz der Sendewelle und wenigstens bei zwei unterschiedlichen Wellenmoden vorgenommen wird.

5

Bei dieser Ausgestaltung ist beispielsweise wenigstens ein solcher weiterer Wellenmode vorgesehen, der zu einer vorwiegend evaneszenten Feldverteilung vor dem Hohlleiter führt, die sich deutlich von der propagierenden Freiraum-Sendewelle unterscheidet, sodass der Unterschied möglichst groß ist. Besonders geeignet ist hierfür der dem Rundhohlleiter zugehörigen TM₀₁-Mode.

10

Durch die beschriebenen Ausgestaltungen wird die Ermittlung des Abstands auf wenigstens zwei unterschiedlichen Arten möglich, sodass die auf die unterschiedlichen Arten ermittelten Ergebnisse plausibilisiert und/oder Eindeutigkeit hergestellt werden kann.

15

Ein unmittelbares Maß für den Abstand des Objekts von der Apertur des Hohlleiters wird anhand einer Rückrechnung des ermittelten Reflexionsfaktors aus der Sendewelle und der Reflexionswelle auf den an der Apertur des Hohlleiters auftretenden Reflexionsfaktor erhalten. Die Rückrechnung erfolgt bevorzugt mit einer konformen Abbildung, welche winkelerhaltend ist, sodass die wesentliche Phaseninformation nicht verloren geht.

20

Hierbei kann bereits allein aus der Phase des Reflexionsfaktors das Maß für den Abstand gewonnen werden. Vorzugsweise wird weiterhin der Betrag des Reflexionsfaktors berücksichtigt. Insbesondere kann dann eine eindeutige Ermittlung des Abstands aus der Phase des Reflexionsfaktors anhand des Betrags des Reflexionsfaktors gewonnen werden, wenn innerhalb des vorgegebenen Messbereichs Mehrdeutigkeit der Phase des Reflexionsfaktors vorliegt.

25

30

Vorteilhafte Weiterbildungen sehen zum einen eine Grobkalibrierung und gegeb-

nenfalls zusätzlich eine Feinkalibrierung vor.

Gemäß einer Ausgestaltung kann vorgesehen sein, dass der Abstand als analoges Signal bereitgestellt wird.

5

Zusätzlich oder alternativ kann gemäß einer Ausgestaltung vorgesehen sein, dass ein Schaltsignal bereitgestellt wird, welches signalisiert, dass ein bestimmter Abstand überschritten oder unterschritten ist.

10

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Näherungssensors und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung des Abstands eines Objekts ergeben sich aus der folgenden Beschreibung.

15

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Kurzbeschreibung der Figuren

20

Figur 1 zeigt eine Skizze eines erfindungsgemäßen Näherungssensors,
Figur 2a zeigt ein Diagramm der elektrischen Feldstärke in einem Querschnitt eines Hohlleiters bei einer ersten Anregung,

25

Figur 2b zeigt schematisch eine resultierende Feldstärkeverteilung im Hohlleiter und im Freifeld bei einer Anregung gemäß Figur 2a,
Figur 3a zeigt ein Diagramm der elektrischen Feldstärke in einem Querschnitt eines Hohlleiters bei einer zweiten Anregung,

30

Figur 3b zeigt schematisch eine resultierende Feldstärkeverteilung im Hohlleiter und im Freifeld bei einer Anregung gemäß Figur 3a,
Figur 4a zeigt ein Blockschaltbild einer signalverarbeitenden Anlage,
Figur 4b zeigt ein Blockschaltbild eines Quadraturmischers,
Figur 4c zeigt ein Blockschaltbild einer 6-Tor-Technik,
Figur 5a zeigt einen Betrag eines gemessenen komplexen Reflexionsfaktors,

Figur 5b zeigt einen Phasenwinkel eines gemessenen komplexen Reflexionsfaktors,

Figur 6a zeigt einen Betrag eines gemessenen komplexen Reflexionsfaktors nach einer konformen Abbildung,

5 Figur 6b zeigt einen Phasenwinkel eines gemessenen komplexen Reflexionsfaktors nach einer konformen Abbildung und

Figur 7 zeigt einen gemessenen Reflexionsfaktor bei zwei verschiedenen Frequenzen nach einer konformen Abbildung.

10 **Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele**

Figur 1 zeigt eine Skizze eines erfindungsgemäßen Näherungssensors 10, der den Abstand D zwischen dem Näherungssensor 10 und einem Objekt 12 erfasst.

15 Eine signalverarbeitende Anordnung 14 stellt eine Sendewelle 16 bereit, die in einer Hochfrequenz-Leitung 18 als Leitungs-Sendewelle 16a bis an einen Wellentypwandler 20 geführt ist. Der Wellentypwandler 20, der den leitungsgebundenen Zweileiter-Wellenmode (QTEM) der Leitungs-Sendewelle 16a in einen vorgegebenen Hohlleiter-Wellenmode überführt, koppelt die Leitungs-Sendewelle 16a in
20 einen Hohlleiter 22 ein.

Der Hohlleiter 22 weist einen vorgegebenen Querschnitt auf, der beispielsweise rechteckförmig oder kreiszylindrisch sein kann. Gegebenenfalls ist eine kreiszylindrische Bauform vorteilhaft, wobei ein unmittelbarer Austausch von vorhandenen induktiven Näherungssensoren mit kreiszylindrischen Gehäusen gegen den erfindungsgemäßen Näherungssensor 10 in einfacher Weise möglich wird. Insbesondere können vorhandene Halterungen verwendet werden.

Die angeregte Hohlleiter-Sendewelle 16b breitet sich im Hohlleiter 22 aus, erreicht
30 eine Öffnung oder Apertur 26 am vorderen Ende des Hohlleiters 22 und bestimmt die Feldverteilung im Bereich der Apertur 26.

Die im Hohlleiter 22 laufende Hohlleiter-Sendewelle 16b, deren Wellenfronten in Figur 1 skizziert sind, tritt an der Apertur 26 des Hohlleiters 22 als abgestrahlte dominierende Freiraum-Sendewelle 16c auf, von der ebenfalls die Wellenfronten skizziert sind. Die Apertur 26 des Hohlleiters 22 entspricht der aktiven Fläche des Näherungssensors 10.

Der Hohlleiter 22 kann an seiner Apertur 26 an dem vorderen Ende ein dielektrisches Fenster 28 aufweisen. Das dielektrische Fenster 28 verhindert das Eindringen von Schmutz in den Hohlleiter 22. Als Material für das dielektrische Fenster 28 kommen dielektrische Werkstoffe in Betracht, die für die Hohlleiter-Sendewelle 16b einen möglichst geringen Transmissionsverlust aufweisen. Geeignete Materialien sind beispielsweise Teflon oder Aluminiumoxid. Als Auswahlkriterium spielt dabei die elektrische Permittivität des Materials eine Rolle, da diese Größe neben dem Durchmesser d unmittelbar in die sich ergebenden Wellenwiderstände der Hohlleiter-Wellenmoden mit eingeht.

Der Wellenwiderstand $Z_{HL_{\epsilon_r}}$ eines mit Dielektrikum gefüllten Hohlleiters ergibt sich aus dem Wellenwiderstand $Z_{HL_{\epsilon_0}}$ des ungefüllten Hohlleiters:

$$Z_{HL_{\epsilon_r}} = \frac{Z_{HL_{\epsilon_0}}}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Prinzipiell sollten die Werte derart festgelegt werden, dass der charakteristische Wellenwiderstand des propagierenden Modes der Hohlleiter-Sendewelle 16b dem Wellenwiderstand des Freiraums $Z_{F_0} = 377 \Omega$ vor dem Hohlleiter 22 entspricht. Dadurch wird sichergestellt, dass ein reflexionsarmer Übergang von der Hohlleiter-Sendewelle 16b zur abgestrahlten Freiraum-Sendewelle 16c erfolgt.

Alternativ oder zusätzlich zur Ausgestaltung mit dem dielektrischen Fenster 28 kann der Hohlleiter 22, gegebenenfalls einschließlich des Wellentypwandlers 20,

mit dem Dielektrikum ausgefüllt sein. Diese Ausführung erweist sich als besonders vorteilhaft, weil hierdurch der Wellentypwandler 20 mechanisch im Hohlleiter 22 fixiert werden kann. In Figur 1 ist die Ausgestaltung gezeigt, bei welcher der Wellentypwandler 20 in Richtung der Sendewelle 16 betrachtet aus darstellungstechnischen Gründen außerhalb des Hohlleiters 22 positioniert ist.

Die abgestrahlte Freiraum-Sendewelle 16c trifft auf das Objekt 12, welches sich in dem bestimmten Abstand D vor der Apertur 26 des Hohlleiters 22 befindet. Der erfindungsgemäße Näherungssensor 10 ermittelt und stellt ein Maß für den Abstand D zwischen der Apertur 26 des Hohlleiters 22 und dem Objekt 12 bereit.

Das Objekt 12, welches entweder vollständig aus einem elektrisch leitfähigen Material gefertigt ist oder zumindest eine Oberfläche aus einem elektrisch leitfähigen Material aufweist, reflektiert die außerhalb des Hohlleiters 22 laufende Freiraum-Sendewelle 16c, sodass eine Reflexionswelle 30 auftritt, die zunächst in Form einer Freiraum-Reflexionswelle 30a vorliegt, von der in Figur 1 die Wellenfronten skizziert sind. Die Freiraum-Reflexionswelle 30a gelangt durch die Apertur 26 zurück in den Hohlleiter 22, in welchem die Reflexionswelle 30 als Hohlleiter-Reflexionswelle 30b vorliegt, wobei wieder die Wellenfronten der Hohlleiter-Reflexionswelle 30b skizziert sind.

Die Hohlleiter-Reflexionswelle 30b wird im Wellentypwandler 20 in eine Leitungs-Reflexionswelle 30c überführt und gelangt als Reflexionswelle 30 in die signalverarbeitende Anordnung 14.

Die gesamte Anordnung zwischen der signalverarbeitenden Anordnung 14 und dem Objekt 12 kann abschnittsweise als eine Hochfrequenzleitung betrachtet werden, die schematisch im unteren Teilbild der Figur 1 skizziert ist. Jedem Abschnitt kann eine Eingangsimpedanz Z_1 , Z_2 , Z_3 bzw. ein Reflexionsfaktor Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 zugeordnet werden. An der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Objekts 12 liegt idealerweise ein Kurzschluss vor, der zu einem Betrag des Reflexionsfaktors Γ_D von

wenigstens näherungsweise 1 und zu einem Phasensprung der Phase $\text{Ph } \Gamma_D$ zwischen der Freiraum-Sendewelle 16c und der Freiraum-Reflexionswelle 30a von wenigstens näherungsweise 180° führt.

5 Anhand einer Messung der Impedanz Z_1 oder des Reflexionsfaktors Γ_1 , die an der Apertur 26 des Hohlleiters 22 vorliegt, kann ein Maß für den Abstand D ermittelt werden. Die Phase $\text{Ph } \Gamma_1$ des Reflexionsfaktors Γ_1 stellt in Abhängigkeit von der bekannten Frequenz der Sendewelle 16 ein zunächst mehrdeutiges Maß für den Abstand D dar.

10

Im gezeigten Ausführungsbeispiel tritt an der Apertur 26 des Hohlleiters 22 die erste Impedanz Z_1 bzw. der erste Reflexionsfaktor Γ_1 auf. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass im Freiraum Luft vorhanden ist, deren Wellenwiderstand wenigstens näherungsweise 377 Ohm beträgt. Anstelle von Luft kann jedoch auch ein anderes Medium, beispielsweise eine dielektrische Wand vorgesehen sein, wobei

15 sich dann der Wellenwiderstand entsprechend ändert.

Die unmittelbare Messung des Reflexionsfaktors Γ an der Apertur 26 des Hohlleiters 22, konkret als Messung des ersten Reflexionsfaktors Γ_1 wäre technisch sehr aufwendig. Vorzugsweise wird deshalb der dritte Reflexionsfaktor Γ_3 zu Beginn der

20 Hochfrequenz-Leitung 18 an der Position der signalverarbeitenden Anordnung 14 gemessen. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass die Messung innerhalb der signalverarbeitenden Anordnung 14 durchgeführt werden kann.

25 Leitungstheoretisch lässt sich die gesamte Anordnung zwischen der signalverarbeitenden Anordnung 14 und dem Objekt 12 als eine Kaskade verschiedener Leitungsabschnitte 32, 34, 36 darstellen. Die Leitungsabschnitte 32, 34, 36 werden durch den vom Abstand D abhängigen Freiraum, dem Hohlleiter 22 sowie der Hochfrequenz-Leitung 18 unter Vernachlässigung des Wellentypwandlers 20 gebildet.

30 Jeder Leitungsabschnitt 32, 34, 36 weist einen bestimmten Wellenwiderstand,

eine (Eingangs-) Impedanz Z_1 , Z_2 , Z_3 sowie einen (Eingangs-) Reflexionsfaktor Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 auf.

5 Dabei sind die Reflexionsfaktoren Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 jeweils auf den Wellenwiderstand des entsprechenden Abschnitts 32, 34, 36 bezogen. Beispielsweise ergibt sich der erste Reflexionsfaktor Γ_1 aus der (Eingangs-) Impedanz Z_1 , die an der Apertur 26 des Hohlleiters 22 in Richtung des Objekts 12 blickend ermittelt wird, und dem Wellenwiderstand des Freiraums.

10 Wird im ersten Leitungsabschnitt 32, dem Freiraum, lokal eine ebene Welle angenommen, weist die Phase des ersten Reflexionsfaktors Γ_1 einen abschnittsweise linearen funktionalen Zusammenhang vom Abstand D auf. Mit steigendem Abstand D ergibt sich für den Betrag des ersten Reflexionsfaktors Γ_1 eine monoton fallende Funktion.

15 Der nächste Leitungsabschnitt 34, der dem Hohlleiter 22 entspricht, transformiert die Impedanz Z_1 in die Impedanz Z_2 .

20 Einfach messbar ist der dritte (Eingangs-) Reflexionsfaktor Γ_3 des Leitungsabschnitts 36, der Hochfrequenz-Leitung 18, der wiederum durch eine Transformation aus Z_2 entstanden ist.

25 Mittels einer konformen Abbildung 38 kann von dem dritten Reflexionsfaktor Γ_3 , der in der signalverarbeitenden Anordnung 14 ermittelt wird, auf einen mit Γ_1 korrespondierenden Reflexionsfaktor geschlossen werden, der ein Maß für den Abstand D widerspiegelt. Der Reflexionsfaktor Γ ist eine komplexe Größe und als Quotient der Reflexionswelle 30 und der Sendewelle 16 definiert. Der Reflexionsfaktor Γ_1 kann beispielsweise mittels folgendem Zusammenhang gemäß einer konformen

Abbildung ermittelt werden, wobei Z_{ref} eine Normierungsimpedanz ist, die bei einer später beschriebenen Grobkalibrierung bestimmt werden kann:

$$\Gamma_1 = \frac{Z_3 - Z_{\text{ref}}}{Z_3 + Z_{\text{ref}}}$$

5

mit

$$Z_{\text{ref}} = a + jb.$$

10 Um möglichst große Abstände D erfassen zu können, sollen gemäß einem Ausführungsbeispiel möglichst wenig evaneszente Beiträge der Freiraum-Sendewelle 16c im Bereich vor der Apertur 26 des Hohlleiters 22 vorhanden sein, da diese mit zunehmender Entfernung schnell abklingen und schon in einem geringen Abstand D nur noch einen geringen Beitrag zur Feldverteilung liefern. Erfindungsgemäß ist
15 vorgesehen, dass zur Ermittlung des Abstands D die Freiraum-Sendewelle 16c zumindest zeitweise einen dominierenden Beitrag einer in Richtung des Objekts 12 propagierenden ebenen Welle aufweist.

Die Feldverteilung in der Apertur 26 wird durch die Wellenmodenverteilung im
20 Hohlleiter 22 vorgegeben. Angeregt wird deshalb ein Wellenmode, der explizit vorwiegend zu einer in Richtung des Objekts propagierenden Freiraum-Sendewelle 16c führt. Die Hohlleiter-Sendewelle 16b soll demnach mit möglichst wenig Reflexionen an der Apertur 26 in die Freifeld-Sendewelle 16c übergehen. Hierzu muss sowohl der Wellenwiderstand des Hohlleiter-Wellenmodes möglichst dem Wellenwiderstand des Freiraums sowie dessen Feldverteilung möglichst dem einer ebe-
25 nen Welle entsprechen. Diese Bedingungen können beispielsweise durch den Grund-Wellenmode eines rechteckigen oder kreiszylindrischen Hohlleiters 22 erfüllt werden.

Entsprechend der geltenden Norm für induktive Näherungssensoren ist eine kreiszylinderförmige Bauform vorgegeben. Bei einer sinngemäßen Anwendung der Norm auf den erfindungsgemäßen Näherungssensor 10 bedeutet dies, dass der Hohlleiter 22 vorzugsweise als kreiszylindrischer Hohlleiter 22 mit vorzugsweise einem kreisförmigen Querschnitt realisiert ist. Ohne Berücksichtigung der Norm, die streng genommen nur für induktive Näherungssensoren gilt, kann jedoch rein prinzipiell auch ein frei wählbarer anderer Querschnitt des Hohlleiters 22, beispielsweise ein rechteckförmiger Querschnitt vorgesehen werden.

In den Figuren 2a – 3b sind zwei unterschiedliche Feldverteilungen am Beispiel eines kreiszylindrischen Hohlleiters 22 dargestellt. In beiden Beispielen sind die Feldverteilungen durch eine monomodale Anregung im kreiszylindrischen Hohlleiter 22 entstanden.

Figur 2a zeigt eine Anregung 40 im einem Rundhohlleiter zugehörigen TE₁₁-Mode. In Figur 2a ist in einem Querschnitt des Hohlleiters 22 die elektrische Feldstärke 40 skizziert, deren Betrag und Richtung durch die eingetragenen Dreiecke symbolisiert sind.

Die entsprechende Feldverteilung 42 innerhalb des Hohlleiters 22 und die Feldverteilung 44 im Freiraum vor der Apertur 26 des Hohlleiters 22 sind in einer Draufsicht in Figur 2b dargestellt. Die Anregung im TE₁₁-Mode führt vorwiegend zu einer gewünschten, in Richtung des Objekts D propagierenden Freiraum-Sendewelle 16c. Eine solche propagierende Freiraum-Sendewelle 16c soll der erfindungsgemäße Näherungssensor 10 zumindest zeitweise bereitstellen.

Figur 3a zeigt eine zweite Anregung im einem Rundhohlleiter zugehörigen TM₀₁-Mode. In Figur 3a ist die elektrische Feldstärke 46 in einem Querschnitt des Hohlleiters 22 skizziert, deren Betrag und Richtung durch die eingetragenen Dreiecke symbolisiert sind.

Die entsprechende zweite Feldverteilung 48 innerhalb des Hohlleiters 22 und zweite Feldverteilung 50 im Freiraum vor der Apertur 26 des Hohlleiters 22 sind in Figur 3b in einer Draufsicht dargestellt. Die Anregung im TM₀₁-Mode führt zu einer vorwiegend evaneszenten Feldverteilung 50 im Freiraum vor der Apertur 26.

5

Die Ermittlung des Reflexionsfaktors Γ , im Speziellen des dritten Reflexionsfaktors Γ_3 erfolgt in der signalverarbeitenden Anordnung 14, deren Blockschaltbild in Figur 4a gezeigt ist.

10

Diejenigen in Figur 4a gezeigten Teile, die mit dem in Figur 1 gezeigten Teilen übereinstimmen, sind mit denselben Bezugszeichen versehen.

15

Die signalverarbeitende Anordnung 14, deren Komponenten entsprechend einer vorteilhaften Ausgestaltung im hinteren Ende des Hohlleiters 22 angeordnet sein können, enthält einen Mikrowellenoszillator 52, dessen Ausgangssignal 54 sowohl einem Richtkoppler 56 als auch einem Quadraturmischer 58 zur Verfügung gestellt werden. Der Richtkoppler 56 leitet das Ausgangssignal 54 des Mikrowellenoszillators 52 über die Hochfrequenz-Leitung 18 weiter an den Wellentypwandler 20. Weiterhin koppelt der Richtkoppler 56 die Reflexionswelle 30 aus und leitet ein der Reflexionswelle 30 entsprechendes Reflexionssignal 60 an den Quadraturmischer 58 weiter.

20

25

Gegebenenfalls ist ein Umschalter 62 vorgesehen. Der Umschalter 62 ermöglicht das Umschalten von einer ersten Frequenz des Ausgangssignals 54 des Mikrowellenoszillators 52 auf wenigstens eine weitere Frequenz.

Im Richtkoppler 56 wird die Sendewelle 16 von der Reflexionswelle 30 getrennt. Der Richtkoppler 56 kann in planarer Leitungstechnik ausgeführt werden, beispielsweise in Mikrostreifentechnik.

30

Der Reflexionsfaktor Γ , im Speziellen der dritte Reflexionsfaktor Γ_3 kann auf der Grundlage der separierten Wellen 16, 30 beispielsweise mittels Quadraturmischung im Quadraturmischer 58 bestimmt werden.

5 Ein Blockschaltbild des Quadraturmischers 58 ist in Figur 4b gezeigt. Der Quadraturmischer 58 bildet durch Mischen der Reflexionswelle 30 mit der Sendewelle 16 eine Inphase- und eine Quadraturkomponente I, Q. Die Quadraturmischung ermöglicht die Bestimmung von Real- und Imaginärteil der komplexen Einhüllenden des zu analysierenden Signals, hier des Reflexionssignals 60 bezogen auf Amplitude und Phase des Referenzsignals, hier des Ausgangssignals 54.

10 Eine alternative Möglichkeit zur Bestimmung des Reflexionsfaktors Γ bietet die 6-Tor-Technik. Ein Realisierungsbeispiel der 6-Tor-Technik ist in Figur 4c gezeigt. Auch die 6-Tor-Technik stellt die Inphase- und die Quadraturkomponente I, Q bereit.

15 Eine weitere alternative Möglichkeit zur Bestimmung des Reflexionsfaktors Γ ist im Rahmen einer Messung der Stehwelligkeit entlang von Leitungsabschnitten möglich.

20 Beide Komponenten I, Q werden einer Berechnungseinheit 64 zugeführt, die daraus den komplexen Reflexionsfaktor Γ , speziell den dritten Reflexionsfaktor Γ_3 ermittelt und vorzugsweise eine weiter unten beschriebene Kalibrierung sowie eine Messwertauswertung übernimmt.

25 Die Berechnungseinheit 64 enthält vorzugsweise weiterhin die konforme Abbildung 38 zur Transformation des komplexen dritten Reflexionsfaktors Γ_3 in den ersten komplexen Reflexionsfaktor Γ_1 . Ein Ausgangssignal 66 der Berechnungseinheit 64 kann unmittelbar als ein Maß für den Abstand D gewertet werden.

30

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Näherungssensors 10 werden der Mikrowellenoszillator 52, der Wellentypwandler 20, der Richtkoppler 56, der Quadraturmischer 58 sowie die Berechnungseinheit 64 auf einer einzigen Platine angeordnet, die aus hochfrequenztauglichem Basismaterial, beispielsweise glasfaserverstärktem Teflon, hergestellt ist.

Dem Messprinzip folgend, ist die konforme Abbildung 38 vorgesehen, die den ersten Reflexionsfaktor Γ_1 in der komplexen Ebene auf eine Spirale mit dem Bezugswellenwiderstand als Mittelpunkt abbildet, entsprechend einem Umnormieren des Wellenwiderstands. Dabei werden alle ebenen Wellen im Freiraum zwischen der Apertur 26 und dem Objekt 12 in einer dominierenden fortschreitenden Welle zusammengefasst. Da diese Welle Leistung durch Verluste und Abstrahlung verliert, ist sowohl deren Ausbreitungskonstante als auch deren Wellenwiderstand komplex, woraus ebenfalls ein komplexer Bezugswellenwiderstand folgt.

Für den Fall, dass der Bezugswellenwiderstand des ersten Reflexionsfaktors Γ_1 dem Wellenwiderstand einer äquivalenten Leitung entspricht, beschreibt der erste Reflexionsfaktor Γ_1 einer kurzgeschlossenen Leitung in der komplexen Ebene eine Spirale, die mit zunehmender Entfernung vom Kurzschluss in Richtung dem Inneren der Spirale durchlaufen wird.

Ohne die weiteren Einflüsse des Wellentypwandlers 20 zu berücksichtigen, beschreibt der Verlauf des dritten Reflexionsfaktors Γ_3 eine Spirale in der komplexen Reflexionsfaktorebene als Funktion vom Abstand D , deren Lage aus den einzelnen Transformationen resultiert. Obwohl prinzipiell noch ein spiralförmiger Verlauf vorliegt, kann daraus für den dritten komplexen Reflexionsfaktor Γ_3 in der üblichen Polarkoordinatendarstellung ein komplizierter Verlauf entstehen. Zur Veranschaulichung soll vereinfachend angenommen werden, dass die Spirale vollständig im ersten Quadranten der kartesischen Reflexionsfaktorebene liegt. Unter dieser Annahme folgt für die Winkel des Reflexionsfaktors Γ_1 in Polarkoordinaten ein Werte-

bereich von 0 bis $\pi/2$. Aus dem zuvor bei zunehmendem Abstand D linear fallenden Phasenverlauf ist nun eine Kurve entstanden, die ohne Phasensprünge abschnittsweise anwachsende Phasenwerte aufweist. Gleichermäßen ergeben sich aus den Transformationen verschiedene Maxima und Minima im Betrag des Reflexionsfaktors Γ_3 . Ziel der konformen Abbildung 38 ist es schließlich, durch Umnormieren den Einfluss der Impedanztransformationen zu beseitigen und somit den Mittelpunkt des spiralförmigen Verlaufs in den Ursprung der Reflexionsfaktorebene zu verschieben.

In Figur 5a ist der Betrag des dritten Reflexionsfaktors Γ_3 vor der konformen Abbildung und in Figur 6a nach der konformen Abbildung gezeigt.

In Figur 5b ist die Phase $\text{Ph } \Gamma_3$ des dritten Reflexionsfaktors Γ_3 vor der konformen Abbildung und in Figur 6b nach der konformen Abbildung gezeigt.

Wie zu erkennen ist, ergibt sich nach der konformen Abbildung für den Betrag des dritten Reflexionsfaktors Γ_3 eine monoton fallende Funktion und eine lineare Beziehung zwischen dem Abstand D und der Phase $\text{Ph } \Gamma_3$.

In Figur 7 ist der komplexe dritte Reflexionsfaktor Γ , speziell der dritte Reflexionsfaktor Γ_3 in einem Smith-Diagramm gezeigt, wobei zwei Kurvenverläufe gezeigt sind, die für zwei unterschiedliche Frequenzen der Sendewelle 16 gelten, zwischen denen mittels des Umschalters 62 periodisch umgeschaltet werden kann.

Aus dem linearen Phasenverlauf kann unmittelbar über die Phasenkonstante der Sendewelle 16 auf den Abstand D des Objekts 12 geschlossen werden. Wie in Figur 7 zu sehen, ist aufgrund der Periodizität des Phasenverlaufs $\text{Ph } \Gamma$ die Zuordnung zwischen Abstand D und der Phase $\text{Ph } \Gamma$ zunächst nicht eindeutig, wenn der Erfassungsbereich des Näherungssensors 10 die halbe Wellenlänge der Sendewelle 16 übersteigt. Um auch eine eindeutige Lösung für einen größeren Messbe-

reich des Abstands D realisieren zu können, wird zusätzlich der Betragsverlauf des Reflexionsfaktors Γ ausgewertet und somit die Mehrdeutigkeit der reinen Phasen-
auswertung beseitigt. Diese Auswertung wird erfolgreich durchgeführt, da die kon-
forme Abbildung 38 den Betrag des ermittelten ersten Reflexionsfaktors Γ_1 auf ei-
nen monoton fallenden Verlauf abbildet.

Zur Umsetzung des Sensorkonzepts sind gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung
zumindest eine Grobkalibrierung, vorzugsweise jedoch eine Grob- und eine Feinka-
librierung vorgesehen.

Bei der Grobkalibrierung wird die für die konforme Abbildung:

$$\Gamma_1 = \frac{Z_3 - Z_{\text{ref}}}{Z_3 + Z_{\text{ref}}}$$

benötigte Normierungsimpedanz:

$$Z_{\text{ref}} = a + jb$$

bestimmt. Als Ergebnis der Grobkalibrierung beschreibt Γ_1 eine Spirale um den Ur-
sprung der komplexen Reflexionsfaktorebene, woraufhin sich ein monoton fallender
Reflexionsfaktorbetrag und eine nahezu linear fallende Phase, wie in Fig. 6a und
6b gezeigt ist, einstellt. Obwohl die Phase augenscheinlich linear verläuft, sind klei-
ne Abweichungen von diesem idealen Verlauf nahezu unvermeidlich. Ziel der vor-
zugsweise zusätzlich vorgesehenen Feinkalibrierung ist es zum einen, diese Ab-
weichungen durch ein Polynom anzunähern, das anschließend der Messwertaus-
wertung zur Fehlerkompensation bereitgestellt wird. Zum anderen wird während
der Feinkalibrierung eine Polynombeschreibung von $|\Gamma_1(D)|$ entwickelt, mit deren
Hilfe die Mehrdeutigkeit der Phasenmessung beseitigt wird.

Die Grundlage beider Kalibrierungen bilden Messwerte (Referenzwerte) des kom-
plexen Reflexionsfaktors Γ_3 , die einmalig nach der Sensorfertigung entlang des Er-

fassungsbereichs D aufgenommen und abgespeichert werden. Die Anzahl der aufzunehmenden Wertepaare bestimmt sich dabei hauptsächlich durch die zu erreichende Genauigkeit des Sensors.

5 Die Grobkalibrierung kann beispielsweise folgendermaßen durchgeführt werden:

Um sämtliche parasitäre Einflüsse entlang der Leitungsabschnitte 36, 34, 32 berücksichtigen zu können, wird nicht versucht, die Normierungsimpedanz analytisch aus den Ersatzschaltbildern zu bestimmen, sondern Z_{ref} direkt aus den Referenzwerten des fertigen Sensors zu gewinnen. Beginnend mit:

$$Z_{\text{ref}} = a + jb,$$

lautet die konforme Abbildung:

15

$$\Gamma_1 = \frac{Z_3 - a - jb}{Z_3 + a + jb}$$

wobei a und b durch einen iterativen Prozess so bestimmen werden, sodass $|\Gamma_1|$ monoton mit zunehmendem Abstand D fällt.

20 Hierfür wird $|\Gamma_1(D)|$ als Funktion von D mit den beiden Parametern a und b betrachtet. Die Forderung von Monotonie ist gleichbedeutend mit dem Verschwinden der lokalen Maxima von $|\Gamma_1(D)|$. Die k Positionen $D_i \neq 0$, an denen diese Funktion ihre Maxima annimmt, lassen sich mittels:

25

$$\frac{d|\Gamma_1(D_i)|}{dD} = 0$$

und der Bedingung:

$$\frac{d^2 |\Gamma_1(D_i)|}{dD^2} < 0$$

finden. Ziel des numerischen Optimierungsprozesses ist es nun, a und b so zu bestimmen, dass $|\Gamma_1(D_i)|$ minimal wird und im Idealfall $k = 0$ folgt.

5

Als Startwert der Iteration bietet es sich an:

$$Z_{\text{ref}} = \lim_{D \rightarrow \infty} (Z_3)$$

10

zu wählen und damit $|\Gamma_1|$ zu berechnen.

Gemäß einer Ausgestaltung ist vorgesehen, den Wellentypwandler 20 derart zu gestalten, dass dieser direkt eine Impedanztransformation von Z_1 vollzieht, wodurch die konforme Abbildung stark vereinfacht oder sogar ganz entfallen kann.

15

Die vorzugsweise zusätzlich vorgesehene Feinkalibrierung kann beispielsweise folgendermaßen durchgeführt werden:

20

Im ersten Schritt der Feinkalibrierung wird ein Interpolationspolynom für die Funktion $|\Gamma_1(D)|$ entwickelt, dessen Grad die Güte der Approximation bestimmt. Der Grad des Polynoms wird wiederum durch die Anzahl der Entwicklungspunkte, welche hier die gemessenen Referenzpunkte sind, begrenzt. Da jedoch beliebig viele Punkte messtechnisch aufgenommen werden können, kann auch ein Interpolationspolynom für eine beliebige Genauigkeit gefunden werden. Zweck dieses Polynoms ist es, über den gemessenen Betrag des Reflexionsfaktors Γ eine Grobmessung des Abstands D durchzuführen. Diese Messung dient lediglich dazu, das richtige Intervall der Phase zu bestimmen.

25

30

Die in der Praxis trotz konformer Abbildung auftretenden Nichtlinearitäten im Phasenverlauf schlagen sich unmittelbar auf die zu erwartende Genauigkeit bei der

Ermittlung des Abstands D nieder. Zur Reduzierung des Messfehlers wird daher vorzugsweise eine nachgelagerte Linearisierung bei der Ermittlung des Abstands D durchgeführt.

5 Ausgehend vom Phasenverlauf des Reflexionsfaktors Γ nach der konformen Abbildung, wird der unstetige Phasenverlauf mithilfe von $|\Gamma|$ in eine stetige und eindeutige Funktion überführt. Die Phasenwerte an den einzelnen Referenzpositionen werden durch die Sensorauswertung ermittelt und die Differenz zwischen Ist- und Sollwert bestimmt. Alle Abweichungen der Phase entlang dem Erfassungsbereich
10 werden wieder durch ein Polynom dargestellt. Auch hier kann ein beliebig hoher Grad und somit eine beliebige Genauigkeit durch eine beliebige Anzahl von Messpunkten erreicht werden.

Ist das Polynom bestimmt und gespeichert, kann daraus bei der eigentlichen Ermittlung des Abstands D die Abweichung zur exakten Phase ermittelt und das
15 Messergebnis korrigiert werden.

An dieser Stelle wird nochmals darauf hingewiesen, dass die für die Kalibrierung benötigten Kenngrößen nur einmal nach der Fertigung des erfindungsgemäßen
20 Näherungssensors 10 ermittelt und in einem in Figur 4 nicht näher gezeigten Speicher hinterlegt werden. Der erfindungsgemäße Näherungssensor 10 stellt ein Maß für absolute Abstände D bereit und benötigt im Betrieb keine Referenz.

Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Näherungssensors 10 bzw.
25 des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Messung des Abstands D eines Objekts 12 ist vorgesehen, den Reflexionsfaktor Γ und somit den Abstand D anstatt bei einer vorgegebenen Frequenz des Mikrowellenoszillators 54 bei wenigstens zwei unterschiedlichen Frequenzen zu ermitteln. Zur Umschaltung zwischen den Frequenzen ist der Umschalter 62 vorgesehen, der den Mikrowellenoszillator 52 alternierend zur Bereitstellung des Ausgangssignals 54 mit der ersten und mit der wenigstens
30 einen weiteren Frequenz veranlasst. Hierdurch ergeben sich, wie bereits in

Verbindung mit Figur 7 erwähnt, bei einer korrekten konformen Abbildung 38 des Reflexionsfaktors Γ für weitere Frequenzen weitere spiralförmige Verläufe 68, 70. So folgt theoretisch aus der Auswertung bei zwei unterschiedlichen Frequenzen bei zunehmendem Abstand D des Objekts 12 eine zunehmende Phasendifferenz $\text{Ph } \Gamma$,
5 aus der die Eindeutigkeit gewonnen werden kann. Diese Ausgestaltung ist insbesondere für große Abstände D vorteilhaft, da hier der Verlauf des Betrags des Reflexionsfaktors Γ flacher und somit dessen Ermittlung gegebenenfalls fehleranfälliger wird.

10 Prinzipiell wird durch die Messung des Abstands D mit zwei unterschiedlichen Frequenzen und mit einem einzigen Wellenmode eine Plausibilisierung bzw. Verifizierung des ermittelten Abstands D möglich.

15 Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass anstelle einer monomodalen Anregung zusätzlich weitere Wellenmoden im Hohlleiter 22 erzeugt und der Reflexionsfaktor Γ bei den unterschiedlichen Wellenmoden ermittelt wird. Dadurch wird wenigstens eine weitere unabhängige komplexe Größe erhalten, die zur Ermittlung des Abstands D und/oder zur Beseitigung der Mehrdeutigkeit bei der Phase $\text{Ph } \Gamma$ herangezogen werden kann. Bei dieser Weiterbildung sind mehrere Wellentyp-
20 wandler 20 erforderlich.

Auch hierdurch wird eine Plausibilisierung bzw. Verifizierung des ermittelten Abstands D möglich.

25 Gegebenenfalls können zur Ermittlung des Abstands D sowohl wenigstens zwei unterschiedliche Frequenzen der Sendewelle 16 als auch wenigstens zwei unterschiedliche Wellenmoden verwendet werden.

30 Das ermittelte Maß für den Abstand D entsprechend dem Ausgangssignal 66 kann als Analogsignal bereitgestellt werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Aus-

gangssignal 66 als Schaltsignal bereitgestellt werden, welches signalisiert, dass ein bestimmter Abstand D über- bzw. unterschritten ist.

Ansprüche

5

1. Näherungssensor zur Messung des Abstands (D) eines Objekts (12), mit einem Mikrowellenoszillator (52), der als Ausgangssignal (54) eine Sendewelle (16) bereitstellt, welche der Näherungssensor (10) in Richtung auf das Objekt (12) als Freiraum-Sendewelle (16c) abstrahlt, die das Objekt (12), welches elektrisch leitfähig ist oder zumindest eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist, als Freiraum-Reflexionswelle (30a) reflektiert und der Näherungssensor (10) als Reflexionswelle (30) empfängt, wobei eine Ermittlung des Reflexionsfaktors (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) vorgesehen ist, welchen der Näherungssensor (10) als ein Maß für den Abstand (D) bereitstellt, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendewelle (16) in einem Hohlleiter (22) als Hohlleiter-Sendewelle (16b) geführt ist, dass die Einkopplung der Sendewelle (16) in den Hohlleiter (22) mit einem Wellenmode vorgesehen ist, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle (16b) an der Apertur (26) am vorderen Ende des Hohlleiters (22) in die Freiraum-Sendewelle (16c) und zur Propagierung der Freiraum-Sendewelle (16c) zum Objekt (12) führt.
10
15
20
2. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Wellenmode bei Verwendung eines Rundhohlleiters der TE₁₁-Mode vorgesehen ist.
25
3. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlleiter (22) kreiszylindrisch ausgestaltet ist.
4. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an der Apertur (26) am vorderen Ende des Hohlleiters (22) ein dielektrisches Fenster
30

(28) vorgesehen ist.

- 5 5. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlleiter (22) mit einem dielektrischen Material gefüllt ist.
6. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Festlegung des Wellenmodes der Hohlleiter-Sendewelle (16b) im Hohlleiter (22) wenigstens ein Wellentypwandler (20) vorgesehen ist.
- 10 7. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Reflexionsfaktors (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) ein Quadraturmischer (58) vorgesehen ist.
- 15 8. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Reflexionsfaktors (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) die 6-Tor-Technik vorgesehen ist.
- 20 9. Näherungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlleiter (22), der Wellentypwandler (20) und eine signalverarbeitende Anordnung (14) eine einteilige Einheit bilden, deren Gehäuse vorzugsweise der Hohlleiter (22) ist.
- 25 10. Verfahren zur Messung des Abstands (D) eines Objekts (12), bei dem ein Ausgangssignal (54) eines Mikrowellenoszillator (52) als eine Sendewelle (16) bereitgestellt wird, welche in Richtung auf das Objekt (12) als Freiraum-Sendewelle (16c) abgestrahlt wird, welche vom Objekt (12), welches elektrisch leitfähig ist oder zumindest eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist, als Freiraum-Reflexionswelle (30a) reflektiert wird und als Reflexionswelle (30) empfangen wird, wobei der Reflexionsfaktor (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) ermittelt und als ein Maß für den Abstand
30 (D) bereitgestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendewelle (16) in

einem Hohlleiter (22) als Hohlleiter-Sendewelle (16b) geführt wird, dass die Einkopplung der Sendewelle (16) in den Hohlleiter (22) mit einem Wellenmode vorgenommen wird, der zur Ablösung der Hohlleiter-Sendewelle (16b) an der Apertur (26) am vorderen Ende des Hohlleiters (22) in die Freiraum-Sendewelle (16c) und zur Propagierung der Freiraum-Sendewelle (16c) zum Objekt (12) führt.

5

11. Näherungssensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Wellenmode bei Verwendung eines Rundhohlleiters der TE₁₁-Mode vorgesehen wird.

10

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des Abstands (D) bei einer Frequenz der Sendewelle (16) und einem Wellenmode vorgenommen wird.

15

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Abstands (D) eine Abstimmung des Mikrowellenoszillators (52) alternierend auf wenigstens zwei unterschiedliche Frequenzen der Sendewelle (16) vorgenommen wird und dass die Ermittlung des Abstands (D) bei wenigstens zwei unterschiedlichen Frequenzen sowie einem Wellenmode vorgenommen wird.

20

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einkopplung der Sendewelle (16) in den Hohlleiter (22) alternierend zum ersten Wellenmode wenigstens ein zweiter Wellenmode vorgesehen wird.

25

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des Abstands (D) bei einer Frequenz der Sendewelle (16) und wenigstens bei zwei unterschiedlichen Wellenmoden vorgenommen wird.

30

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein solcher wei-

terer Wellenmode vorgegeben wird, der zu einer vorwiegend evaneszenten Feldverteilung vor dem Hohlleiter (22) führt.

- 5 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei Verwendung eines Rundhohlleiters als wenigstens ein weiterer Wellenmode der TM₀₁-Mode vorgesehen wird.
- 10 18. Verfahren nach Anspruch 13 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung des Abstands (D) auf wenigstens zwei unterschiedliche Arten vorgenommen wird und dass eine Plausibilisierung der auf unterschiedliche Arten ermittelten Ergebnisse vorgesehen wird.
- 15 19. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Rückrechnung eines ermittelten ersten Reflexionsfaktors (Γ) aus der Sendewelle (16) und der Reflexionswelle (30) auf einen an einer Apertur (26) des Hohlleiters (22) auftretenden Reflexionsfaktor (Γ_3) vorgesehen ist.
- 20 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückrechnung mittels einer konformen Abbildung (38) erfolgt.
21. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ermittlung der Phase (Ph Γ) des Reflexionsfaktors (Γ) als Maß für den Abstand (D) vorgesehen wird.
- 25 22. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dadurch gekennzeichnet, dass eine Ermittlung der Phase (Ph Γ) und des Betrags $|\Gamma|$ des Reflexionsfaktors (Γ) als Maß für den Abstand (D) vorgesehen wird.
- 30 23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine eindeutige Ermittlung des Abstands (D) aus der Phase (Ph Γ) des Reflexionsfaktors (Γ) anhand des Betrags des Reflexionsfaktors (Γ) vorgesehen ist, wenn innerhalb

- 35 -

des vorgegebenen Messbereichs Mehrdeutigkeit der Phase ($\text{Ph } \Gamma$) des Reflexionsfaktors (Γ) vorliegt.

- 5 24. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Grobkalibrierung vorgenommen wird.
25. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine Feinkalibrierung vorgenommen wird.
- 10 26. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (D) als analoges Signal bereitgestellt wird.
27. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schaltsignal bereitgestellt wird, welches signalisiert, dass ein bestimmter Abstand (D)
- 15 überschritten oder unterschritten ist.

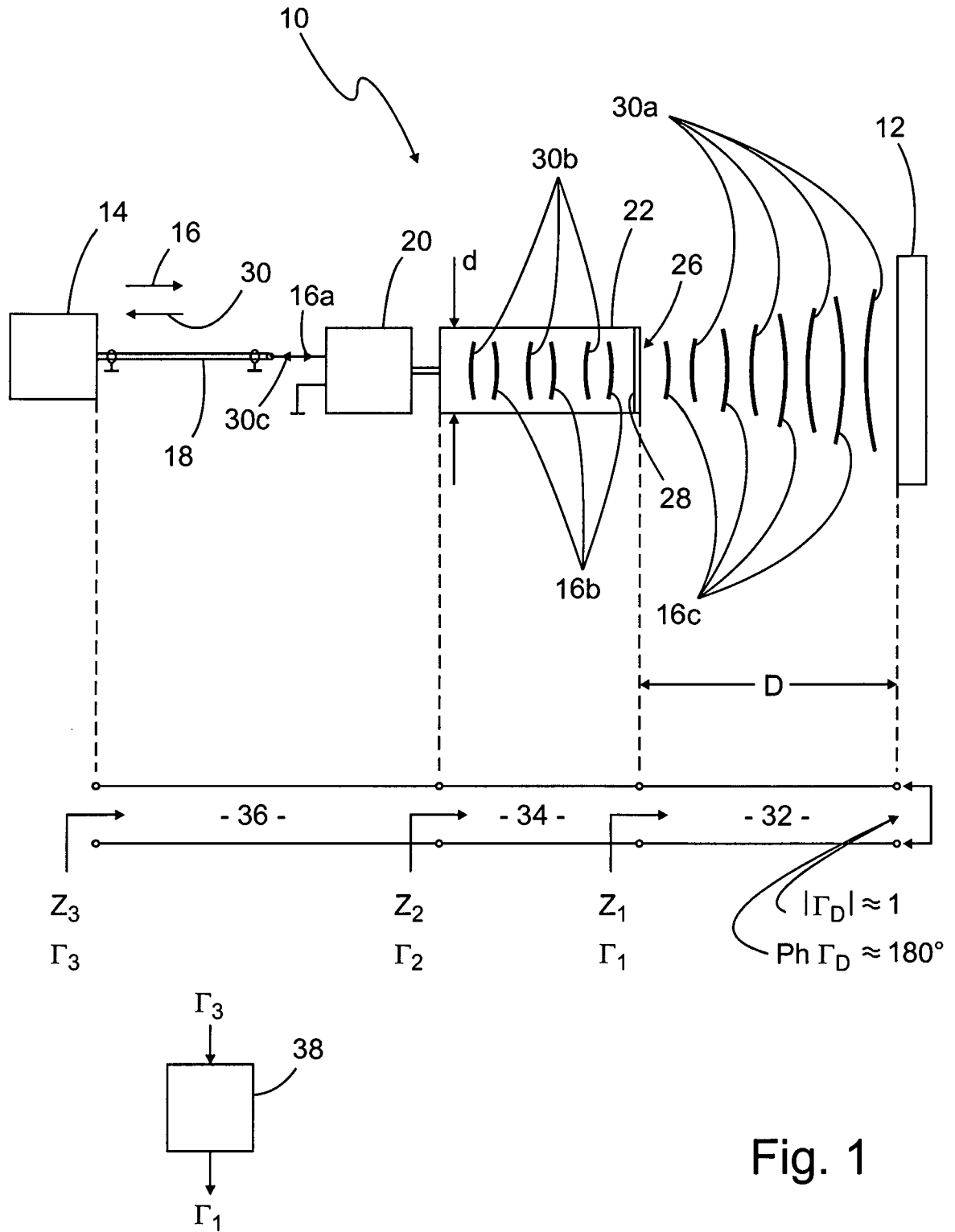


Fig. 1

2/10

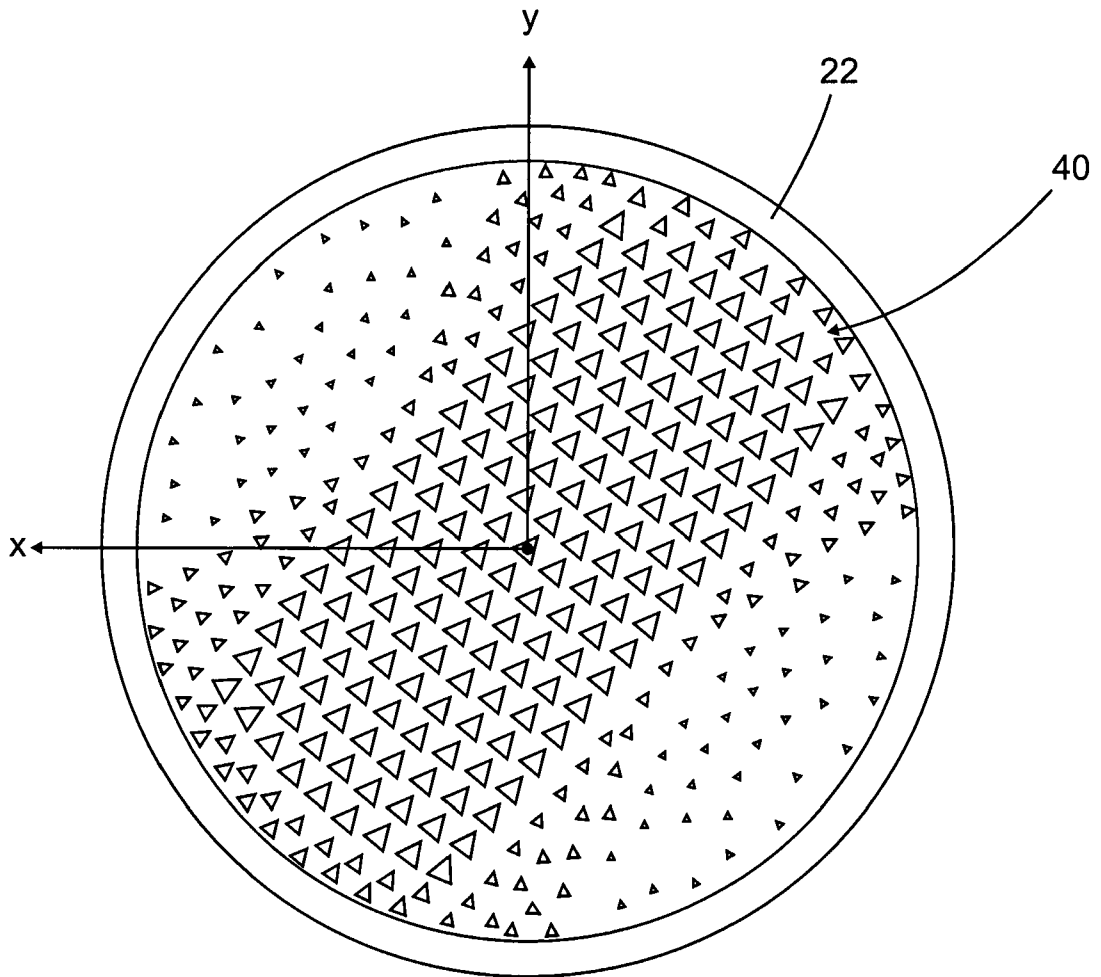


Fig. 2a

3/10

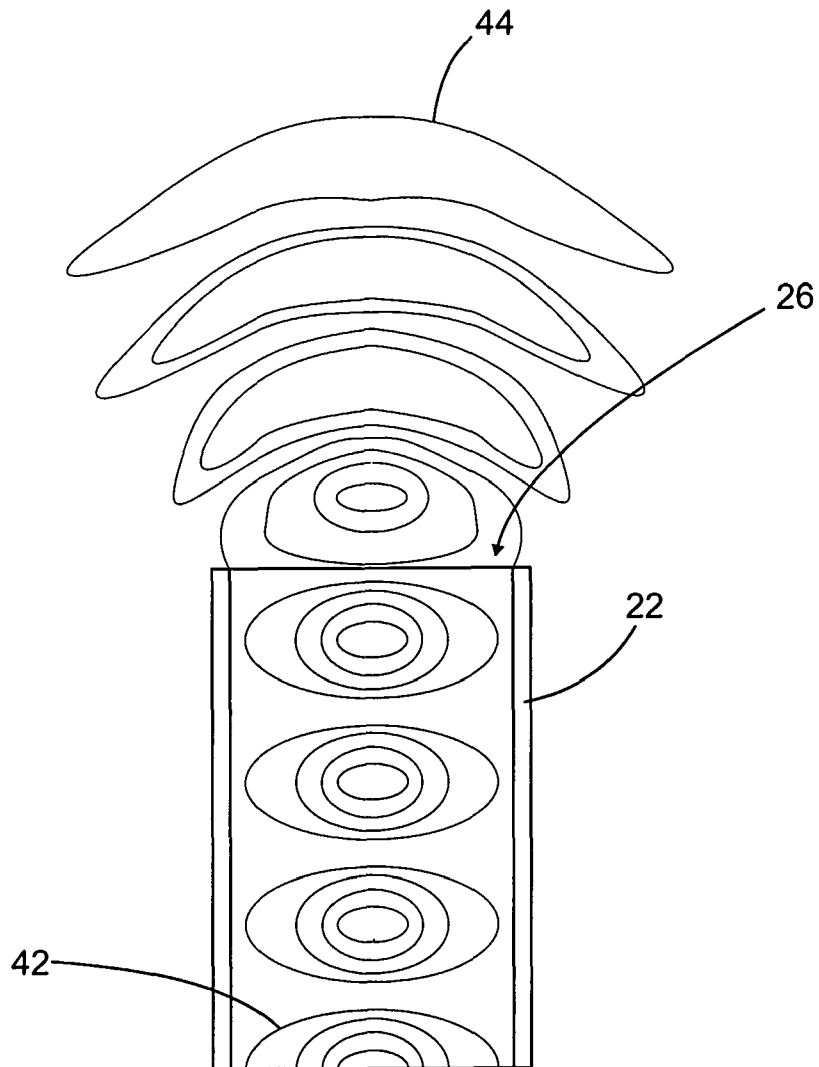


Fig. 2b

4/10

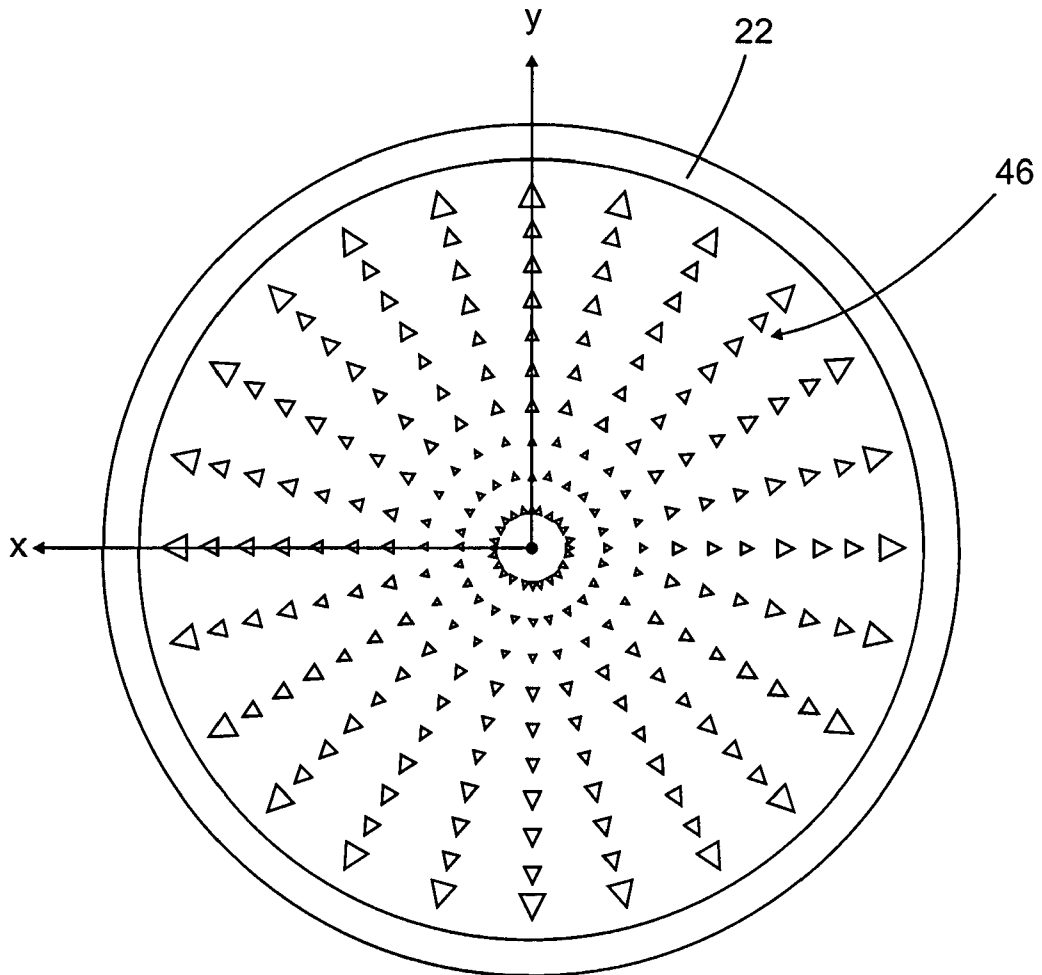


Fig. 3a

5/10

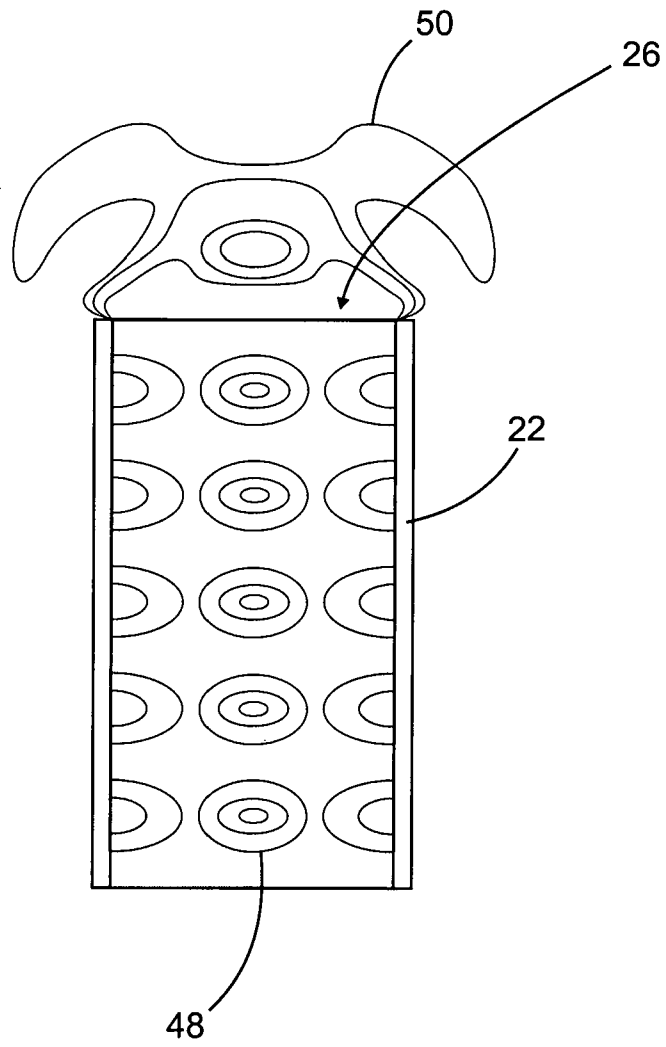


Fig. 3b

6/10

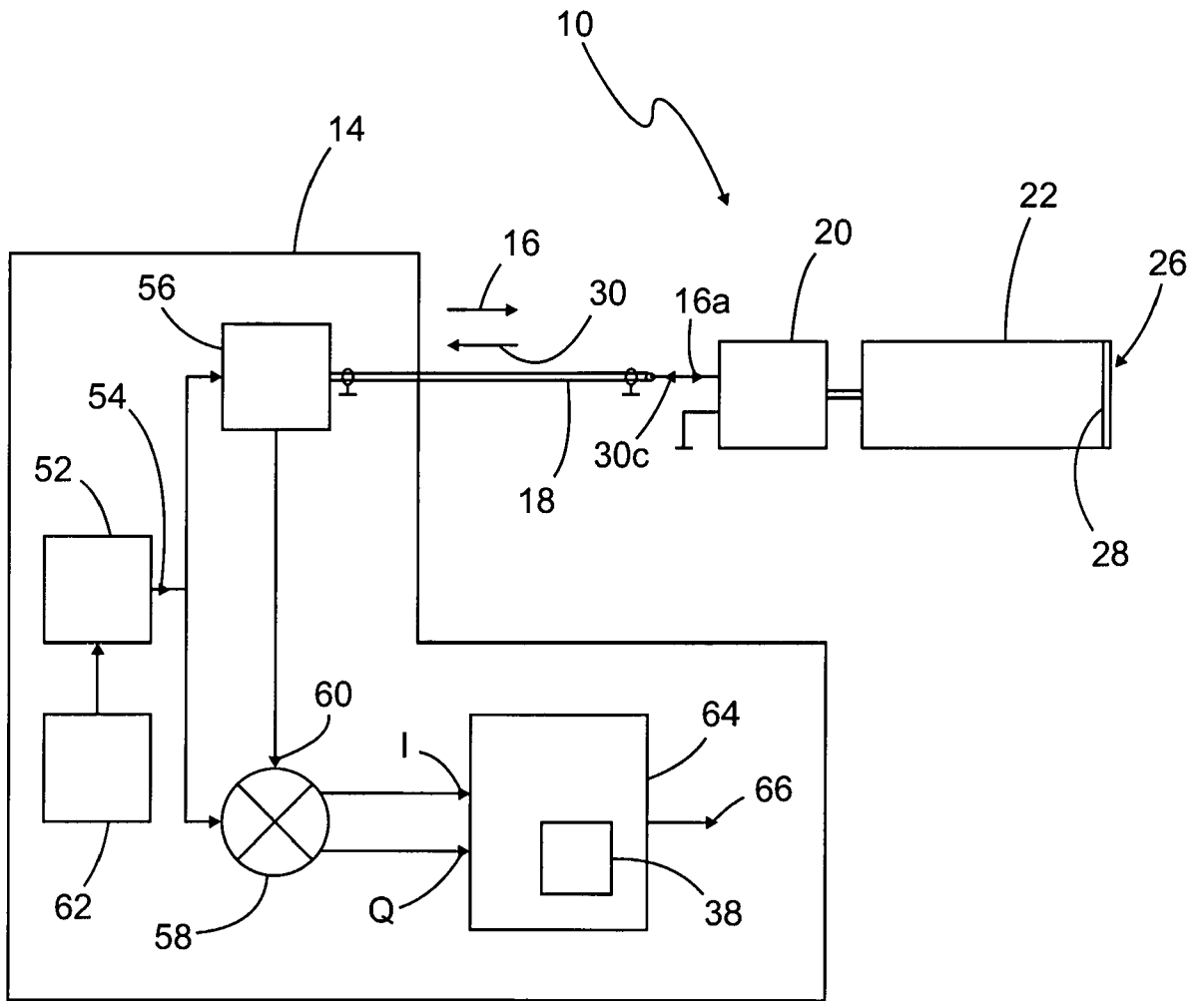


Fig. 4a

7/10

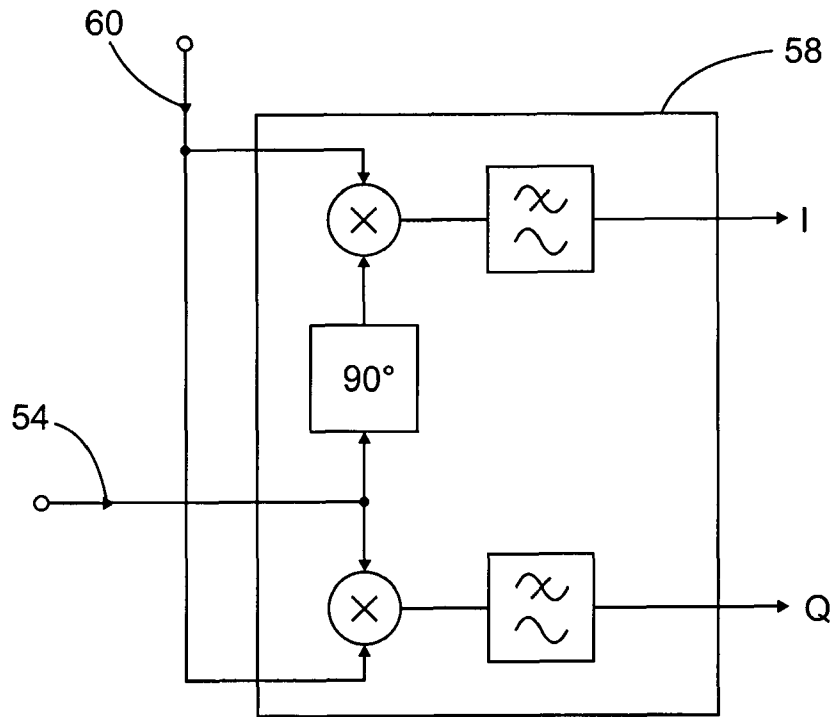


Fig. 4b

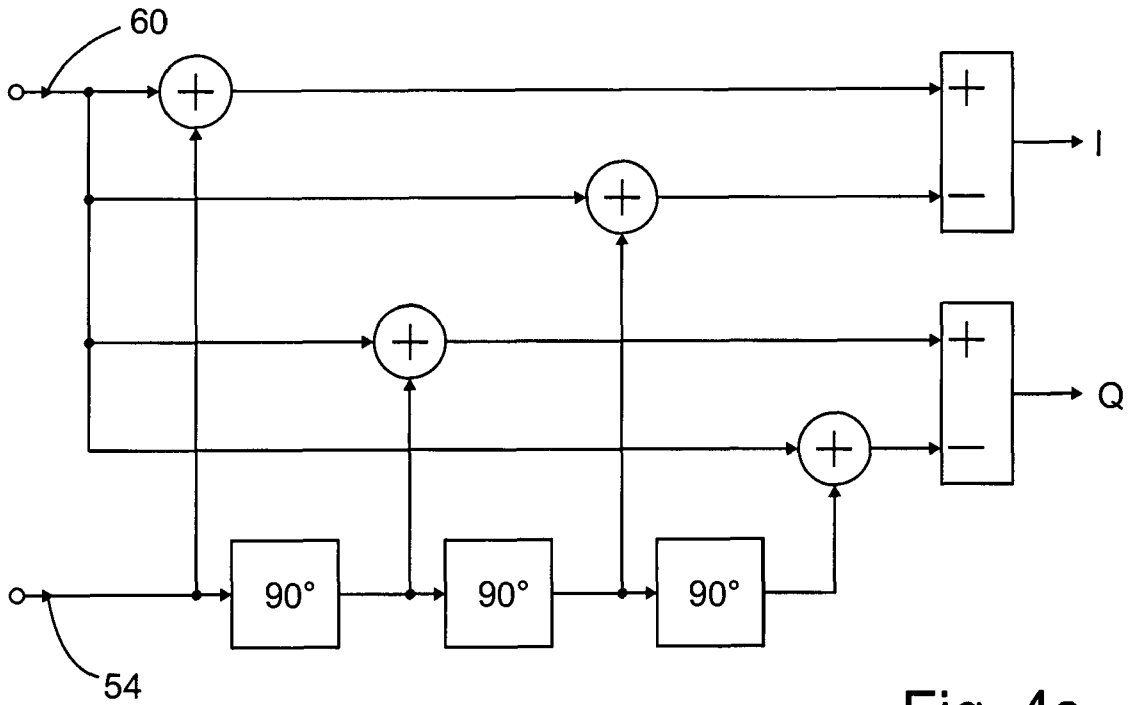


Fig. 4c

8/10

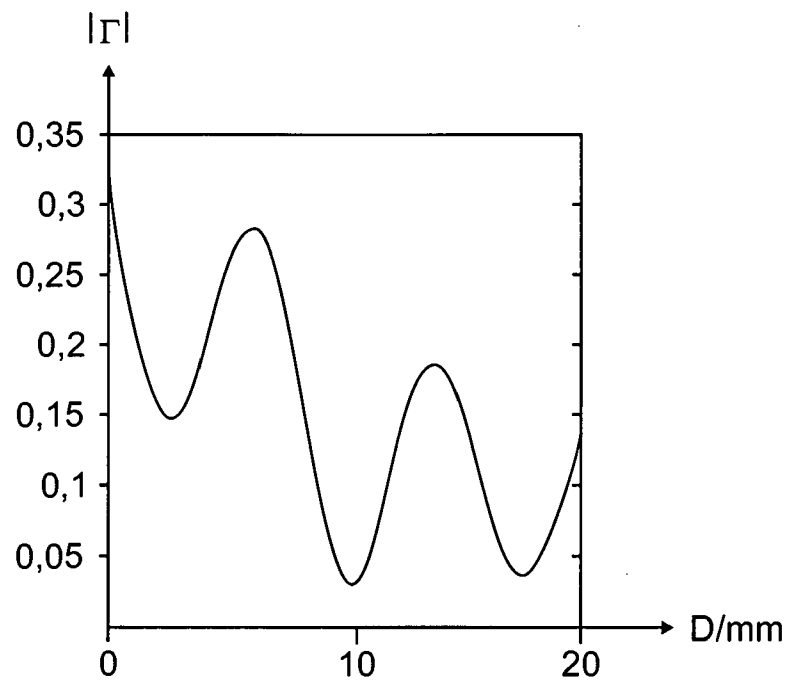


Fig. 5a

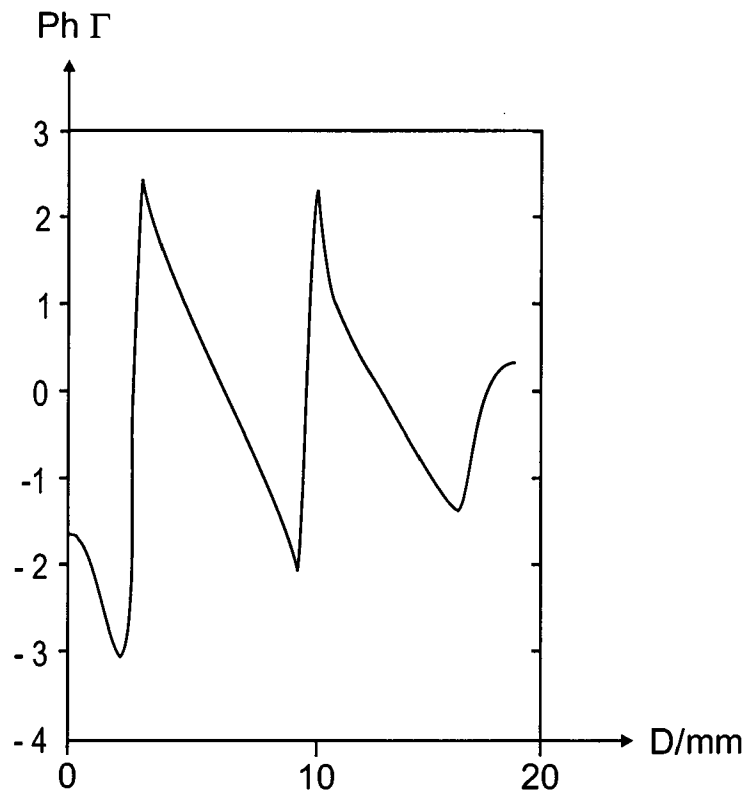


Fig. 5b

9/10

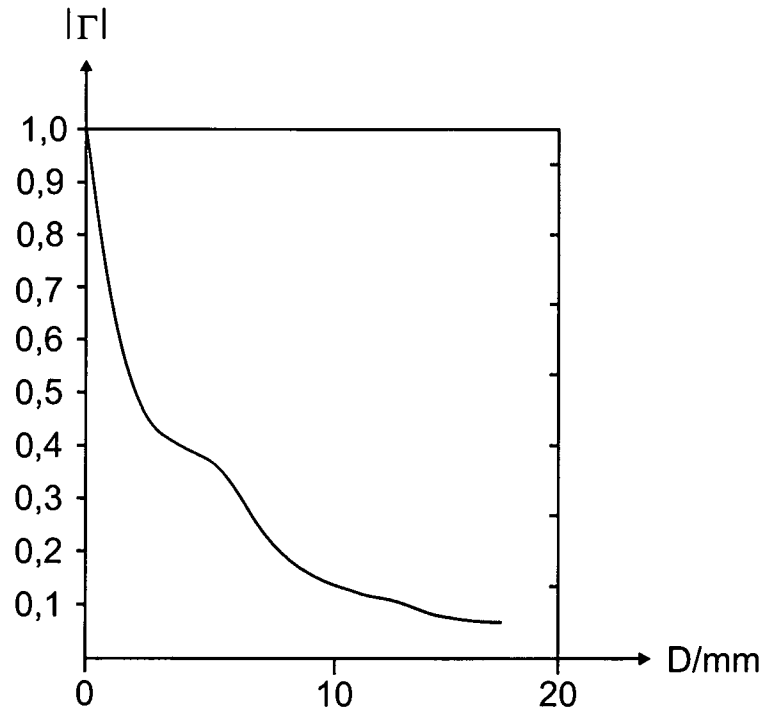


Fig. 6a

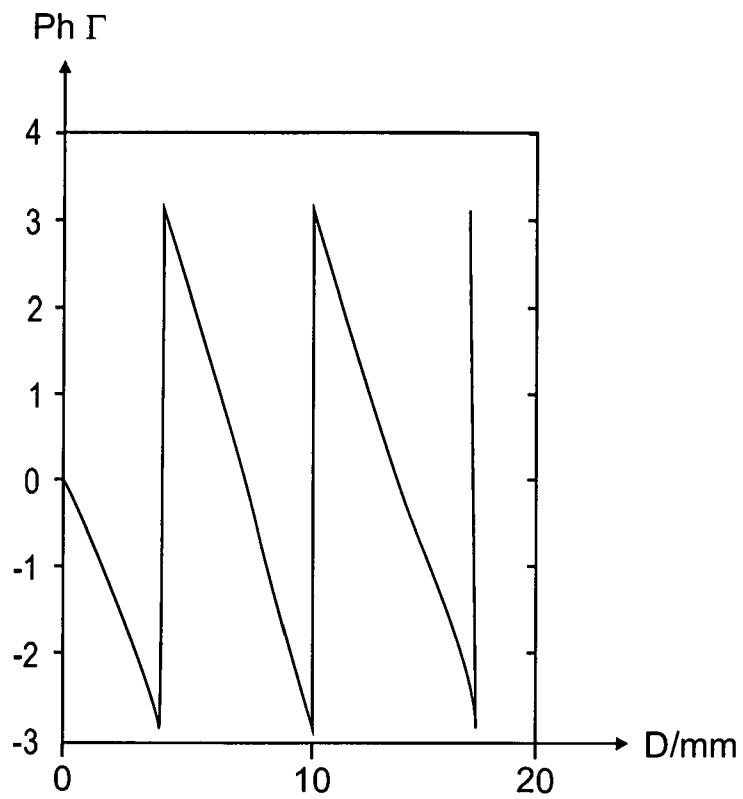


Fig. 6b

10/10

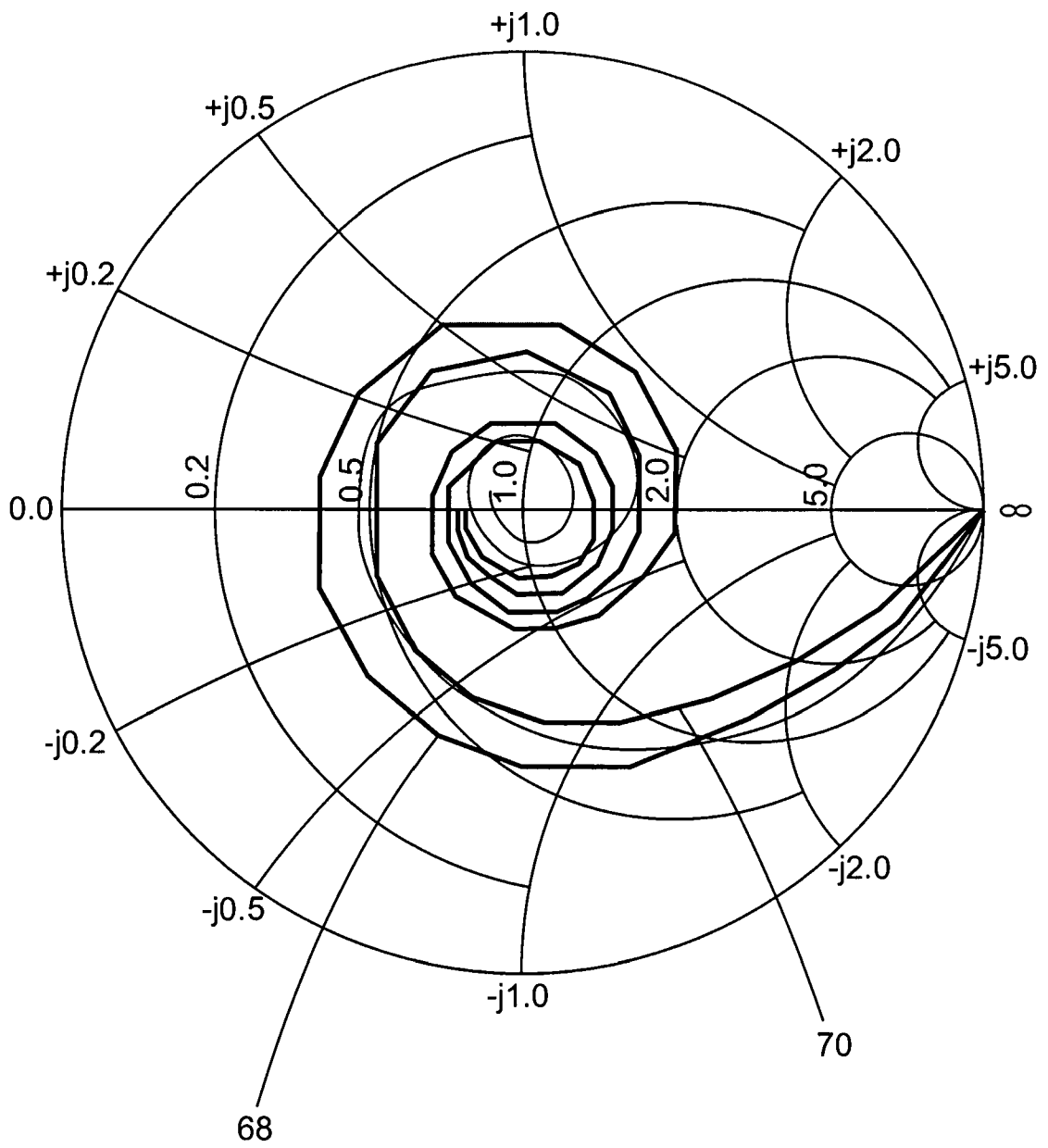


Fig. 7

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.: 9
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

see additional sheet PCT/ISA/210

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2013/000342

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S13/32 G01S13/36
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01S
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ANDREAS STELZER ET AL: "A Microwave Position Sensor with Submillimeter Accuracy", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 47, no. 12, 1 December 1999 (1999-12-01), XP011037843, ISSN: 0018-9480 the whole document ----- -/--	1-8, 10-27

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 25 February 2014	Date of mailing of the international search report 07/03/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Beer, Mark

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2013/000342

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>Christian G Diskus ET AL: "35 GHz six-port receiver for radar applications", 18 July 1999 (1999-07-18), XP055103850, DOI: 10.1117/12.365717 Retrieved from the Internet: URL:http://proceedings.spiedigitallibrary.org/data/Conferences/SPIEP/54285/355_1.pdf [retrieved on 2014-02-24] the whole document -----</p>	1-8, 10-27

Continuation of Box II.2

Claim no.: 9

In claim 9 it is unclear what is to be understood by “one-part unit” (PCT Article 6). Precisely in respect of the “signal-processing arrangement” as per figure 4a, which consists of many elements, the “being in one part” is unclear. The optional feature “of which the housing is preferably the waveguide” is also unclear (PCT Article 6). The scope of protection of claim 9 is hence unclear. The description also fails to explain what is to be understood by these features. The subject matter of claim 9 cannot therefore be carried out and consequently the requirement of PCT Article 5 is not met.

The applicant is advised that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established cannot normally be the subject of an international preliminary examination (PCT Rule 66.1(e)). In its capacity as International Preliminary Examining Authority the EPO generally will not carry out a preliminary examination for subject matter that has not been searched. This also applies in cases where the claims were amended after receipt of the international search report (PCT Article 19) or where the applicant submits new claims in the course of the procedure under PCT Chapter II. However, after entry into the regional phase before the EPO an additional search may be carried out in the course of the examination (cf. EPO Guidelines, C-VI, 7.2) if the defects that led to the declaration under PCT Article 17(2) have been corrected.

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr. 9
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
siehe BEIBLATT PCT/ISA/210

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01S13/32 G01S13/36
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01S

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ANDREAS STELZER ET AL: "A Microwave Position Sensor with Submillimeter Accuracy", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 47, Nr. 12, 1. Dezember 1999 (1999-12-01), XP011037843, ISSN: 0018-9480 das ganze Dokument ----- -/--	1-8, 10-27



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Februar 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/03/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Beer, Mark

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>Christian G Diskus ET AL: "35 GHz six-port receiver for radar applications", 18. Juli 1999 (1999-07-18), XP055103850, DOI: 10.1117/12.365717 Gefunden im Internet: URL:http://proceedings.spiedigitallibrary.org/data/Conferences/SPIEP/54285/355_1.pdf [gefunden am 2014-02-24] das ganze Dokument -----</p>	1-8, 10-27

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Fortsetzung von Feld II.2

Ansprüche Nr.: 9

In Anspruch 9 ist nicht klar, was unter einer "einteiligen Einheit" zu verstehen ist (Artikel 6 PCT). Gerade im Hinblick auf die "signalverarbeitende Anordnung" gemäß Figur 4a, die aus vielen Elementen besteht, ist die "Einteiligkeit" unklar. Auch das optionale Merkmal "deren Gehäuse vorzugsweise der Hohlleiter ist" ist nicht klar (Artikel 6 PCT). Der Schutzzumfang von Anspruch 9 ist damit unklar. Auch die Beschreibung klärt nicht, was unter den genannten Merkmalen zu verstehen ist. Der Gegenstand von Anspruch 9 ist daher nicht nacharbeitbar. Damit ist das Erfordernis von Artikel 5 PCT nicht erfüllt.

Der Anmelder wird darauf hingewiesen, dass Patentansprüche auf Erfindungen, für die kein internationaler Recherchenbericht erstellt wurde, normalerweise nicht Gegenstand einer internationalen vorläufigen Prüfung sein können (Regel 66.1(e) PCT). In seiner Eigenschaft als mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde wird das EPA also in der Regel keine vorläufige Prüfung für Gegenstände durchführen, zu denen keine Recherche vorliegt. Dies gilt auch für den Fall, dass die Patentansprüche nach Erhalt des internationalen Recherchenberichtes geändert wurden (Art. 19 PCT), oder für den Fall, dass der Anmelder im Zuge des Verfahrens gemäß Kapitel II PCT neue Patentansprüche vorlegt. Nach Eintritt in die regionale Phase vor dem EPA kann jedoch im Zuge der Prüfung eine weitere Recherche durchgeführt werden (Vgl. EPA-Richtlinien C-IV, 7.2), sollten die Mängel behoben sein, die zu der Erklärung gemäß Art. 17 (2) PCT geführt haben.