



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 000 314 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.04.2002 Patentblatt 2002/15

(21) Anmeldenummer: **98945135.6**

(22) Anmeldetag: **31.07.1998**

(51) Int Cl.7: **G01B 1/00, G01B 15/00**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP98/04815

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 99/06788 (11.02.1999 Gazette 1999/06)

(54) **Abstandsbestimmung mit einem offenen Hohlraumresonator**

Distance determination with an open cavity resonator

Détermination de distance avec une cavité résonateur ouverte

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT

(30) Priorität: **31.07.1997 DE 19733109**
23.02.1998 DE 19807593

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.05.2000 Patentblatt 2000/20

(73) Patentinhaber: **Mikrowellen-Technologie Und Sensoren GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **Trummer, Günther**
D-91083 Baiersdorf (DE)
• **Dr. Josef Wenger**
89250 Senden (DE)

(74) Vertreter: **Schneider, Michael et al**
HAMMONDS,
Rechtsanwälte/Patentanwälte,
Zweibrückenstrasse 17
80331 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A- 0 121 824	EP-A- 0 558 759
GB-A- 1 331 525	US-A- 3 522 527
US-A- 4 781 063	US-A- 4 890 054
US-A- 4 943 778	

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 012, 26. Dezember 1996 & JP 08 222951 A (FUJITSU GENERAL LTD), 30. August 1996**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 008, no. 204 (P-301), 18. September 1984 & JP 59 088673 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 22. Mai 1984**
- **Seite 645 aus dem Buch 'Principles and Practice of Radar' by H.E.Penrose, George Newness Ltd, London (GB), 1949**
- **Seiten 467 und 468 aus dem Buch 'Taschenbuch der Hochfrequenztechnik' herausgegeben von H.Meinke und F.W.Gundlach, Springer Verlag, Berlin (DE) 1962**

EP 1 000 314 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Abstandsmeßvorrichtung nach dem Oberbegriff der Ansprüche 1 oder 2. Sie betrifft auch ein Verfahren nach dem Anspruch 21.

[0002] Herkömmliche Abstandsmeßvorrichtungen vorzugsweise im Nahbereich arbeiten unter Verwendung von induktiven, kapazitiven, optischen oder Ultraschall-Sensoren. Für eine Messung mit induktiven Sensoren muß die Eichkurve festgelegt und auch das Material eines zu messenden Objekts muß bekannt sein. Ferner weisen die induktiven Sensoren beispielsweise einen 180°-Meßbereich auf, so daß sich zwei nebeneinanderliegende Sensoren gegenseitig beeinflussen und somit die Eichkurven des jeweiligen Sensors verändern können. Darüberhinaus sind derartige Sensoren lediglich in Ausführungsformen im Handel erhältlich, die einen Durchmesser von größer als 4mm (M4) betragen.

[0003] Der Nachteil für eine Messung mit kapazitiven Sensoren besteht darin, daß der Abstand zwischen den Kondensatorplatten exakt bekannt sein muß. Ferner unterliegt die Messung der Beeinflussung durch die Luftfeuchtigkeit, der allgemeinen elektromagnetischen Verträglichkeiten oder der Temperatur. Um die Messung unabhängig von diesen Parametern durchführen zu können, müßte je nach Erfordernis eine Referenzmessung durchgeführt werden, anhand derer dann die störende Beeinflussung eliminiert werden kann.

[0004] Aus der US-A 3522527 sind ferner zwei Hohlraumresonatoren bekannt, mit denen der Abstand zu entsprechenden Flächen gemessen wird, wobei durch die Gegenüberlage der beiden Hohlraumresonatoren indirekt der Abstand und somit die Dicke zwischen den zwei Flächen bestimmt wird. Um diese Messung durchzuführen, müssen jeweils die Hohlraumresonatoren einen separaten Sensor aufweisen, welcher beispielsweise auf herkömmliche Weise kompliziert mit dem Hohlraumresonator verbunden ist und somit einen entsprechend großen vorrichtungstechnischen Aufwand besitzt.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, eine Abstandsmeßvorrichtung zur Bestimmung des Abstands zu schaffen, welche bzw. welches die oben aufgeführten Nachteile überwindet und eine kontinuierliche Abstandsbestimmung, eine einfache Handhabung und vielseitige Einsatzmöglichkeiten erlaubt.

[0006] Diese Aufgabe wird mit den vorrichtungstechnischen Merkmalen des Anspruchs 1 oder 2 gelöst. Sie wird auch weiteren Verfahren nach dem Anspruch 21 gelöst.

[0007] Erfindungsgemäß weist der Sensor einerseits einen Resonator mit einer koplanaren Schlitzkopplung auf, und zwar in Form eines Hohlraumresonators. Mit dieser Maßnahme wird der Vorteil erzielt, daß kleinste Bauformen beispielsweise <M4 realisierbar sind und somit die Einsatzmöglichkeiten um ein Vielfaches erhöht werden. Aufgrund der Grundgeometrie eines Hohl-

raumresonators sind geringe Abstände zwischen mehreren parallel angeordneten Sensoren möglich, da der Sensor einen seitlich scharf begrenzten Meßbereich besitzt und daher in seinem Meßverhalten nicht durch parallel angeordnete Sensoren beeinflusst wird. Als Anwendungsgebiet ist es beispielsweise denkbar, daß die erfindungsgemäße Abstandsmeßvorrichtung bei der Richtungserkennung von bewegbaren Objekten bzw. bei einer platzsparenden Montage beispielsweise durch parallele Montage herangezogen werden kann.

[0008] Ferner kann der erfindungsgemäße Sensor als Schalter eingesetzt werden, mit dem Schaltpunktveränderungen ohne Neudimensionierung bzw. Änderungen des Sensorelements oder Hinzufügen weiterer elektronischer Bauelemente möglich werden. Damit wird der Vorteil erreicht, daß der Schaltpunkt beispielsweise über eine Software auf die jeweiligen Bedürfnisse einstellbar ist.

[0009] Der erfindungsgemäße Sensor ist ebenso in der Lage, sich näherende, leitfähige oder dielektrische Objekte zu erkennen und den Abstand zum Objekt mit einer Genauigkeit im Mikrometer-Bereich zu messen. Diese Art von Sensoren können beispielsweise als Näherungsschalter, zur kontinuierlichen Messung des Kolbenweges im Umkehrpunkt von pneumatischen und hydraulischen Zylindern, von Ventilstellungen oder zur Messung der Ausdehnung von Druckmembranen verwendet werden.

[0010] Erfindungsgemäß hängt bei leitfähigen Objekten der Meßabstand nicht von der Größe des Objekts ab, wenn man voraussetzt, daß das Objekt mindestens so groß ist wie der Durchmesser des Hohlraumresonators. Darüberhinaus ist generell eine Abstandsmeßung zu leitfähigen und dielektrischen Objekten möglich.

[0011] Wird der Sensor als Schalter eingesetzt, dann ist erfindungsgemäß eine Schaltpunktveränderung oder eine Neudimensionierung bzw. eine Änderung des Sensorelements auf einfache Weise zu bewerkstelligen. Da der Schaltpunkt z. B. über Software einstellbar ist, ist ferner der Vorteil gegeben, daß die Eingabe von Mehrfach-Schaltpunkten durch eine geeignete Software auf einfache Weise ermöglicht wird, wodurch man eine wesentlich höhere Einsatzflexibilität beispielsweise für eine Teile-Größenerkennung, für verschiedene Maschinenkonfigurationen, für eine Drehwinkelerkennung über Kurvenscheiben usw. erhält. Demgegenüber konnte - wie eingangs erwähnt - bei induktiven Sensoren die

[0012] Mehrfachschaltpunkte nur mit sehr großem Aufwand realisiert werden.

[0013] Aufgrund des in der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung verwendeten Meßverfahrens können auch mehrere Schaltpunkte über eine Logik miteinander verknüpft werden, wobei das Meßverfahren kontinuierlich arbeitet. So ist es beispielsweise von Vorteil, wenn drei Schaltpunkte bei der Abfrage eines Rotationszylinders benötigt werden.

[0014] Aufgrund einer kompakten Bauform ist für

Schaltabstände von beispielsweise 0,6, 0,8, 1,0, 1,5, 2,0 mm bzw. 5 mm bzw. ein Grundelement in allen gängigen Gehäusebauformen einsetzbar, wodurch eine Kostenersparnis erreicht wird und somit eine geringere Logistik benötigt wird.

[0015] Alternativ kann die Abstandsmeßvorrichtung, insbesondere der Resonator, eine Mikrostreifenleitung zur Einkopplung aufweisen, welche insbesondere dann angewendet wird, wenn es von Vorteil ist, daß die Auswertelektronik abgesetzt vom Resonator aufgebaut werden muß, und zwar beispielsweise bei Anwendungen, in denen eine hohe Temperatur auftritt.

[0016] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der weiteren Unteransprüche.

[0017] Es hat sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, wenn der Resonator ein Hochfrequenzresonator ist, dessen Resonanzfrequenz vorzugsweise in Abhängigkeit zum Objekt zwischen 1 bis 100 GHz, vorzugsweise 20 und 30 GHz liegt. Bei bestimmten Anwendungen ist es ferner vorteilhaft den Hochfrequenzresonator mit einer Frequenz zwischen 22 und 24 GHz sowie 24 und 26 GHz oder jedem anderen Bereich mit vorzugsweise 2 GHz Bandbreite bzw. mit einer Bandbreite von ungefähr 10 Prozent der verwendeten Frequenz durchzustimmen.

[0018] Wir die erfindungsgemäße Abstandsmeßvorrichtung mit einem Resonator ausgestattet, der eine zylindrische Form aufweist und dessen zum Objekt zeigende Grundfläche offen, d. h. nichtmetallisiert ist, so ist eine Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz nicht gegeben.

[0019] Wird der Hohlraumresonator gemäß Anspruch 5 beispielsweise mit einem Dielektrikum, vorzugsweise Al_2O_3 , gefüllt, so kann die gesamte Abstandsmeßvorrichtung klein bauen.

[0020] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß es zwar generell von Vorteil ist, wenn der Meßbereich möglichst groß ist, was aber bedeutet, daß die Dielektrizitätskonstante ϵ klein sein sollte. Idealerweise wird dies dadurch erreicht, indem der Hohlraumresonator ungefüllt, d. h. ohne Dielektrikum ausgestattet wird. Nachteilig an dieser Anordnung ist aber, daß der Hohlraumresonator zur Erreichung eines großen Meßbereiches dann groß baut. Mit Dielektrikum baut der Hohlraumresonator bei ungefähr gleichbleibendem Meßbereich aber klein. Es muß jedoch darauf geachtet werden, daß die Dielektrizitätskonstante des Dielektrikums nicht zu groß wird (vorzugsweise ≤ 10), da sonst die Verluste zunehmen und der Entfernungsbereich abnimmt. Bei Verwendung einer Keramik als Dielektrikum wird ferner der Vorteil erzielt, daß temperaturfeste Anwendungen bis 1000°C möglich sind und der Einsatz zur hochdynamischen Druckmessung in Verbrennungsmotoren möglich ist. Die erfindungsgemäße Abstandsvorrichtung ist somit druckfest und daher auch beispielsweise in Hydraulik-Zylindern einsetzbar.

[0021] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, daß gemäß Anspruch 9 lediglich die Oberfläche des Dielektri-

kums mit Ausnahme der zum Objekt zeigenden Grundfläche mit einer dünnen Goldschicht überzogen bzw. aufgesputtert ist, so daß die Funktion über der Temperatur nur von dem Temperaturkoeffizienten beispielsweise der Keramik und nicht von dem Gehäuse abhängt.

[0022] Das Sensorelement besteht aus einer Keramik und einem Metallgehäuse und kann mit der Auswertelektronik über eine geeignete Hochfrequenz-Leitung, z. B. einen Hohlleiter verbunden werden. Aufgrund dessen ist es möglich das Sensorelement für Hochtemperaturanwendung bis ca. 1000°C , z. B. in Verbrennungsmotoren einzusetzen.

[0023] Unabhängig von der Messung eines Abstands kann die Abstandsmeßeinrichtung vorteilhaft auch zur Messung weiterer physikalischer Größen wie Druck, Kraft oder Masse und von Materialeigenschaften, wie dem Verlustfaktor von dielektrischen Materialien eingesetzt werden. Hierbei wird die offene Seite des Hohlraumresonators mit einer Materialprobe im festen Abstand zu diesem abgeschlossen. Im Falle des Drucksensors würde vorzugsweise eine piezoelektrische Keramikscheibe im Abstand Null angebracht. Wirkt nun Druck, eine Kraft oder Masse auf die piezoelektrische Keramik, dann verändert diese ihre Dielektrizitätskonstante. Die Änderung der Dielektrizitätskonstanten hat eine Verschiebung der Resonanzfrequenz zur Folge. Durch die Bestimmung der Resonanzfrequenz mit den vorrichtungstechnischen Merkmalen aus Anspruch 1 oder 2 läßt sich der Druck, die Kraft oder Masse auf die piezoelektrische Keramik bestimmen.

[0024] Wird gemäß Anspruch 10 das Dielektrikum in ein metallisches Gehäuse vorzugsweise aus Kovar oder Titan eingeschoben, ist eine geeignete Hochtemperaturanwendung denkbar, wobei dann der Hohlraumresonator im ungefüllten Zustand auch bei hohen Temperaturen eine große Meßgenauigkeit aufweist und im gefüllten Zustand die Ausdehnung als solche exakt kontrollierbar ist.

[0025] Weist die Abstandsmeßvorrichtung gemäß Anspruch 11 und insbesondere der Resonator eine koplanare Schlitzkopplung auf der dem Objekt abgewandten Seite des Resonators auf, so wird aufgrund dieser Anordnung gewährleistet, daß die Einkopplung der Resonanzfrequenz an geeigneter Stelle und einfach erfolgen kann.

[0026] Je nach Betriebsweise der Abstandsmeßvorrichtung kann die koplanare Schlitzkopplung aus je einem Koppelschlitz für Sender und Empfänger gemäß Anspruch 12 bestehen, welche kreisförmig angeordnet sind und was einer Transmissionsmode entspricht, oder die koplanare Schlitzkopplung aus einem Koppelschlitz für Sender und Empfänger besteht, was dem Betreiben in einer Reflexionsmode entspricht.

[0027] Wird gemäß Anspruch 14 die Abstandsmeßvorrichtung beispielsweise in den H_{0np} -Moden, vorzugsweise in der H_{011} -Mode betrieben, so kann der Resonator in einem großen Bereich von Re-

sonanzfrequenzen schwingen, in denen keine weiteren Moden mitangeregt werden, um so die Meßgenauigkeit groß zu halten. Darüber hinaus ist bei Anregung der H_{011} -Mode der Vorteil gegeben, daß dann keine Wandströme über die Kanten zwischen Mantel- und Abschlußfläche fließen.

[0028] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche.

[0029] Unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Zeichnungen sollen einzelne Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dargestellt werden.

Fig. 1 zeigt eine Schnittansicht der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 2 zeigt eine Rückansicht der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung gemäß Fig. 1;

Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm der Schaltung für die erfindungsgemäße Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 4 zeigt das Reflektions- bzw. Transmissionsverhalten als Funktion der Resonanzfrequenz bei verschiedenen Abständen zum Objekt der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 5 zeigt ein Diagramm der Abhängigkeit von Entfernung zum Objekt und Resonanzfrequenz;

Fig. 6 zeigt die Moden-Charakteristik eines kreisförmigen Zylinders für die Dimensionierung des Resonators der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 7 zeigt ein weiteres Blockdiagramm für eine weitere Ausführungsform der Schaltung der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 8 zeigt verschiedene Positionierungen einer besonderen Anwendung für die erfindungsgemäße Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 9 zeigt eine weitere Anwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung;

Fig. 10 zeigt ebenfalls eine weitere Anwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung beispielsweise für eine Stoßdämpfer-Abfrage;

Fig. 11 zeigt eine Anwendungsmöglichkeit für die Detektion einer Kolbenposition in einem Ventil;

Fig. 12 zeigt eine weitere Anwendungsmöglichkeit, beispielsweise eine Druckmessung durch Erfassung der Auslenkung einer Membran;

Fig. 13a, 13b zeigt eine weitere Anwendungsmög-

lichkeit, beispielsweise eine Druckmessung durch Änderung der Dielektrizitäts-Konstanten unter mechanischer Belastung.

5 Fig. 14 zeigt eine weitere Anwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung, beispielsweise bei der Objektvermessung;

10 Fig. 15 zeigt eine weitere Anwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung, beispielsweise für einen Füllstandssensor.

[0030] Wie in Fig. 1 gezeigt ist, weist die Abstandsmeßvorrichtung einen Resonator in Form eines Hohlraumresonators 1 auf, der aus einem metallischen Gehäuse 5, vorzugsweise aus Titan oder Kovar gebildet ist. In diesem metallischen Gehäuse, welches vorzugsweise konisch zulaufend ausgebildet ist, kann wahlweise ein Dielektrikum 7 beispielsweise in Form einer Keramik z. B. Al_2O_3 oder in Form eines fluidischen Materials, vorzugsweise Luft oder inertes Gas wie z. B. Edelgase oder Stickstoff, eingebracht werden. Die Keramik kann, wie in Fig. 1 gezeigt, in das Gehäuse eingeschoben werden. Das Dielektrikum 7 selbst ist mit Ausnahme der offenen, zum Objekt 3 gerichteten Seite metallisiert, beispielsweise vergoldet. Damit wird der Vorteil erreicht, daß die Funktion über der Temperatur nur von dem Temperaturkoeffizienten des Dielektrikums 7 und nicht von jenem des metallischen Gehäuses abhängt.

30 **[0031]** Auf der Rückseite des Hohlraumresonators wird ein Substrat 9, z. B. ebenfalls Keramik, als Träger für die Einkopplungsmimik beispielsweise in Form einer koplanaren Schlitzkopplung oder einer Mikrostreifenleitung und die aktiven Bauteile der Auswerteelektronik bzw. in Form der Hochfrequenzelektronik positioniert. Über diese Anordnung wird die elektromagnetische Welle eingekoppelt. Diese Rückseite kann ebenfalls vergoldet sein und die gesamte Hochfrequenz-Elektronik 11 tragen.

40 **[0032]** Aufgrund der Verwendung des Dielektrikums 7 wird erreicht, daß die geometrischen Abmessungen des Hohlraumresonators bei Beibehaltung der gleichen Sendefrequenz verkleinert werden können. Wie es generell bekannt ist, läßt sich die Resonanzfrequenz f_r eines zylindrischen H_{mnp} -Resonators aus ϵ , μ , den n-ten Nullstellen der Ableitung der Bessel-Funktion m-ter Ordnung, sowie dem Durchmesser D des Hohlraumresonators und der Länge L des Hohlraumresonators bestimmen. Der funktionelle Zusammenhang zwischen $\epsilon\mu$ ($f_r D$)² und $(D/L)^2$ läßt sich übersichtlich in einem sogenannten Modendiagramm gemäß Fig. 6 darstellen. Aus diesem sogenannten Modendiagramm lassen sich auch relativ einfach Bereiche identifizieren, in denen keine weiteren Moden ausbreitungsfähig sind. Durch Isolation der Resonatordeckfläche vom Zylindermantel, das entspricht einem offenen Resonator mit H_{0np} -Moden, kann eine weitere Moden-Selektion erfolgen. Es hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, daß der

Hohlraumresonator so ausgelegt wird, daß als Wellentyp die H_{0np} -Moden, vorzugsweise der H_{011} -Moden ausbreitungsfähig ist, da keine Wandströme über die Kanten zwischen Mantel- und Abschlußfläche fließen. Entsprechend der Linie des H_{011} -Moden gemäß Fig. 6 ist nur ein Abschnitt zu suchen, in dessen Umgebung keine Kennlinie anderer Moden auftritt, so daß auch bei gewissen Schwankungen der mechanischen Resonatorabmessungen und beim Durchstimmen der Frequenz keine andere Mode angeregt wird.

[0033] In Fig. 2 ist die Rückseite des Hohlraumresonators 1 gemäß Fig. 1 gezeigt. Anhand dieser Figur kann die Einkopplung der elektromagnetischen Welle in den Hohlraumresonator deutlicher dargestellt werden, welche in dieser Figur einer koplanaren Schlitzkopplung entspricht. Die Rückseite des Hohlraumresonators ist mit einem Substrat 9, vorzugsweise Keramik versehen. Die Außenoberfläche des Substrats 9 ist vorzugsweise vergoldet. Ausgespart bleiben nur die Einkoppelschlitz 13 und 15 in den Hohlraumresonator 1. An den Stellen maximaler Feldstärke beispielsweise halber Radius des Dielektrikums 7 wird über die Schlitzkopplung die elektromagnetische Welle eingespeist. Die Größe der Koppelschlitz 13 und 15 richtet sich nach den Abmessungen des Dielektrikums 7. Bei einem Durchmesser des Dielektrikums 7 von z. B. 6 mm beträgt die Größe ca. 0,3 mm mal 0,2 mm. Die elektromagnetische Welle selbst wird über eine koplanare 50 Ω -Leitung an den Schlitz herangeführt und über einen Bonddraht 17, z. B. 17,5 μ m Golddraht 17 in den Schlitz 13 eingekoppelt. Um eine optimale Anpassung zu erzielen, ist der Bonddraht 17 auf der gegenüberliegenden Seite mit einer Leitungsstruktur, welche isoliert ist, abgeschlossen werden.

[0034] Mit dieser Anordnung kann der Hohlraumresonator 1 sowohl in Transmissions- als auch in Reflexionsmoden betrieben werden. Wird der Hohlraumresonator 1 im Transmissionsmode betrieben, dann wird die elektromagnetische Welle an einem zweiten Koppelschlitz 15 mit der bereits beschriebenen koplanaren Aus- bzw. Einkopplung ausgekoppelt. Im Reflektionsmode ist dieser Ausgang mit 50 Ω abgeschlossen. Wie bereits oben erwähnt, kann bei kleineren Durchmessern des Dielektrikums 7 in vorteilhafter Weise auch eine Mikrostreifenleitungs-Einkopplung verwendet werden. Ebenfalls auf der Rückseite ist beispielsweise ein Oszillator 19, beispielsweise ein Voltage-Controlled-Oscillator (VCO), eine Nachweisdiode 21 und ein Frequenzteiler 23 vorgesehen, welche mit einer Auswerteelektronik verbunden sind.

[0035] In Fig. 3 ist ein Gesamtschaubild bzw. ein Blockdiagramm der Funktionsweise einer vorteilhaften Ausgestaltung der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung dargestellt. Ausgehend von einer Steuerungs- und Auswerteelektronik wird über eine Rampensteuerung ein Rampengenerator angesteuert, wodurch die Frequenz des Sendezweigs I durchgestimmt wird. Gleichzeitig wird über den Empfangszweig

II ein mit der Detektordiode verbundener Resonanzdetektor beispielsweise bestehend aus einem zweistufigen Differenzierer und einem Komparator an der zweiten Ableitung laufend überwacht, ob ein aus dem Empfangszweig II abgegriffenes Videosignal eine Resonanz anzeigt. Die Resonanz ist dadurch erkennbar, daß es sich von einer Nicht-Resonanz in einer hohen Steilheit in einem Videosignal des Empfangszweiges bei zunehmender Oszillatorfrequenz unterscheidet (s. Fig. 4). Sobald von der Steuerungs- und Auswerteelektronik die Resonanz erkannt wird, wird ein Integrator, welcher die Rampensteuerung steuert, gestoppt. Die so eingestellte Spannung wird stabil gehalten, wobei die durch die Frequenzteiler 23 heruntergeteilte Oszillatorfrequenz von einem digitalen Zähler in der Auswerteelektronik ermittelt wird.

[0036] Auf diese Weise wird die Resonanzfrequenz im Hohlraumresonator gemessen. Da die Resonanzfrequenz im Hohlraumresonator von der Entfernung des Objekts abhängig ist (siehe Fig. 5), kann durch Bestimmung der Resonanzfrequenz direkt auf die Entfernung geschlossen werden. Die neue Resonanzfrequenz wird dadurch ermittelt, daß die Sendefrequenz solange verändert wird, bis die Resonanzfrequenz und Sendefrequenz übereinstimmen. Zu diesem Zeitpunkt wird an der Detektordiode ein Leistungseinbruch festgestellt. Parallel hierzu wird die Sendefrequenz am Teilerausgang des Frequenzteilers 23 ermittelt. Die Meßgenauigkeit des Abstands zum Objekt hängt davon ab, wie schnell und mit welcher Genauigkeit die Sendefrequenz bestimmt wird. Die Bestimmung der Entfernung mit einer Meßgenauigkeit von 1 μ m erfordert typischerweise bei einem Abstand von 0,5 mm eine Genauigkeit bei der Frequenzbestimmung von mindestens 0,5 MHz bei 26GHz.

[0037] Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung sollen die in den Figs. 4 und 5 dargestellten Meßwerte dienen.

[0038] Wie in Fig. 4 deutlich zu erkennen ist, zeigen die Reflektions- und Transmissionscharakteristik, welche als Funktion der Resonanzfrequenz bei verschiedenen Abständen zum Objekt dargestellt ist, deutliche Signaleinbrüche, die bei Erreichen der Resonanzfrequenz bei festgelegtem Abstand zum Objekt auftreten. Außerdem ist eine deutliche Übereinstimmung der Signaleinbrüche zwischen Reflektions- und Transmissionscharakteristik wiederzuerkennen.

[0039] In Fig. 5 ist die Abhängigkeit der Entfernung und der Resonanzfrequenz dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, daß bei kleinerem Abstand eine deutlichere Resonanzfrequenzverschiebung auftritt, welche die Meßgenauigkeit insbesondere bei Objekten, welche dicht vor dem Hohlraumresonator positioniert sind, gemessen werden. Hierbei ist zu beachten, daß bei zunehmendem Abstand zum Objekt die Resonanzfrequenz abnimmt. Dagegen nimmt die Resonanzfrequenz bei dielektrischen Objekten mit zunehmendem

Abstand zum Objekt zu. Die Richtungsänderung der Resonanzfrequenz hängt somit von der Dielektrizitätskonstante des Objekts ab. Diesen Effekt kann man erfindungsgemäß ausnutzen, um die physikalischen Größen Druck, Kraft und Masse zu messen bzw. zu bestimmen. Hierbei wird die offene Seite des Hohlraumresonators vorzugsweise mit einer piezoelektrischen Keramik abgeschlossen. Wirkt dann auf die piezoelektrische Keramik ein Druck, eine Kraft oder eine Masse, dann verändert diese entsprechend ihre Dielektrizitätskonstante. Die Änderung der Dielektrizitätskonstanten verschiebt die Resonanzfrequenz des Hohlraum-Resonators. Entsprechend Fig. 5 bewegt man sich dann abhängig von der jeweiligen Dielektrizitätskonstanten auf der y-Achse ($x=0$).

[0040] In Figur 6 ist eine allgemeine Übersicht der anzuregenden Moden eines kreisförmigen Zylinders dargestellt. Je nach Größe des Zylinders kann anhand dieses Schaltbildes die geeignete Moden (TM=E-Feldkomponenten und TE=H-Feldkomponenten) ausgewählt werden.

[0041] Zur Abstandsbestimmung im Mikrometer-Bereich kann eine weitere Ausgestaltung der Auswertelektronik bei der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung eingesetzt werden, die unter Bezugnahme des Blockschaltbildes gemäß Fig. 7 näher erläutert wird.

[0042] Der wesentliche Unterschied zu der oben beschriebenen Abstandsermittlung besteht darin, daß die heruntergeteilte Oszillatorfrequenz nicht direkt als Ergebnisgröße dient, sondern in einer Frequenz- und Phasenregelungsschleife einer sogenannten phase-locked loop (PLL) verwendet wird. Hierbei wird die Sollfrequenz über einen direkten digitalen Synthesizer (DDS) auf eine Frequenz eingestellt, die als Führungsgröße in die Regelschleife eingeht. Erfüllt das von dem Empfangszweig II aufgenommene Videosignal die Resonanzbedingung, ist in einem in der Auswertelektronik enthaltenen Mikrocontroller bereits die Resonanzfrequenz und damit die Entfernung zum Ziel bekannt. Durch das Wegfallen der Meßzeit für die Oszillatorfrequenz und die Verwendung z. B. eines Resonanzfolgealgorithmus in einem in der Auswertelektronik vorhandenen Mikrocontroller kann die Zyklusdauer deutlich verkürzt werden und damit die Meßgenauigkeit wesentlich erhöht werden.

[0043] Im folgenden soll anhand einiger Anwendungsgebiete die Einsatzmöglichkeiten der anmeldungsgemäßen Abstandsmeßvorrichtung anhand eines Hochfrequenz-Annäherungssensors dargestellt werden.

A. Detektion der Kolbenposition:

[0044] In Bild 8 sind die möglichen Sensoranordnungen zur Kolbenpositionsabfrage eines linearen Zylinderantriebs mit dem Hochfrequenzannäherungssensor gemäß anmeldungsgemäßer Abstandsmeßvorrichtung

aufgezeigt.

[0045] Eine mögliche Sensoranordnung zur Stellungenabfrage eines Rotationsantriebs mit dem Hochfrequenz-Annäherungssensor ist für einen Rotationsantrieb in Bild 9 aufgezeigt. Da ein derartiger Hochfrequenz-Annäherungsschalter äußerst flach baut, können bei mehreren Schaltpunkten zudem mehrere Stellungen mit dem Sensorelement realisiert werden, wobei die Einstellung beispielsweise über Potentiometer oder eine Teach-in Logik erfolgen kann.

B. Detektion der Kolbenposition eines Stoßdämpfers

[0046] In Fig. 10 ist der schematische Aufbau eines Stoßdämpfers mit integriertem Hochfrequenz-Annäherungssensor dargestellt.

[0047] Allgemein läßt sich das erfindungsgemäße Prinzip auch auf Ventile mit beweglichen mechanischen Teilen (s. Fig. 11) anwenden, wobei durch die Positionsänderung des mechanischen Teils die Ventildurchflußmöglichkeiten geregelt werden. Bisherige Positionsabfragen wurden in der Pneumatik durch magnetfeldempfindliche Sensoren realisiert, die auf den Permanentmagneten auf den Kolben bzw. Stößel des Ventils reagieren. Es zeigte sich dabei aber, daß für kostengünstige Lösungen nur diskrete Positionsbereiche durch den ortsfest montierten und auf die zu erfassenden Positionen justierten Sensor detektiert werden können. In der Hydraulik ist eine magnetische Abfrage wegen der üblicherweise verwendeten ferromagnetischen Werkstoffe nur bedingt möglich.

C. Druckmessung durch Erfassen der Membranauslenkung

[0048] In Fig. 12 sind unterschiedliche Druckmessungen, d. h. Absolutdruck bzw. Relativ- bzw. Differenzdruck-Messmöglichkeiten dargestellt. In diesem besonderen Anwendungsbeispiel wird die Druckbestimmung dadurch erreicht, daß eine sich auf den HF-Annäherungssensor zu- bzw. wegbewegende Membran abstandsmäßig detektiert wird. Gegenüber heutigen Systemen, z.B. piezoresistiven Dehnungsmeßstreifen (DMS) oder Siliziumelementen hat die anmeldungsgemäße Vorrichtung den Vorteil, daß sich die empfindliche Elektronik außerhalb der Druckmeßzelle befindet.

D. Druckmessung durch Änderung der Dielektrizitätskonstanten unter mechanischer Belastung, vorzugsweise einer piezoelektrischen Keramik

[0049] Für die Druckmessung bei sehr hohen Drücken ist die indirekte Bestimmung des Druckes über eine Wegmessung, beispielsweise durch einen sich zu- bzw. wegbewegenden Membran, aufgrund der auftretenden Kräfte nicht geeignet.

[0050] Gemäß dieser Ausführungsform wird die Messung der physikalischen Größe Abstand durch die Ma-

terialeigenschaft druckabhängige Dielektrizitätskonstante ersetzt. Hierbei wird der dielektrisch gefüllte Hohlraumresonator an der offenen Seite vorzugsweise mit einer piezoelektrischen Keramik abgeschlossen (s. Fig. 13). Die piezoelektrische Keramik wird fest auf den bei der anmeldungsgemäßen Abstandsvorrichtung verwendeten Sensor montiert. Es ergibt sich dann im eingeschalteten Zustand des Sensors eine feste Resonanzfrequenz. Wird nun die piezoelektrische Keramik auf der, dem Sensor abgewandten Seite mit Druck P innerhalb einer Druckmeßzelle und damit mit einer Kraft beaufschlagt, dann verändert sich die Dielektrizitätskonstante der piezoelektrischen Keramik. Diese Änderung hat zur Folge, daß sich die Resonanzfrequenz verschiebt. Die Auswertung dieser Frequenzänderung und damit die Umrechnung in die entsprechende Druckänderung erfolgt vorzugsweise nach dem zur Figur 3 und Figur 7 beschriebenen Verfahren.

[0051] Der gesamte Hohlraum des Resonators kann auch bei diesem Anwendungsbeispiel mit piezoelektrischer Keramik gefüllt sein (siehe Fig. 13b).

[0052] Ein großer Vorteil dieser Anordnung zu herkömmlichen Meßverfahren mit DMS oder kapazitiven Druckmeßzellen besteht in ihrer hohen mechanischen Stabilität. Die piezoelektrische Keramik wird mechanisch komplett vom Resonator abgestützt, insbesondere dann, wenn das Resonatorgehäuse hierbei konisch zuläuft und der innen gelagerten Keramik die nötige Stabilität für Hochdruckanwendungen gibt.

[0053] Weitere Vorteile zu herkömmlichen Meßverfahren liegen darin, daß die Justage bzw. hohe Präzision beim Einbau in die Druckmeßzelle entfällt und die empfindliche Elektronik sich außerhalb der Druckmeßzelle befindet.

E. Objektvermessung

[0054] Bei der Objektvermessung gemäß Fig. 14 wird die Bewegung der Meßspitze, welche durch ein Objekt auf den HF-Annäherungssensor hin- oder wegbewegt wird, gemessen. Aufgrund der anmeldungsgemäßen Abstandsmessvorrichtung können somit auch Messungen im Mikrometer-Bereich durchgeführt werden.

F. Füllstandssensor bzw. Wächter

[0055] Die in Fig. 15 dargestellte Anwendungsmöglichkeit betrifft beispielsweise einen Füllstandssensor. In den Figs. 15a, b, c sind verschiedene Einbauorte des Hochfrequenzannäherungssensors dargestellt. In den Fällen Fig. 15a und 15b wird jeweils der Abstand des zu messenden Pegels in einem separaten Fühlerrohr, welches extern oder intern angeordnet ist, gemessen. In der Anordnung gemäß Fig. 15c wird der Hochfrequenz-Annäherungssensor extern zur Überwachung auf einen entsprechenden Pegel der maximalen Füllstandshöhe verwendet. Damit ist in vorteilhafter Weise die Überwachung einer maximalen Füllstandshöhe bzw. eines vor-

gegebenen eingestellten Erfassungsbereichs gewährleistet, wobei beim Unterschreiten der maximalen Füllstandshöhe oder Austreten außerhalb des eingestellten Erfassungsbereiches ein Schaltsignal angezeigt wird.

[0056] Wird hingegen der Hochfrequenz-Annäherungsschalter extern als Füllstandsschalter verwendet, kann über die entsprechende Schaltfunktion das Über- bzw. Unterschreiten eines vorgegebenen Füllstandes angezeigt werden. Durch diese externe Anordnung kann auf einen aufwendigen Integrationsaufwand verzichtet werden. Das System gemäß Fig. 14c kann zur Adaption an bestehende Wartungsgeräte mit HF-transparenten Schalen verwendet werden.

[0057] An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die anmeldungsgemäße Abstandsmessvorrichtung neben den oben aufgeführten Anwendungsgebieten überall dort eingesetzt werden kann, wo eine Abstandsmessvorrichtung bis in den Mikrometerbereich erforderlich ist.

Patentansprüche

1. Abstandsmessvorrichtung mit einem Sensor und einer Auswertelektronik, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sensor einen Resonator in Form eines Hohlraumresonators mit Resonatorgehäuse aufweist, wobei der Resonator eine koplanare Schlitzkopplung mit Einkopplungsleitung aufweist und die Einkopplungsleitung an dem Resonatorgehäuse abgeschlossen ist.
2. Abstandsmessvorrichtung mit einem Sensor und einer Auswertelektronik, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sensor einen Resonator in Form eines Hohlraumresonators mit Resonatorgehäuse aufweist, wobei der Resonator eine Mikrostreifenleitung zur Einkopplung aufweist, wobei die Mikrostreifenleitung an dem Resonatorgehäuse abgeschlossen ist.
3. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Resonator einen Hochfrequenzresonator aufweist, dessen Resonanzfrequenz je nach Abstand zu einem Objekt zwischen 1 und 100 GHz, vorzugsweise zwischen 20 und 30 GHz, insbesondere zwischen 22 und 26 GHz liegt.
4. Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlraumresonator eine zylindrische Form aufweist, dessen zum Objekt zeigende Grundfläche offen, d. h. nichtmetallisiert ist.
5. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlraumresona-

- tor mit einem fluidischen Material, vorzugsweise Luft oder einem inertem Gas, gefüllt ist.
6. Abstandsmesseinrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlraumresonator mit einem Dielektrikum, vorzugsweise Al_2O_3 gefüllt ist. 5
7. Abstandsmesseinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlraumresonator eine offene Seite aufweist, die mit einer dünnen Scheibe eines Materials, vorzugsweise einer piezoelektrischen Keramik, abgeschlossen wird und dieses Material die Eigenschaften aufweist, durch entsprechende Belastung mit Druck, einer Kraft oder Masse ihre Dielektrizitätskonstante zu ändern. 10
8. Abstandsmesseinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Hohlraumresonator mit dielektrischem Material, vorzugsweise piezoelektrischer Keramik gefüllt wird und das dielektrische Material die Eigenschaft aufweist, durch entsprechende Belastung mit Druck, einer Kraft oder Masse die Dielektrizitätskonstante zu ändern. 15
9. Abstandsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Oberfläche des Dielektrikums, mit Ausnahme der zum Objekt zeigenden Grundfläche mit einer dünnen Goldschicht überzogen ist, vorzugsweise aufgesputtert ist. 20
10. Abstandsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 6, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Dielektrikum in ein metallisches Gehäuse, vorzugsweise aus Kovar oder Titan bestehend, eingeschoben wird. 25
11. Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Schlitzkopplung auf der dem Objekt abgewandten Seite des Resonators vorgesehen ist. 30
12. Abstandsmesseinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** die koplanare Schlitzkopplung aus je einem Koppelschlitz für Sender und Empfänger besteht (Transmissionsmode), die kreisförmig angeordnet sind. 35
13. Abstandsmesseinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** die koplanare Schlitzkopplung aus einem Koppelschlitz für Sender und Empfänger besteht (Reflektionsmode). 40
14. Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einkopplung und der Resonator als Wellentyp die H_{0np} -Moden, vorzugsweise die H_{011} -Mode, zuläßt. 45
15. Abstandsmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sensor eine Hochfrequenz-Elektronik mit einem Sende- und Empfangszweig aufweist. 50
16. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Sendezweig aus einem Oszillator, vorzugsweise einem Voltage Controlled Oszillator (VCO), besteht. 55
17. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Empfangszweig aus mindestens einer Hochfrequenz-Diode besteht.
18. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Oszillatorfrequenz über eine geschlossene Regelschleife einer Sollfrequenz (Führungsgröße) folgt.
19. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regelschleife (PLL: Phase Locked Loop) aus mindestens einem Frequenzteiler, einem Phasendiskriminator und einem Tielpaßfilter besteht und die Sollfrequenz über einen DDS (Direct Digital Synthesizer) vorgegeben wird (dynamische Frequenzregelung bzw. -bestimmung).
20. Abstandsmessvorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regelschleife aus mindestens einem Frequenzteiler besteht und vorzugsweise über einen Frequenzzähler, Mikrocontroller und Digital-Analogwandler geschlossen wird (statische Frequenzregelung bzw. -bestimmung).
21. Verfahren zur Bestimmung eines Abstands eines Objekts zu einer Abstandsmessvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, welches die Schritte aufweist:
- Bereitstellen des Hohlraumresonators;
 - Bestimmung der Resonanzfrequenz, um den Abstand zum Objekt zu ermitteln.
22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Bestimmung der Resonanzfrequenz so erfolgt, daß ein im Sendezweig vorgesehener Oszillator solange in seiner Sendefrequenz verstimmt wird, bis im Empfangszweig ein Leistungseinbruch bei einer Resonanz festgestellt ist.
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Sendefrequenz des Oszillators durch eine Rampensteuerung und einen Rampengenerator verstimmt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Sendefrequenz des Oszillators über einen direkten digitalen Synthesizer (DDS) eingestellt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** alternativ zu Schritt b) eine Bestimmung der Resonanzfrequenz erfolgt, um bei Abstand Null zum Objekt den Druck, die Kraft oder Masse auf das Objekt zu ermitteln.

Claims

1. Distance-measuring device with a sensor and an evaluation electronics unit, **characterized in that** the sensor has a resonator in the form of a cavity resonator with resonator housing, the resonator having a coplanar slot coupling with in-coupling line and the in-coupling line being terminated at the resonator housing.
2. Distance-measuring device with a sensor and an evaluation electronics unit, **characterized in that** the sensor has a resonator in the form of a cavity resonator with resonator housing, the resonator having a microstrip line for coupling, and the microstrip line being terminated at the resonator case.
3. Distance-measuring device according to claim 1 or 2, **characterized in that** the resonator has a radiofrequency resonator whose resonance frequency, depending on the distance to an object, lies between 1 and 100 GHz, preferably between 20 and 30 GHz, particularly between 22 and 26 GHz.
4. Distance-measuring device according to any of claims 1 to 3, **characterized in that** the cavity resonator shows a cylindrical shape whose base surface facing towards the object is open, i. e. not metallized.
5. Distance-measuring device according to claim 4, **characterized in that** the cavity resonator is filled with a fluid material, preferably air or an inert gas.
6. Distance-measuring device according to claim 4, **characterized in that** the cavity resonator is filled with a dielectric, preferably Al_2O_3 .
7. Distance-measuring device according to claim 6, **characterized in that** the cavity resonator has one open side, which is closed with a thin disk of a material, preferably a piezoelectric ceramic, and that material has the properties of changing its dielectricity constant when loaded with pressure, force or mass.

8. Distance-measuring device according to claim 6, **characterized in that** the cavity resonator is filled with dielectric material, preferably piezoelectric ceramic and the dielectric material has the property of changing the dielectricity constant when loaded with pressure, force or mass.
9. Distance-measuring device according to any of claims 6 or 7, **characterized in that** the surface of the dielectric, with the exception of the basis facing toward the object, is coated, preferably sputter-coated with a thin layer of gold.
10. Distance-measuring device according to any of claims 6, 7 or 8, **characterized in that** the dielectric is inserted in a metallic housing, preferably made of Kovar or titanium.
11. Distance-measuring device according to any of claims 1 to 10, **characterized in that** slot coupling is disposed on the side of the resonator facing away from the object.
12. Distance-measuring device according to claim 11, **characterized in that** the coplanar slot coupling consists of one coupling slot each for the transmitter and for receiver (transmission mode), which are disposed circularly.
13. Distance-measuring device according to claim 11, **characterized in that** the coplanar slot coupling consists of one coupling slot for transmitter and receiver (reflection mode).
14. Distance-measuring device according to any of claims 1 to 13, **characterized in that** the in-coupling and the resonator allow as wave modes the H_{0np} modes, preferably the H_{011} mode.
15. Distance-measuring device according to any of claims 1 to 14, **characterized in that** the sensor has a radiofrequency electronics unit with a transmit branch and a receive branch.
16. Distance-measuring device according to claim 15, **characterized in that** the transmit branch consists of an oscillator, preferably a voltage controlled oscillator (VCO).
17. Distance-measuring device according to claim 15, **characterized in that** the receive branch consists of at least one radiofrequency diode.
18. Distance-measuring device according to claim 16, **characterized in that** the oscillator frequency follows a setpoint frequency (reference input) via a closed control loop.

19. Distance-measuring device according to claim 18, **characterized in that** the control loop (PLL: phase locked loop) consists of at least one frequency divider, one phase discriminator and one low-pass filter, and the setpoint frequency is prescribed via a DDS (Direct Digital Synthesizer) (dynamic frequency control or determination). 5
20. Distance-measuring device according to claim 18, **characterized in that** the control loop consists of at least one frequency divider and preferably is closed via a frequency counter, a microcontroller and a digital-to-analog converter (static frequency control or determination). 10
21. Method for determining a distance from an object to a distance-measuring device according to any of claims 1 to 20, which comprises the steps:
- a) providing a cavity resonator; 20
 - b) determining the resonance frequency in order to determine the distance to the object.
22. Method according to claim 21, **characterized in that** the determining of the resonance frequency is determined by detuning the transmit frequency of an oscillator in the transmit branch until a power dip at a resonance is found in the receive branch. 25
23. Method according to claim 22, **characterized in that** the transmit frequency of the oscillator is detuned by a ramp controller and a ramp generator. 30
24. Method according to claim 22, **characterized in that** the transmit frequency of the oscillator is adjusted by a direct digital synthesizer (DDS). 35
25. Method according to claim 21, **characterized in that**, as an alternate to step b) a determination of the resonance frequency is made in order to determine the pressure, force or mass on the object at zero distance to the object. 40

Revendications

1. Dispositif de mesure de la distance muni d'un capteur et d'un circuit électronique d'évaluation, **caractérisé en ce que** le capteur présente un résonateur sous la forme d'une cavité résonante avec un boîtier de résonateur, le résonateur présentant un coupleur à fente coplanaire avec câble d'alimentation et le câble d'alimentation se terminant au niveau du boîtier du résonateur. 50
2. Dispositif de mesure de la distance muni d'un capteur et d'un circuit électronique d'évaluation, **carac-**

térisé en ce que le capteur présente un résonateur sous la forme d'une cavité résonante avec un boîtier de résonateur, le résonateur présentant un guide d'onde à ruban pour l'alimentation, le guide d'onde à ruban se terminant au niveau du boîtier du résonateur.

3. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le résonateur présente un résonateur à haute fréquence dont la fréquence de résonance, suivant la distance par rapport à l'objet, est comprise entre 1 et 100 GHz, de préférence entre 20 et 30 GHz, plus précisément entre 22 et 26 GHz.
4. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la cavité résonante présente une forme cylindrique dont la surface de base dirigée vers l'objet est ouverte, c'est à dire non métallisée.
5. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la cavité résonante est remplie d'un matériau fluide, de préférence de l'air ou un gaz inerte.
6. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** la cavité résonante est remplie d'un diélectrique, de préférence de l' Al_2O_3 . 30
7. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la cavité résonante présente un côté ouvert qui est fermé par une mince plaque d'un matériau, de préférence une céramique piézoélectrique, et **en ce que** ce matériau présente comme propriété de modifier sa constante diélectrique sous une contrainte correspondante de pression, de force ou de masse.
8. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la cavité résonante est remplie de matériau diélectrique, de préférence de la céramique piézoélectrique et **en ce que** ce matériau présente comme propriété de modifier sa constante diélectrique sous une contrainte correspondante de pression, de force ou de masse. 45
9. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** la surface du diélectrique, à l'exception de la surface de base dirigée vers l'objet, est recouverte d'une mince couche d'or, de préférence pulvérisée.
10. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 6, 7 ou 8, **caractérisé en ce que** le diélectrique est introduit dans un boîtier métallique, de préférence en Kovar ou en titane. 55

11. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** le coupleur à fente est prévu sur la face du résonateur qui est à l'opposé de l'objet.
12. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le coupleur à fente coplanaire se compose d'une fente de couplage pour l'émetteur et d'une autre pour le récepteur (mode transmission) qui sont disposées en cercle.
13. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le coupleur à fente coplanaire se compose d'une fente de couplage pour l'émetteur et pour le récepteur (mode réflexion).
14. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** l'alimentation et le résonateur autorisent comme type d'onde les modes H_{0np} , de préférence le mode H_{011} .
15. Dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** le capteur présente un circuit électronique à haute fréquence avec une branche d'émission et de réception.
16. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 15, **caractérisé en ce que** la branche d'émission se compose d'un oscillateur, de préférence un oscillateur commandé en tension (VCO).
17. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 15, **caractérisé en ce que** la branche de réception se compose d'au moins une diode à haute fréquence.
18. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** la fréquence de l'oscillateur suit une fréquence de consigne (grandeur de référence) par le biais d'une boucle de régulation fermée.
19. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** la boucle de régulation (PLL : boucle à verrouillage de phase) se compose d'au moins un diviseur de fréquence, d'un discriminateur de phase et d'un filtre passe-bas et la fréquence de consigne est délivrée par un DDS (synthétiseur numérique direct) (régulation ou détermination dynamique de la fréquence).
20. Dispositif de mesure de la distance selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** la boucle de régulation se compose d'au moins un diviseur de fréquence et elle est fermée de préférence par un compteur de fréquence, un microcontrôleur et un convertisseur numérique/analogique (régulation ou détermination statique de la fréquence).
- 5 21. Procédé pour déterminer la distance d'un objet par rapport à un dispositif de mesure de la distance selon l'une des revendications 1 à 20, lequel présente les étapes suivantes :
- 10 a) Mise à disposition de la cavité résonante ;
b) Détermination de la fréquence de résonance afin de déterminer la distance par rapport à l'objet.
- 15 22. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce que** la détermination de la fréquence de résonance est réalisée de telle manière que la fréquence d'émission de l'oscillateur prévu dans la branche d'émission est accordée jusqu'à ce qu'une chute de puissance soit constatée lors d'une résonance dans la branche de réception.
- 20 23. Procédé selon la revendication 22, **caractérisé en ce que** la fréquence d'émission de l'oscillateur est déterminée par une commande de rampe et un générateur de rampe.
- 25 24. Procédé selon la revendication 22, **caractérisé en ce que** la fréquence d'émission de l'oscillateur est réglée par un synthétiseur numérique direct (DDS).
- 30 25. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce qu'une** détermination de la fréquence de résonance soit réalisée en variante de l'étape b) afin de déterminer la pression, la force ou la masse appliquée sur l'objet lorsque la distance par rapport à l'objet est nulle.
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Fig.: 1

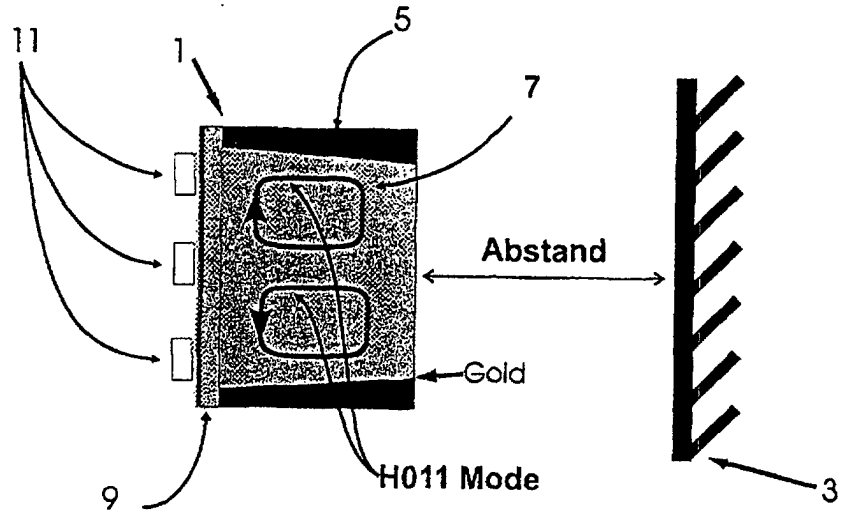


Fig.: 2

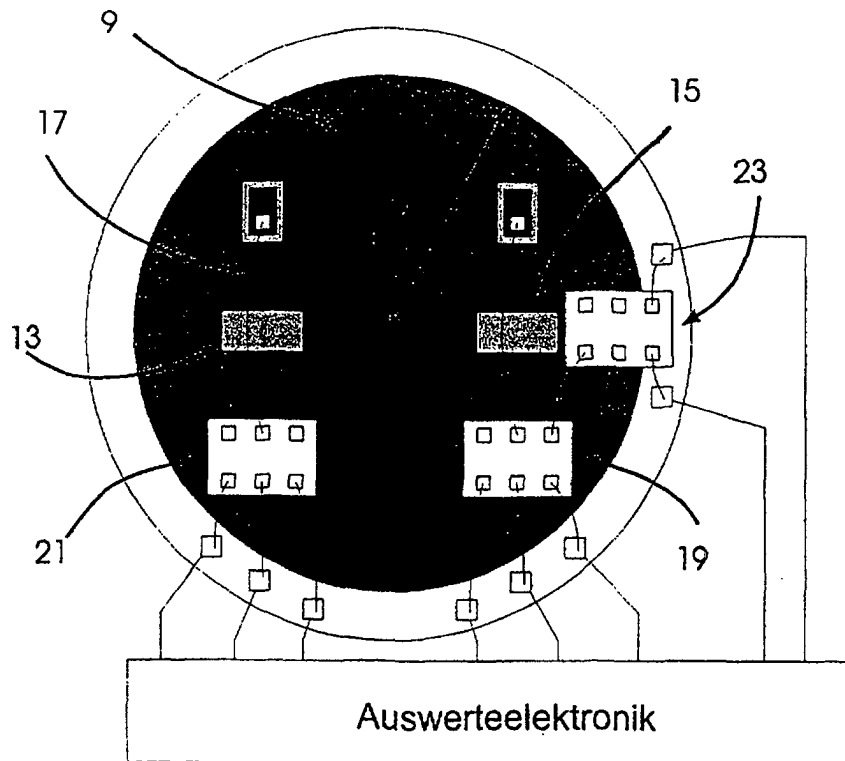


Fig.: 3

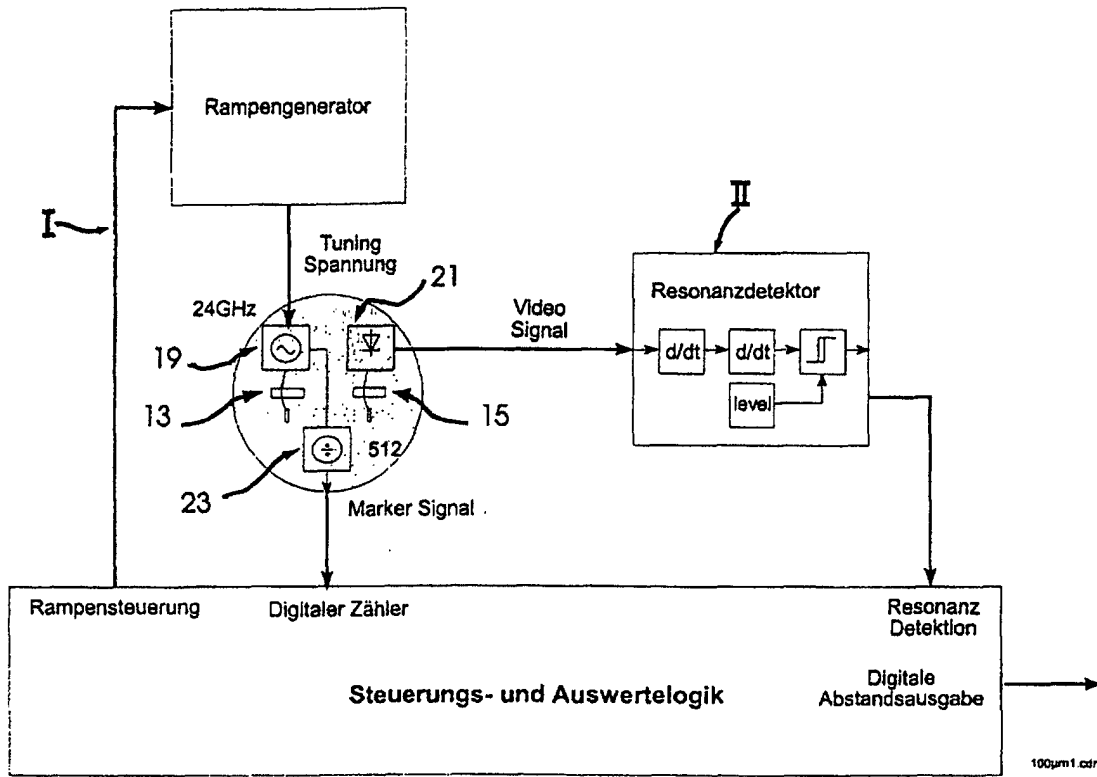


Fig.: 4

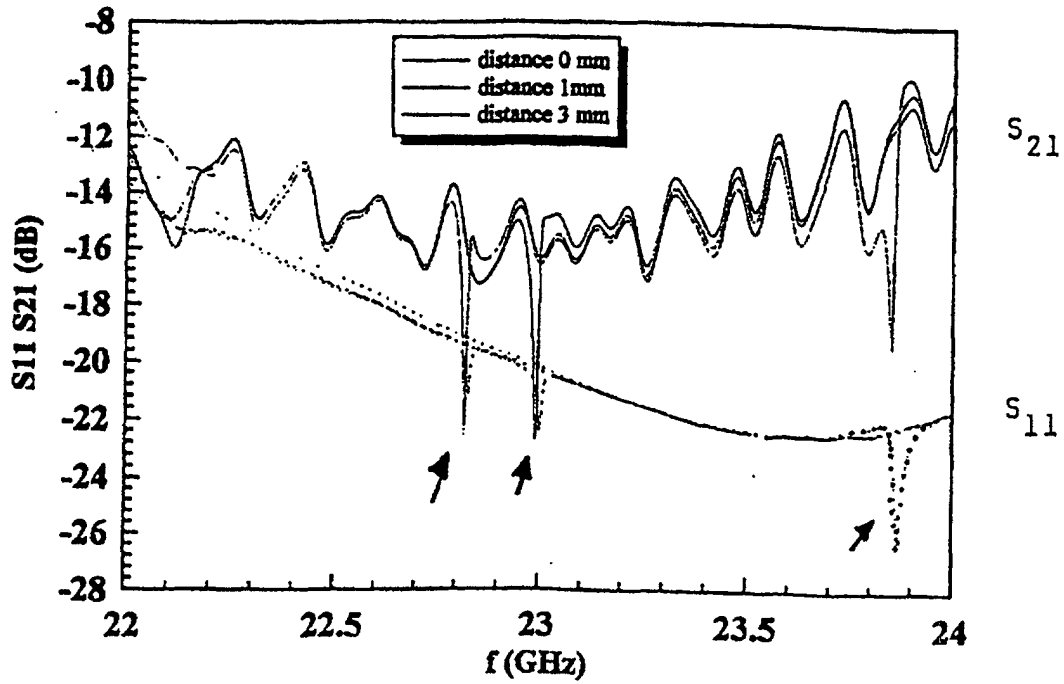


Fig.: 5

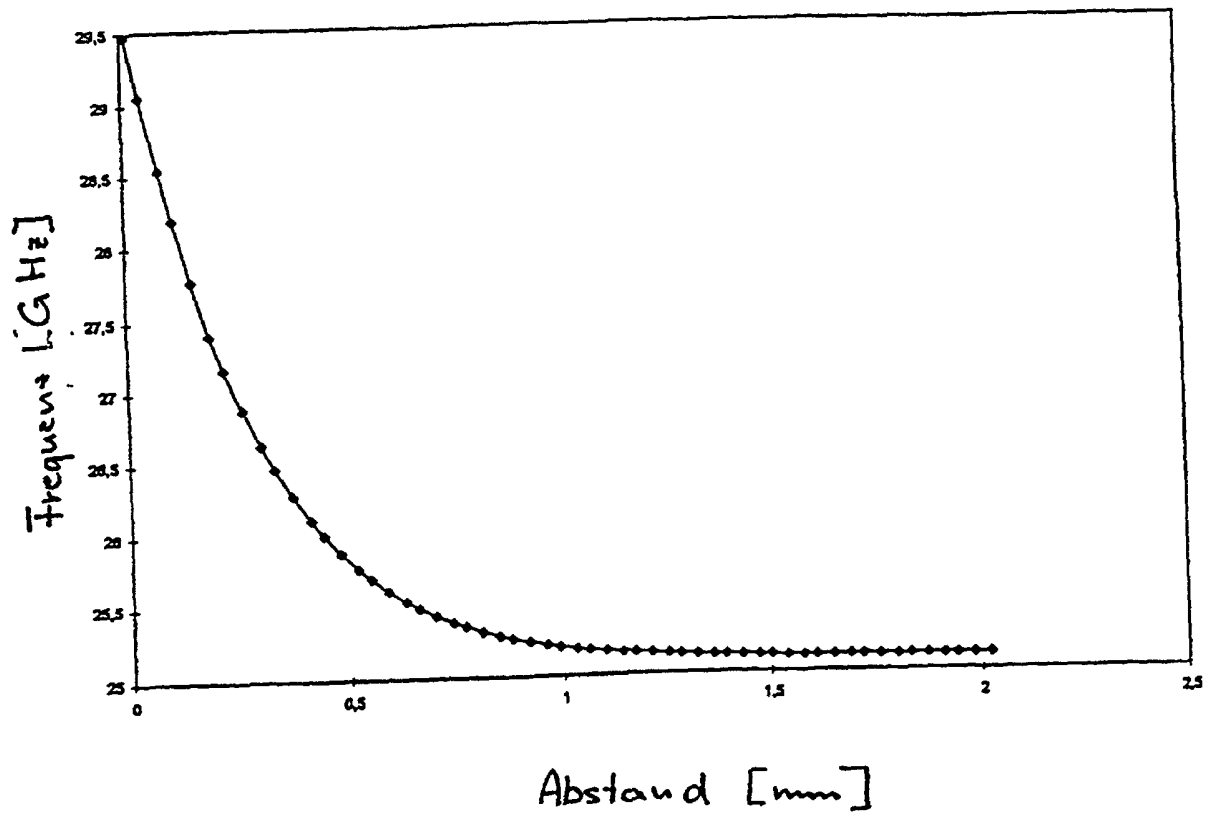


Fig. 6

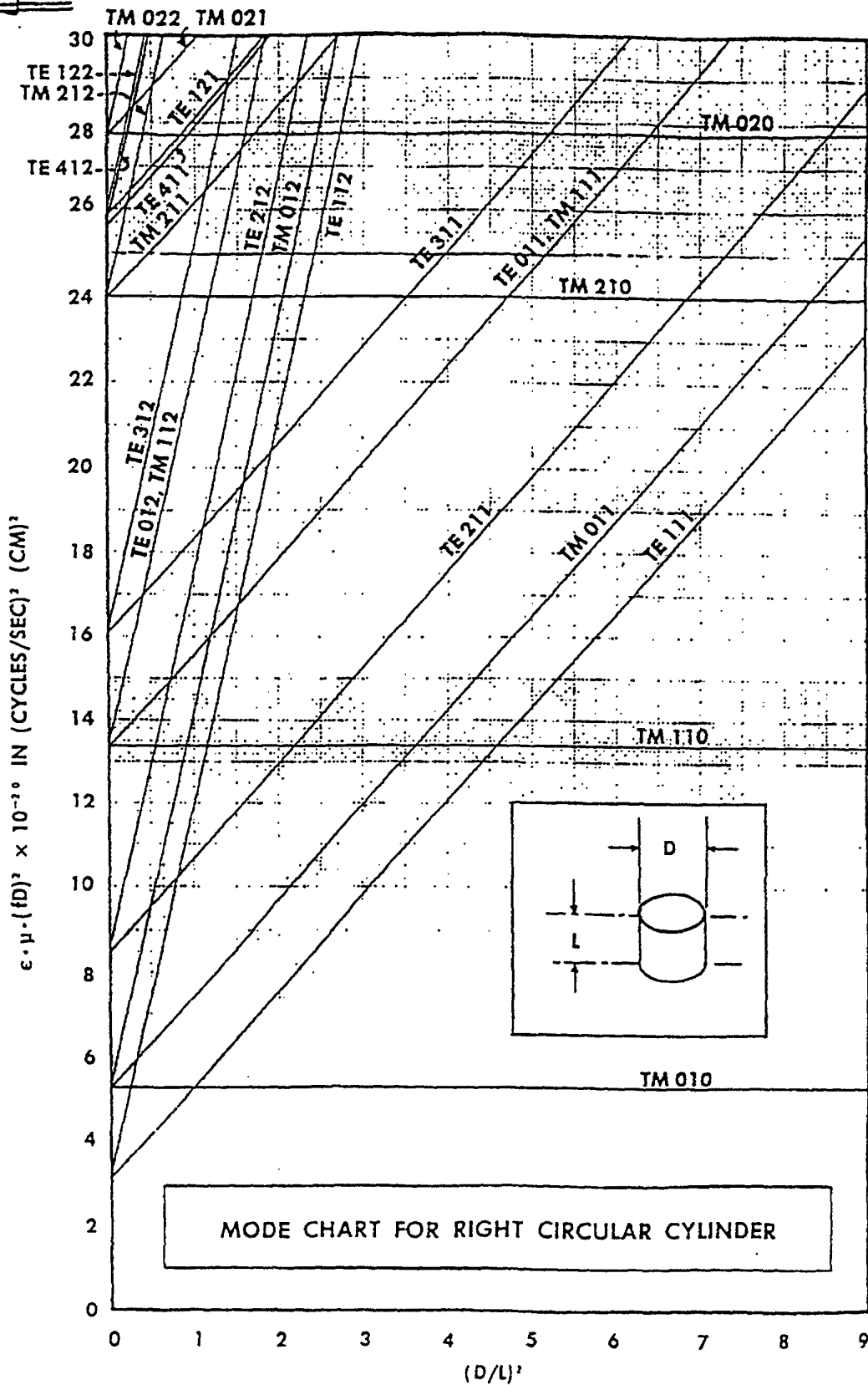


Fig.: 7

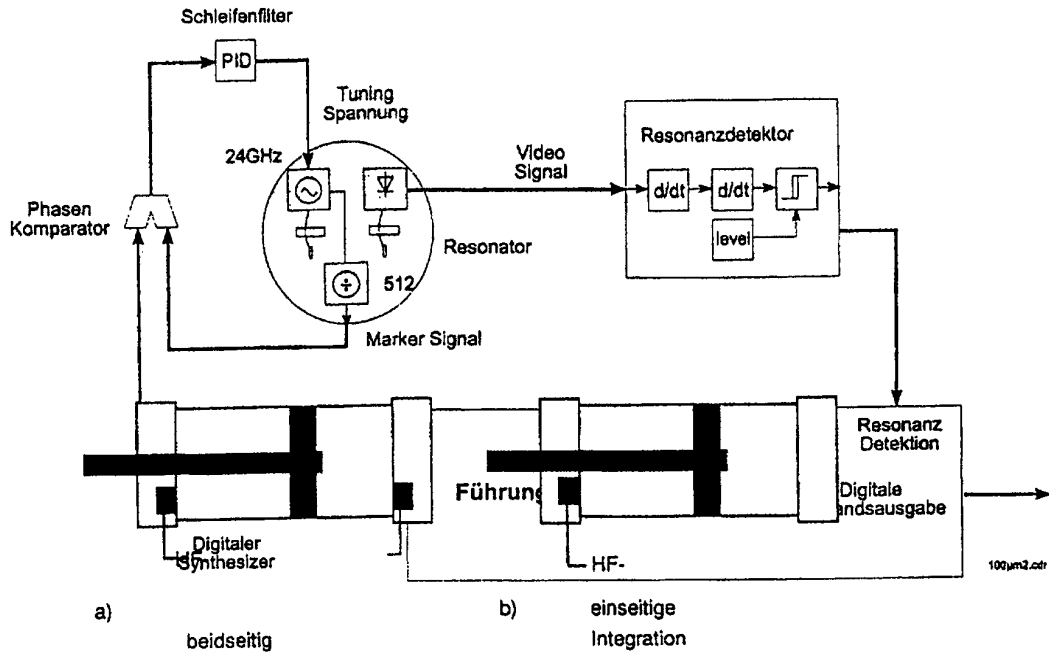
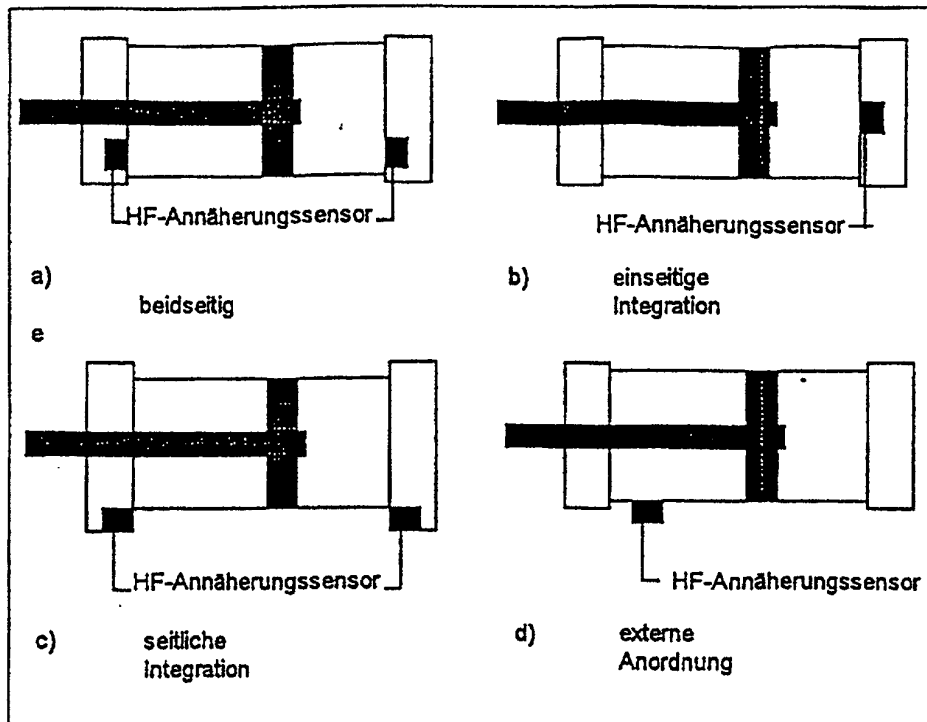


Fig.: 8



"Integrationsmöglichkeiten im Zylinder"

Fig.: 9

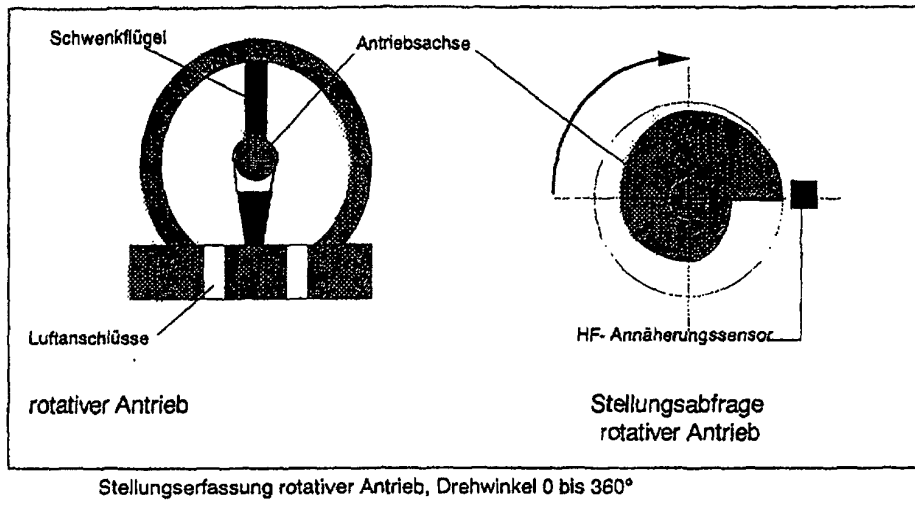


Fig.: 10

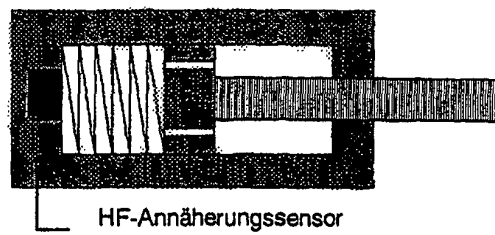


Fig.: 11

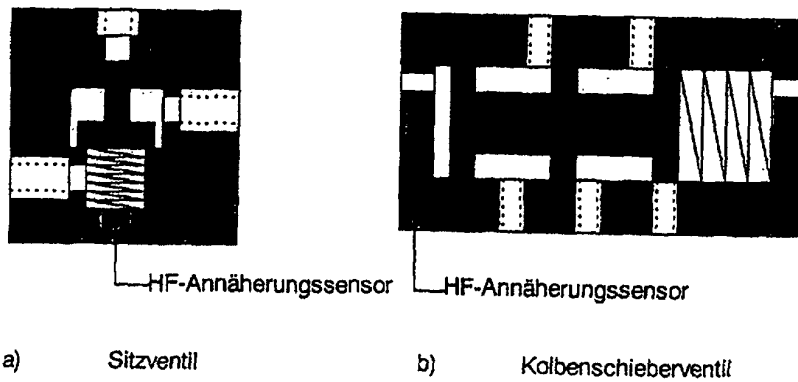


Fig.: 12

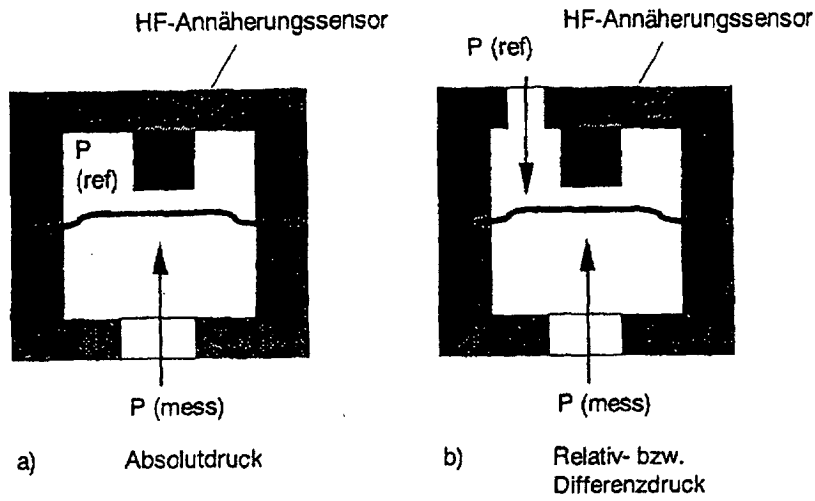


Fig.: 13a

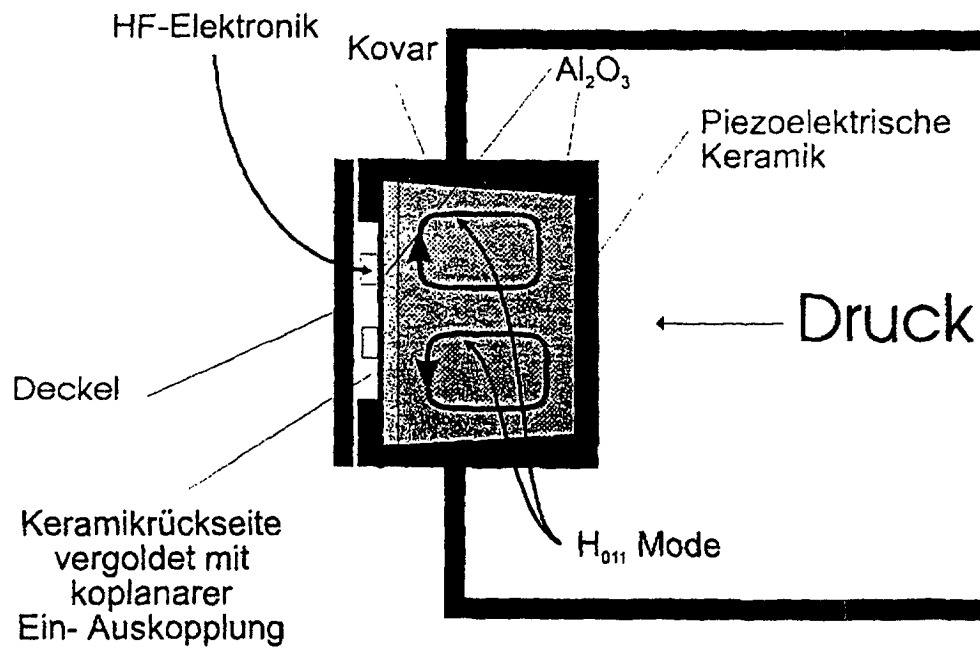


Fig.: 13b

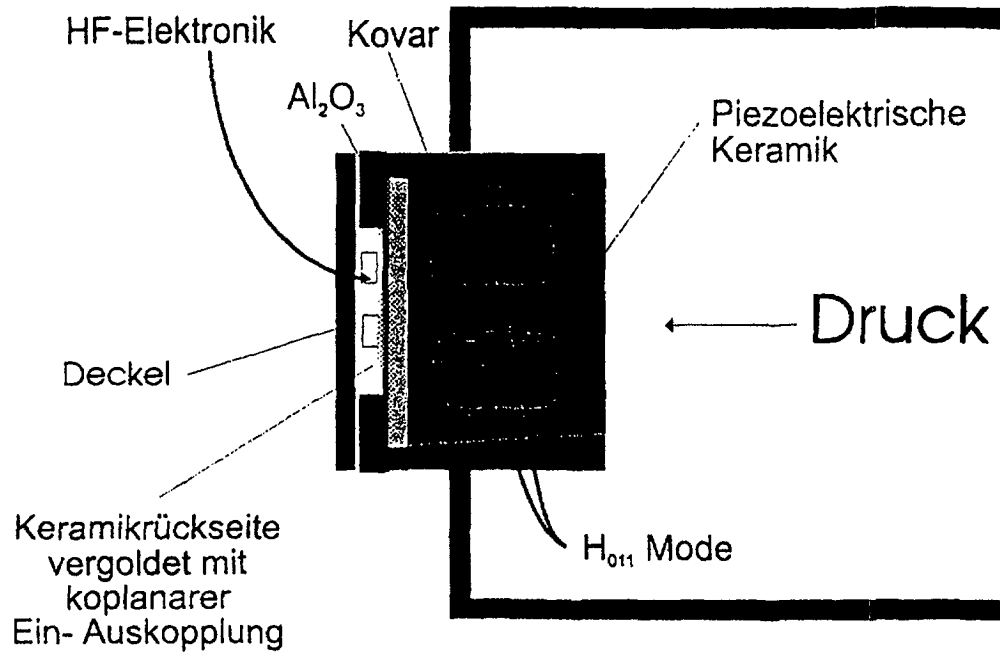


Fig.: 14

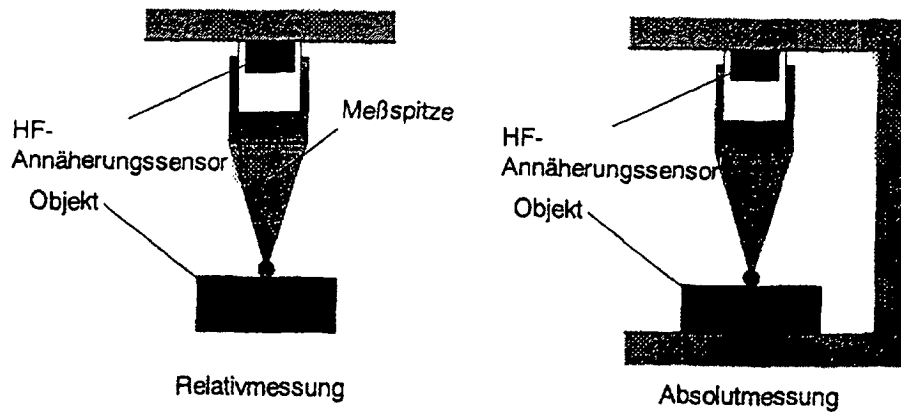


Fig.: 15

