



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **100 47 667.8**
(22) Anmeldetag: **26.09.2000**
(43) Offenlegungstag: **05.04.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.08.2016**

(51) Int Cl.: **G01F 23/284** (2006.01)
G01S 13/88 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
407041 **27.09.1999** **US**

(73) Patentinhaber:
Rosemount Inc., Eden Prairie, Minn., US

(74) Vertreter:
**VOSSIUS & PARTNER Patentanwälte
Rechtsanwälte mbB, 81675 München, DE**

(72) Erfinder:
**Diede, Kurt C., Apple Valley, Minn., US; Lovegren,
Eric R., Big Lake, Minn., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	42 41 910	A1
DE	43 32 071	A1
US	56 51 286	A
US	60 85 589	A
US	61 21 780	A

**ANSI/UL 913-1988: Intrinsically safe apparatus
and associated apparatus for use in class I, II,
and III, division 1, hazardous (classified) locations**

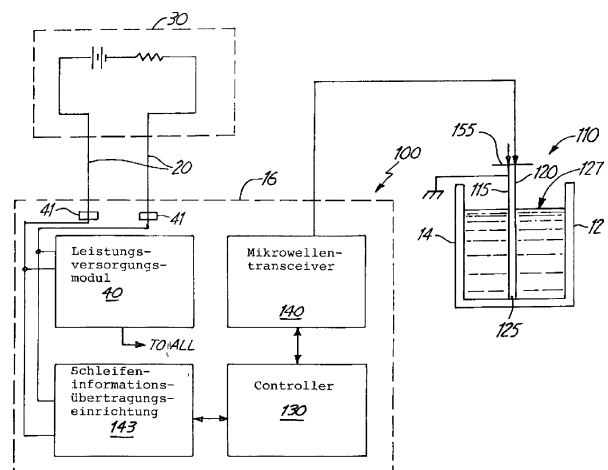
(54) Bezeichnung: **Leistungsarmes Radar-Füllstandmeßgerät mit verbesserter Diagnose**

(57) Hauptanspruch: Radar-Füllstandmeßvorrichtung, aufweisend:

eine Sonde (110) mit einer Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (155), die durch eine Prozeßproduktgrenzfläche (127) in ein Prozeßprodukt (14, 18, 21) einführbar ist; einen mit der Sonde (110) verbundenen Transceiver (140), wobei der Transceiver dazu geeignet ist, einen Mikrowellensendeimpuls zu erzeugen, der entlang der Sonde (110) in das Prozeßprodukt (14, 18, 21) übertragen wird, wobei der Sendepuls zumindest teilweise an der Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (155) reflektiert wird, um einen ersten reflektierten Wellenimpuls zu bilden, und wobei der Sendepuls zudem an der Produktgrenzfläche (127) zumindest teilweise reflektiert wird, um einen zweiten reflektierten Wellenimpuls zu bilden, wobei der Transceiver (140) außerdem dazu geeignet ist, die ersten und zweiten reflektierten Wellenimpulse zu empfangen; und einen mit dem Transceiver (140) verbundenen Prozessor, der dazu geeignet ist, ein Diagnosesignal als Funktion der Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses bereitzustellen, und dazu geeignet ist, ein eine Prozeßprodukt-höhe anzeigendes Füllstandausgangssignal basierend auf der Erfassungszeit des zweiten reflektierten Wellenimpulses bereitzustellen,

wobei die Vorrichtung mit einer Prozeßsteuerungsschleife verbindbar und dazu geeignet ist, das Füllstandausgangssignal auf der Prozeßsteuerungsschleife zu übertragen und

wobei der Transceiver durch die Prozeßsteuerungsschleife vollständig mit Leistung versorgt wird.



Beschreibung

[0001] In der Prozeßsteuerungsindustrie werden Prozeßvariablensender oder -transmitter zum Überwachen von Prozeßvariablen oder -parametern verwendet, die Substanzen zugeordnet sind, z. B. Festkörpern, Schlämmen, Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen in chemischen, Zellstoff-, Erdöl-, pharmazeutischen, Nahrungs- oder Futter- bzw. Lebensmittel- und anderen Verarbeitungsanlagen. Prozeßvariablen oder -parameter sind z. B. Druck, Temperatur, Durchfluß, Füllstand, Trübung, Dichte, Konzentration, chemische Zusammensetzung und andere Kenngrößen. Ein Prozeßvariablentransmitter kann ein mit der erfaßten Prozeßvariablen in Beziehung stehendes Ausgangssignal über eine Prozeßsteuerungsschleife einem Kontrollraum zuführen, so daß der Prozeß überwacht und gesteuert werden kann.

[0002] Die Prozeßsteuerungsschleife kann eine beliebige Konfiguration aus zwei oder mehr Leitern sein, die dazu geeignet sind, mit Prozeßinformationen in Beziehung stehende Signale zu übertragen. Beispielsweise kann die Prozeßsteuerungsschleife eine 4–20 mA-Zweidraht-Prozeßsteuerungsschleife sein. Ein mit einer solchen Prozeßsteuerungsschleife verbundener Prozeßvariablentransmitter steuert die Menge des durch die Schleife fließenden Stroms, so daß der Strom der Prozeßvariablen entspricht. In einigen Ausführungsformen von Prozeßsteuerungsschleifen können die Aktivierungspegel ausreichend niedrig sein, so daß die Schleife auch unter Störungsbedingungen im allgemeinen nicht genug elektrische Energie überträgt, um Funken oder Überschläge zu erzeugen. Dadurch wird die Einhaltung bzw. Erfüllung der intrinsischen Sicherheitspezifikationen ermöglicht, die im Factory Mutual Approval Standard mit dem Titel "Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II and III, Division 1 Hazardous (Classified) Locations," Class Number 3610, veröffentlicht im Oktober 1988, dargestellt sind. Die Erfüllung der intrinsischen Sicherheitspezifikationen ist insbesondere in entzündbaren oder entflammaren Umgebungen wichtig, weil dadurch derart niedrige Leistungspegel gewährleistet werden, daß die Wahrscheinlichkeit einer unerwünschten Erzeugung von Funken oder Überschlägen reduziert wird. Leistungsarme Prozeßvariablentransmitter sind bei solch niedrigen Energiepegeln betreibbar, daß sie die gesamte erforderliche elektrische Leistung von einer 4–20 mA-Prozeßsteuerungsschleife empfangen können. Die Prozeßsteuerungsschleife kann außerdem digitale Signale aufweisen, die gemäß einem Prozeßindustrie-Standardprotokoll, z. B. gemäß dem HART®-Protokoll, auf der Schleife überlagert werden.

[0003] In jüngster Zeit wurden leistungsarme Zeitbereichreflektometrie-Radar(LPTDRR)-geräte verwendet, um Produktfüllstände oder -pegel (z. B. von Flüssigkeiten oder Festkörpern) in Speicherbehältern zu messen. In der Zeitbereichreflektometrie wird elektromagnetische Energie von einer Quelle entlang eines Hochfrequenz- oder Mikrowellen-Wellenleiters (auch als Endelement (termination) bekannt) übertragen und an einer Unstetigkeitsstelle reflektiert. Die Laufzeit der empfangenen Energie ist von dem Medium abhängig, durch das sie übertragen wird, sowie von der zurückgelegten Strecke. Ein Typ einer LPTDRR-Einrichtung ist als Mikroleistungsimpulsradar(MIR)-gerät bekannt, das durch das Lawrence Livermore National Laboratory entwickelt wurde.

[0004] Industriell verwendete leistungsarme Radarfüllstandmeßgeräte, z. B. Radarfüllstandtransmitter, sind vielen rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. In einigen Einrichtungen oder Anlagen können Transmitter Schwingungen und/oder extremen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Durch solche Bedingungen kann die physische Kopplung zwischen der Mikrowellenerzeugungsschaltung und dem Wellenleiter beeinträchtigt werden. Wenn die Kopplung schlechter wird oder unterbrochen ist, wird die Fähigkeit des Transmitters, eine Anzeige des Prozeßproduktfüllstands bereitzustellen, beeinträchtigt. Außerdem können, wenn der Wellenleiter in das Prozeßprodukt eingetaucht ist, Fehler im Füllstandausgangssignal auftreten.

[0005] Mit Fortschritten bzw. Weiterentwicklungen in der Produktfüllstandmeßtechnik wächst der Bedarf an Radarfüllstandmeßgeräten, die Bedingungen identifizieren können, bei denen die Genauigkeit bzw. Präzision des Füllstandausgangssignals beeinträchtigt sind. Durch ein solches Gerät würde eine verbesserte Prozeßsteuerung und eine verbesserte Wartung bereitgestellt, weil Gerätefehlerbedingungen schnell identifiziert und behoben werden könnten und keine fehlerhaften Füllstandausgangssignale erzeugt würden.

[0006] Die Druckschrift US 5651286 A offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung, um das Füllstandsniveau in einem Flüssigkeitstank mittels eines elektrisch leitenden Rohres zu messen, wobei das Rohr durch die Behälterwand in die Flüssigkeit taucht.

[0007] Die US 6085589 A zeigt ein System zur Messung von Material in einem Gefäß, wobei Mikrowellen zur Messung genutzt werden. Ebenso veranschaulicht die DE 4241910 A1 ein mit Mikrowellen arbeitendes Füllstandsmessgerät.

[0008] Die US 6121780 A beschreibt ein Füllstandspegelmesssystem für unterirdische Treibstofftanks und die DE 4332071 A1 offenbart ein Verfahren zur Füllstandsmessung nach dem Radarprinzip.

[0009] Durch die vorliegende Erfindung wird ein leistungsarmes Radar-Füllstandmeßgerät mit verbesserter Diagnose bereitgestellt. Ein Mikrowellentransceiver erzeugt ein Mikrowellensignal, das entlang eines Endelements, durch eine Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle und in eine Prozeßproduktgrenzfläche bzw. ein Interface übertragen wird. Ein erster Anteil des Signals wird durch die Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle und ein zweiter Signalanteil durch die Prozeßproduktgrenzfläche reflektiert. Ein Diagnosesignal wird basierend auf einer Kenngröße des ersten reflektierten Signalanteils bereitgestellt. Ein Füllstandausgangssignal wird basierend auf dem ersten und dem zweiten reflektierten Signalanteil bereitgestellt.

[0010] Durch Merkmale der Erfindung werden wesentliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Techniken bereitgestellt. Durch ein leistungsarmes Radar-Füllstandmeßgerät kann erfindungsgemäß eine Diagnose bezüglich des Endelements bereitgestellt werden, das sich in ein Prozeßprodukt erstreckt. Eine solche Diagnoseinformation ermöglicht eine effektive Systemwartung sowie eine genauere Prozeßsteuerung.

[0011] Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0012] Fig. 1 ein Diagramm der Umgebung von Ausführungsformen erfindungsgemäßer leistungsarmer Radar-Füllstandmeßgeräte;

[0013] Fig. 2 ein Blockdiagramm zum Darstellen einer Schaltung einer Ausführungsform der Erfindung;

[0014] Fig. 3A–Fig. 3C Signaldiagramme zum Darstellen verschiedener Betriebsbedingungen von Ausführungsformen erfindungsgemäßer leistungsarmer Radar-Füllstandmeßgeräte;

[0015] Fig. 4 ein Systemblockdiagramm zum Darstellen eines Verfahrens zum Bereitstellen eines Diagnoseausgangssignals gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0016] Obwohl die vorliegende Erfindung unter Bezug auf Ausführungsformen von leistungsarmen Radar-Füllstandstransmittern und die Weise beschrieben wird, auf die eine Diagnose bereitgestellt wird, ist für Fachleute erkennbar, daß innerhalb des durch die beigefügten Patentansprüche definierten Schutzzumfangs der Erfindung Änderungen in Ausführungsformen und im Detail vorgenommen werden können.

[0017] Fig. 1 zeigt leistungsarme Radar-Füllstandstransmitter **100**, die an Speicherbehältern **12**, **13** und **17** montiert sind, die Prozeßprodukte **14**, **18** bzw. **21** enthalten. Weil die Radartransmitter leistungsarm sind bzw. eine geringe Leistungsaufnahme haben, können die Transmitter **100** vollständig durch Energie betrieben werden, die über eine 4–20 mA-Prozeßsteuerungsschleife empfangen wird.

[0018] Die Füllstandstransmitter **100** weisen Gehäuse **16** und Endelemente **110** auf. Die Transmitter **100** sind in verschiedenen Konfigurationen mit Prozeßsteuerungsschleifen **20** verbunden, wie in Fig. 1 dargestellt. Die Transmitter **100** übertragen mit Höhen der Prozeßprodukte in Beziehung stehende Informationen über die Prozeßsteuerungsschleifen **20** an einen Kontrollraum **30** (der schematisch durch Spannungsquellen und Widerstände dargestellt ist) oder an andere, mit den Prozeßsteuerungsschleifen **20** verbundene Vorrichtungen (nicht dargestellt). Die Schleifen **20** sind Spannungsquellen für die Transmitter **100** und können ein beliebiges Industriestandard-Kommunikationsprotokoll verwenden, z. B. ein 4–20 mA-, ein Profibus-, ein HART – (Highway Addressable Remote Transducer) oder ein FOUNDATION™-Feldbusprotokoll. Das FOUNDATION™-Feldbusprotokoll ist ein digitales Mehrpunkt-Kommunikationsprotokoll, das zum Verbinden von Feldgeräten und anderen Prozeßvorrichtungen in den Prozeßsteuerungssystemen vorgesehen ist. Die physische Schicht des FOUNDATION™-Feldbusprotokolls ist durch Instrument Society of America Standard ISA-S50.02-1992 und seine Ergänzung gemäß Entwurf-2 mit Datum 1995 definiert.

[0019] Fig. 1 zeigt verschiedene Anwendungen, in denen Radar-Füllstandmeßgeräte geeignet sind. Das Prozeßprodukt **14** im Behälter **12** ist beispielsweise ein Fluid bzw. eine Flüssigkeit mit über dem Produkt **14** angeordneter Luft, während das Prozeßprodukt **18** im Behälter **13** ein Festkörper ist (der mit einem vorgegebenen Schüttwinkel dargestellt ist). Das Prozeßprodukt **21** im Behälter **17** ist ein Fluid, dessen Füllstand mit einem Rohr **23** kommuniziert, in das sich eines der Endelemente **110** erstreckt. Obwohl in Fig. 1 Behälter **12**, **13** und **17** dargestellt sind, können Ausführungsformen ohne Behälter realisiert werden, wie beispielsweise in einem See oder in einem Reservoir.

[0020] Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm eines über eine Prozeßsteuerungsschleife **20** mit einem Kontrollraum **30** verbundenen leistungsarmen Radar-Füllstandtransmitters. Die in einem Gehäuse **16** des Transmitters **100** angeordnete elektrische Schaltung weist einen Controller **130**, einen leistungsarmen Mikrowellentransceiver **140**, eine Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** und ein Leistungsversorgungsmodul **40** auf. Der Transmitter **100** weist außerdem ein Endelement **110** auf, das sich in das im Behälter **12** enthaltene Prozeßprodukt **14** erstreckt. Für weitere Informationen über die Komponenten des Transmitters **100** sowie über die verschiedenen Wechselwirkungen zwischen diesen Komponenten wird auf die mitanhängige Anmeldung mit der Seriennummer 09/321143, eingereicht am 27. Mai 1999, mit dem Titel "Low Power Radar Level Transmitter Having Reduced Ground Loop Errors", verwiesen, die auf den Anmelder der vorliegenden Anmeldung übertragen ist.

[0021] Das Endelement **110** ist in das Prozeßprodukt **14** im Behälter **12** einführbar. Eine solche Konfiguration (bei der das Endelement tatsächlich mit dem Prozeßprodukt in Kontakt steht) ist als Kontakt-Füllstandmessung bekannt. Das Endelement **110** ist auf dem Fachgebiet der Füllstandstransmitter bekannt und kann eine beliebige geeignete Übertragungsleitung, ein Wellenleiter oder eine Antenne sein. Das Endelement **110** wird auch als Kontaktsonde oder einfach als Sonde bezeichnet. Eine Übertragungsleitung ist ein System von Materialgrenzen, die einen kontinuierlichen Weg von einem Ort zu einem anderen bilden und in der Lage sind, elektromagnetische Energie entlang dieses Weges zu übertragen. In einigen Ausführungsformen ist das Endelement **110** eine Bandkabelantenne mit Kabeln oder Leitern **115** und **120**, die mit einem Bodenbereich **125** verbunden sind und in das Produkt **14** im Behälter **12** eingeführt werden können, und das wahlweise eine Basisplatte **155** aufweist. Das Endelement **110** kann auch ein Monopol-, Koaxial-, Doppelleitungs-, Einzelleitungs- oder Mikrostreifen-Endelement mit einer geeigneten Anzahl von Leitungen sein.

[0022] Der leistungsarme Mikrowellentransceiver **140** ist mit dem Endelement **110** betrieblich verbunden. Der Transceiver **140** kann ein beliebiger leistungsarmer Mikrowellentransceiver sein, der innerhalb der Leistungsgrenzen des leistungsarmen Radar-Füllstandtransmitters **100** betreibbar ist. Beispielsweise kann der Transceiver **140** ein Mikroleistungsimpulsradar(MIR)-transceiver des in jedem der beiden US-Patente Nr. 5609059 mit dem Titel ELECTRONIC MULTI-PURPOSE MATERIAL LEVEL SENSOR und Nr. 5610611 mit dem Titel HIGH ACCURACY ELECTRONIC MATERIAL LEVEL SENSOR von Thomas E. McEwan diskutierten Typs sein. Der Transceiver **140** ist dazu geeignet, ein Mikrowellensignal zu erzeugen, das entlang des Endelements **110** geführt wird, und von einer Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle (z. B. der Basisplatte **155**) und von der Grenzfläche **127** reflektierte Signale zu empfangen. Eine Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle ist eine im Weg des übertragenen Mikrowellensignals angeordnete beliebige Komponente mit einer lokalen Impedanz, die sich von derjenigen ihrer Umgebung schrittweise unterscheidet. Beispiele einer solchen Unstetigkeitsstelle sind die Basisplatte **155**, ein Serienkondensator oder ein beliebiges anderes geeignetes Bauteil. Die Sendesignalfrequenz kann innerhalb eines weiten Frequenzbereichs liegen, z. B. zwischen etwa 250 MHz und etwa 20 GHz oder mehr. Gemäß einer Ausführungsform beträgt die Frequenz des Sendesignals etwa 2 GHz. Gemäß einer anderen Ausführungsform liegt die Sendesignalimpulsbreite im Bereich von etwa 200 ps bis etwa 2 ns, was grob einer Frequenz zwischen etwa 500 MHz und 5 GHz entspricht. Die Grenzfläche bzw. das Interface **127** ist typischerweise eine Luft/Produkt-Grenzfläche, sie kann jedoch eine beliebige Grenze zwischen zwei Substanzen mit verschiedenen Dielektrizitätskonstanten sein. Daher kann die Grenzfläche **127** eine Luft/Produkt-Grenzfläche oder eine Produkt/Produkt-Grenzfläche sein, wobei ein Produkt über dem anderen angeordnet ist.

[0023] Der Controller **130** ist mit dem Mikrowellentransceiver **140** verbunden und dazu geeignet, eine Prozeßproduktthöhe basierend auf den reflektierten Mikrowellensignalen zu berechnen. Der Controller **130** ist außerdem in der Lage, ein Diagnosesignal basierend auf einer Kenngröße eines durch die Referenzunstetigkeitsstelle reflektierten ersten Signals bereitzustellen. In einigen Ausführungsformen basiert das Diagnosesignal auf der Amplitude des reflektierten ersten Signals. Der Controller **130** verwendet bekannte mathematische Funktionen, um Daten von den reflektierten Impulsen herzuleiten. In solchen mathematischen Funktionen können beispielsweise Daten der Signalamplitude, der Signallaufzeit, der Signalneigung und der Signalfläche verwendet werden. Der Controller **130** berechnet den Füllstand des Prozeßprodukts **14** als Funktion einer Laufzeit des reflektierten Signals.

[0024] Die Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** ist mit dem Controller **130** verbunden und über Anschlüsse **41** mit der Prozeßsteuerungsschleife **20** verbindbar. Die Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** ist dazu geeignet, mit der Prozeßproduktthöhe in Beziehung stehende Informationen sowie Diagnoseinformationen über die Prozeßsteuerungsschleife **20** zu übertragen. Solche Informationen können durch die Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** unter Verwendung einer beliebigen geeigneten Schaltung, z. B. eines bekannten UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) (nicht dargestellt), über die Zweidrahtschleife **20** digital übertragen werden. Alternativ kann die Schleifeninformationsübertragungsein-

richtung **143** den Schleifenstrompegel zwischen beispielsweise 4 und 20 mA unter Verwendung eines D/A-Wandlers oder einer anderen geeigneten Vorrichtung steuern. Auf diese Weise kann der Transmitter **100** Produkthöheninformationen und Diagnoseinformationen an den Kontrollraum **30** oder an andere Controller oder Vorrichtungen übertragen, die mit der Prozeßsteuerungsschleife **20** verbunden sind.

[0025] Das Leistungsversorgungsmodul **40** ist mit dem leistungsarmen Mikrowellentransceiver **140**, dem Controller **130** und der Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** verbunden. Das Leistungsversorgungsmodul **40** ist mit der Prozeßsteuerungsschleife **20** verbindbar, um Leistung von der Schleife **20** zu empfangen und die empfangene Leistung dem leistungsarmen Mikrowellentransceiver **140**, dem Controller **130** und der Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** zuzuführen. Das Leistungsversorgungsmodul **40** kann außerdem die empfangene Leistung für den Transceiver **140**, den Controller **130** und die Schleifeninformationsübertragungseinrichtung **143** konditionieren.

[0026] Im Betrieb erzeugt der Transceiver **140** Mikrowellensignale, die dem Endelement **110** zugeführt werden. Wie auf dem Fachgebiet bekannt ist, wird ein erster Signalanteil an der Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle (z. B. an der Basisplatte **155**) reflektiert, und ein zweiter Signalanteil wird an der Grenzfläche **127** zwischen dem Produkt **14** und der Luft (oder an der Grenzfläche zwischen zwei beliebigen Materialien mit verschiedenen Dielektrizitätskonstanten) reflektiert. Die reflektierten ersten und zweiten Signalanteile laufen über Leitungen **115** und **120** des Endelements **110** zurück und werden durch den Transceiver **140** empfangen. Der reflektierte erste Signalanteil ist auch als Bezugsimpuls bekannt. Durch Veranlassen einer ersten Reflexion (Bezugsimpuls) des Mikrowellensignals an der Unstetigkeitsstelle **155** wird ein geeignetes Referenzsignal für einen Vergleich mit dem Zeitpunkt bereitgestellt, an dem das von der Grenzfläche **127** reflektierte Signal empfangen wird. Typischerweise wird das Zeitintervall zwischen der Ankunft des reflektierten ersten Signalanteils (d. h. des Bezugsimpulses) und der Ankunft des reflektierten zweiten Signalanteils gemessen und mit dem Prozeßproduktfüllstand in Beziehung gesetzt. Diese Laufzeit zeigt die durch die Mikrowellen zurückgelegte Strecke und damit den Füllstand des Produkts **14** im Behälter **12** an. Die Beziehung zwischen der zurückgelegten Strecke und der Laufzeit ist in Gleichung 1 dargestellt:

$$D = \left(\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \right) C \left(\frac{T}{2} \right) \quad \text{Gl. 1}$$

wobei:

- $T/2$ = eine Hälfte der Laufzeit des Mikrowellenimpulses (die Laufzeit, die der Mikrowellenimpuls für seine Übertragung entlang der Probe nach unten zur Grenzfläche benötigt);
 ϵ_r = Dielektrizitätskonstante des Materials, durch das der Mikrowellenimpuls läuft (für Luft beträgt $\epsilon_r = 1$);
 C = Lichtgeschwindigkeit; und
 D = von der Oberseite der Sonde zur Grenzfläche zurückgelegte Strecke.

[0027] Ein Merkmal der verschiedenen Ausführungsformen ist die Fähigkeit, vom reflektierten ersten Signalanteil Diagnoseinformationen über das Endelement zu erhalten. Beispielsweise werden durch einen Vergleich zwischen der aktuell gemessenen Bezugsimpulsamplitude und einer während Normalbedingungen gemessenen Bezugsimpulsamplitude spezifische Diagnoseinformationen erhalten.

[0028] Die Fig. 3A–Fig. 3C zeigen Signaldiagramme zum Darstellen verschiedener Betriebsbedingungen von Ausführungsformen erfindungsgemäßer leistungsarmer Radar-Füllstandmeßgeräte.

[0029] Fig. 3A zeigt ein Signaldiagramm eines unter Normalbedingungen reflektierten Mikrowellensendesignals. Das reflektierte Signal weist einen ersten reflektierten Anteil bzw. einen Bezugsimpuls **160** und einen zweiten reflektierten Anteil **162** auf. Wie vorstehend beschrieben, zeigt das Intervall zwischen den Signalanteilen **160** und **162** eine Prozeßprodukthöhe an. Wie außerdem ersichtlich ist, weist der Impuls **160** ein lokales Minimum bzw. ein Tal **164** auf, das zwischen einem oberen Grenzwert **166** und einem unteren Grenzwert **168** liegt. Die Grenzwerte **166** und **168** werden typischerweise gesetzt, wenn der Transmitter **100** in Betrieb genommen wird, oder während bekannten normalen Betriebsbedingungen, z. B. während einer Kalibrierung. Dadurch kann, wenn festgestellt wird, daß das Tal **164** innerhalb der Grenzwerte **166**, **168** liegt, ein Diagnoseausgangssignal bereitgestellt werden, das anzeigt, daß der Transmitter **100** geeignet arbeitet, und daß geeignete bzw. zuverlässige Füllstandinformationen erhalten werden.

[0030] Fig. 3B zeigt ein Signaldiagramm eines reflektierten Mikrowellensendesignals für den Fall, daß das Endelement **110** vollständig in das Prozeßprodukt eingetaucht ist. Das Prozeßprodukt kann mit der Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle **155** in Kontakt kommen, so daß durch Eintauchen der Unstetigkeitsstelle **155** in das Prozeßprodukt die Reflexion des Bezugsimpulses so verändert wird, daß der eingetauchte Zustand erfaßbar ist. Dadurch können, wenn das Tal **164** des Bezugsimpulses **160** über dem oberen Grenzwert **166** liegt, Diagnoseinformationen bereitgestellt werden, die anzeigen, daß das Endelement eingetaucht ist. Die Diagnoseinformationen können in Form eines Alarms oder in einer anderen geeigneten Form bereitgestellt werden, z. B. als Anzeige der Zuverlässigkeit der Füllstandinformation. Diese Diagnoseinformation ist insbesondere in Ausführungsformen mit Behältern oder Gehäusen mit Verdrängereinrichtungen (displacer cage) (vergl. Fig. 1, Behälter **21**) geeignet, bei denen die Sonde vollständig eingetaucht werden kann oder ein Luftzwischenraum in der Nähe der Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle vorhanden ist. Durch den Luftzwischenraum können aufgrund der unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten von Luft und Flüssigkeit Ungenauigkeiten in der Füllstandinformation verursacht werden. Dadurch können Füllstandmeßgeräte gemäß verschiedenen Ausführungsformen berechnen, ob ein Luftzwischenraum vorhanden ist, und die geeignete Dielektrizitätskonstante für die Prozeßproduktfüllstandberechnung auswählen.

[0031] Fig. 3C zeigt ein Signaldiagramm eines Mikrowellensendesignals, das reflektiert wird, wenn die Verbindung zwischen dem Endelement **110** und dem Transceiver **140** unterbrochen oder anderweitig beeinträchtigt ist. Wie dargestellt, liegt das Tal **164** des Impulses **160** unter dem unteren Grenz- oder Schwellenwert **168**. Dieses Signal wird aufgrund einer Unterbrechung zwischen dem Endelement **110** und dem Transceiver **140** erhalten. D. h., die Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle wird durch eine Kabel/Luft-Unstetigkeitsstelle ersetzt. Eine solche Änderung veranlaßt, daß die Amplitude des Impulses **160** zunimmt oder in einen Sättigungszustand übergeht. Der Transmitter **100** identifiziert diesen Zustand und stellt eine geeignete Diagnoseinformation bereit.

[0032] Obwohl Ausführungsformen von leistungsarmen Radar-Füllstandmeßgeräten mit Diagnose unter Bezug auf den oberen und den unteren Grenzwert **166**, **168** beschrieben wurden, können Ausführungsformen auch mit einem einzigen Grenzwert realisiert werden. Wenn beispielsweise lediglich eine ein eingetauchtes Endelement anzeigende Diagnoseinformation gewünscht ist, kann ein einziger Grenz- oder Schwellenwert verwendet werden. Daher würde durch einen Vergleich zwischen dem Tal **164** und dem einzigen Schwellenwert die gewünschte Diagnoseinformation bereitgestellt.

[0033] Fig. 4 zeigt ein Blockdiagramm zum Darstellen einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Verfahren beginnt bei Block **250**, wo ein Mikrowellensignal erzeugt und entlang eines Mikrowellenendelements durch eine Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle übertragen wird. Bei Block **252** wird ein erster Anteil des Mikrowellensignals an einer Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle reflektiert und empfangen. Bei Block **254** werden basierend auf einer Kenngröße des reflektierten ersten Signalanteils Diagnoseinformationen berechnet. Die Diagnoseinformationen können auf der Amplitude des reflektierten ersten Signalanteils basieren und können einen normalen Betriebszustand, einen eingetauchten Zustand des Endelements oder einen Unterbrechungszustand des Endelements anzeigen. Beim wahlweise vorgesehenen Block **256** kann die Produktfüllstandhöhe basierend auf dem Empfang des ersten Signalanteils und dem Empfang des von einer Prozeßproduktgrenzfläche reflektierten zweiten Signalanteils berechnet werden.

Patentansprüche

1. Radar-Füllstandmeßvorrichtung, aufweisend:

eine Sonde (**110**) mit einer Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (**155**), die durch eine Prozeßproduktgrenzfläche (**127**) in ein Prozeßprodukt (**14**, **18**, **21**) einführbar ist;

einen mit der Sonde (**110**) verbundenen Transceiver (**140**), wobei der Transceiver dazu geeignet ist, einen Mikrowellensendeimpuls zu erzeugen, der entlang der Sonde (**110**) in das Prozeßprodukt (**14**, **18**, **21**) übertragen wird, wobei der Sendeimpuls zumindest teilweise an der Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (**155**) reflektiert wird, um einen ersten reflektierten Wellenimpuls zu bilden, und wobei der Sendeimpuls zudem an der Produktgrenzfläche (**127**) zumindest teilweise reflektiert wird, um einen zweiten reflektierten Wellenimpuls zu bilden, wobei der Transceiver (**140**) außerdem dazu geeignet ist, die ersten und zweiten reflektierten Wellenimpulse zu empfangen; und

einen mit dem Transceiver (**140**) verbundenen Prozessor, der dazu geeignet ist, ein Diagnosesignal als Funktion der Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses bereitzustellen, und dazu geeignet ist, ein Prozeßproduktfüllstandanzeigendes Füllstandausgangssignal basierend auf der Erfassungszeit des zweiten reflektierten Wellenimpulses bereitzustellen,

wobei die Vorrichtung mit einer Prozeßsteuerungsschleife verbindbar und dazu geeignet ist, das Füllstandausgangssignal auf der Prozeßsteuerungsschleife zu übertragen und wobei der Transceiver durch die Prozeßsteuerungsschleife vollständig mit Leistung versorgt wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Referenzimpedanzunstetigkeitsstelle eine Basisplatte ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Transceiver ein Mikrowellenimpulsradartransceiver ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner mit einer Schleifeninformationsübertragungseinrichtung, die dazu geeignet ist, das Füllstandausgangssignal gemäß einem Prozeßindustrie-Standardprotokoll zu übertragen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei das Protokoll ein HART-(Highway Adressable Remote Transducer) oder ein FOUNDATION-Feldbusprotokoll ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Prozeßsteuerungsschleife eine 4–20 mA-Prozeßsteuerungsschleife ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Diagnoseausgangssignal einen Zustand anzeigt, in dem die Sonde vollständig in ein Prozeßfluid eingetaucht ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Diagnoseausgangssignal einen Zustand anzeigt, in dem die Sonde von der Vorrichtung getrennt ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Impulsbreite des Mikrowellensendeimpulses im Bereich von etwa 200 ps bis etwa 2 ns liegt.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Diagnosesignal auf einem Amplitudenvergleich zwischen dem reflektierten ersten Wellenimpuls und mindestens einem vorgewählten Grenzwert basiert.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei der mindestens eine vorgewählte Grenzwert einen oberen und einen unteren Grenzwert aufweist.
12. Verfahren zum Bereitstellen einer Diagnose durch eine Radar-Füllstandmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1–11, wobei das Verfahren aufweist:
Erzeugen eines Mikrowellensendeimpulses und Übertragen des Sendeimpulses durch die Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (**155**);
Empfangen der ersten reflektierten Welle von der Bezugsimpedanzunstetigkeitsstelle (**155**); und
Bereitstellen eines Diagnosesignals als Funktion der Amplitude der ersten reflektierten Welle.
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Diagnosesignal anzeigt, ob die Bezugsunstetigkeitsstelle (**155**) mindestens teilweise in ein Prozeßfluid eingetaucht ist.
14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Diagnosesignal eine elektrische Unterbrechung in einem Mikrowellen-Wellenleiter anzeigt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, ferner mit:
Übertragen des Mikrowellensendeimpulses zu einer Prozeßproduktgrenzfläche (**127**);
Empfangen eines zweiten reflektierten Wellenanteils von der Produktgrenzfläche (**127**); und
Bereitstellen eines Produktfüllstandausgangssignals basierend auf dem Empfang des zweiten reflektierten Wellenanteils.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei das Bereitstellen des Diagnosesignals das Vergleichen der Amplitude der ersten reflektierten Welle mit dem mindestens einen vorgewählten Grenzwert aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

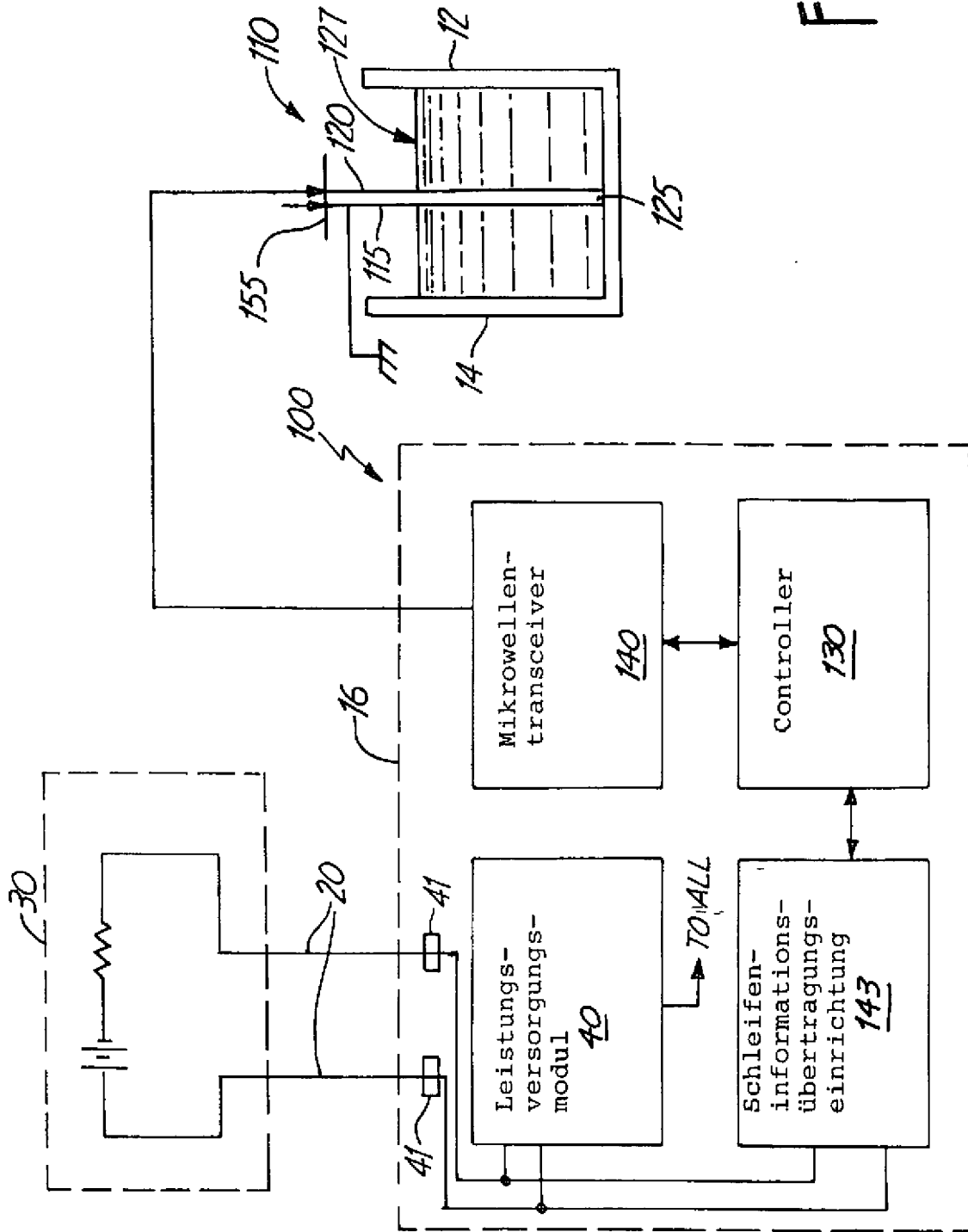


FIG. 2

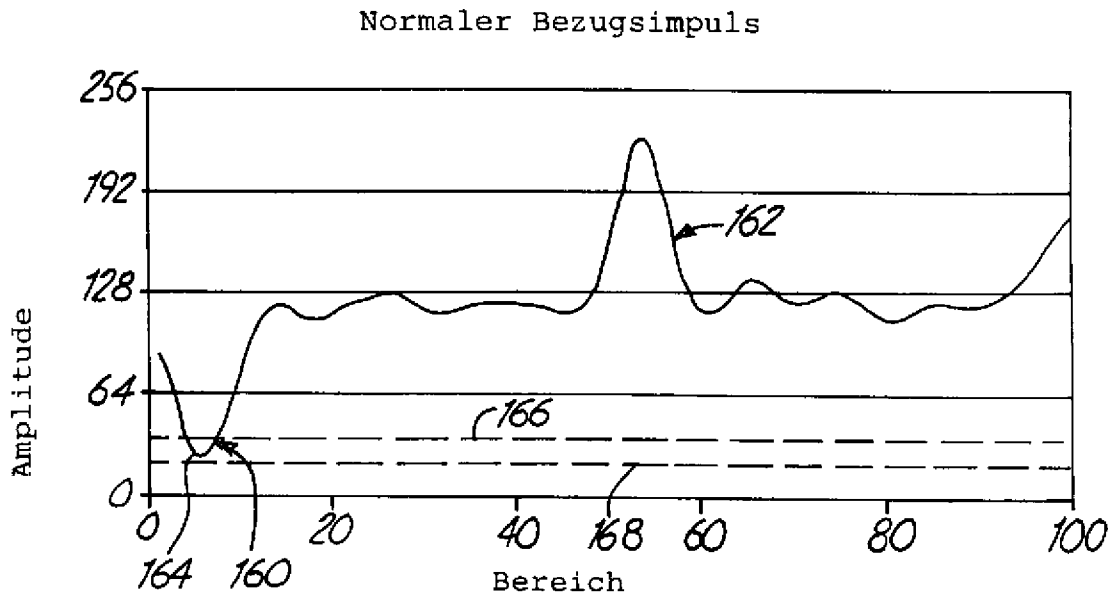


FIG. 3A

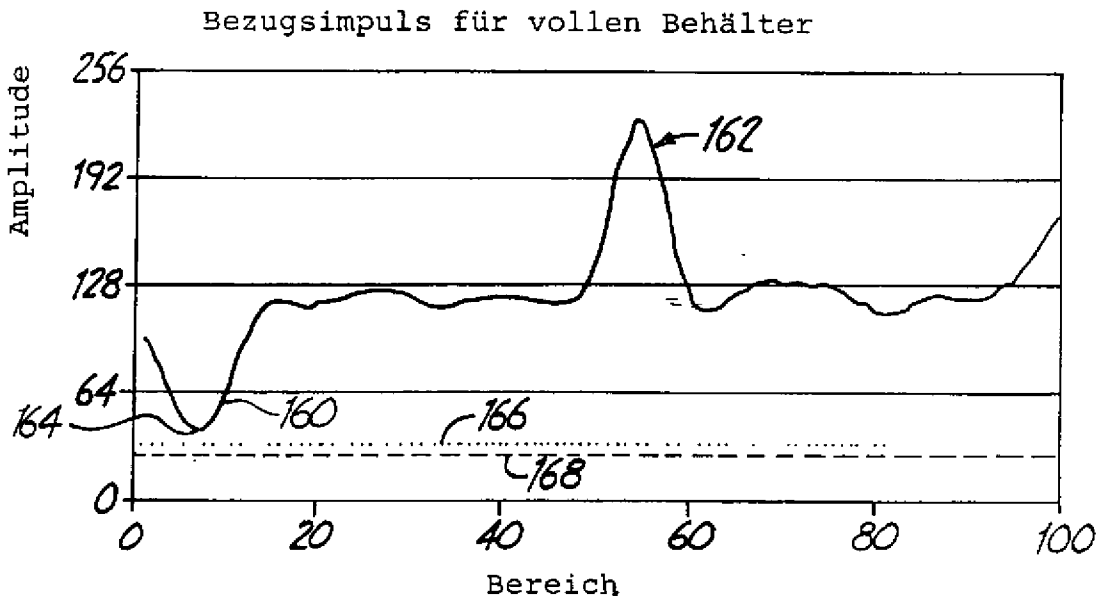


FIG. 3B

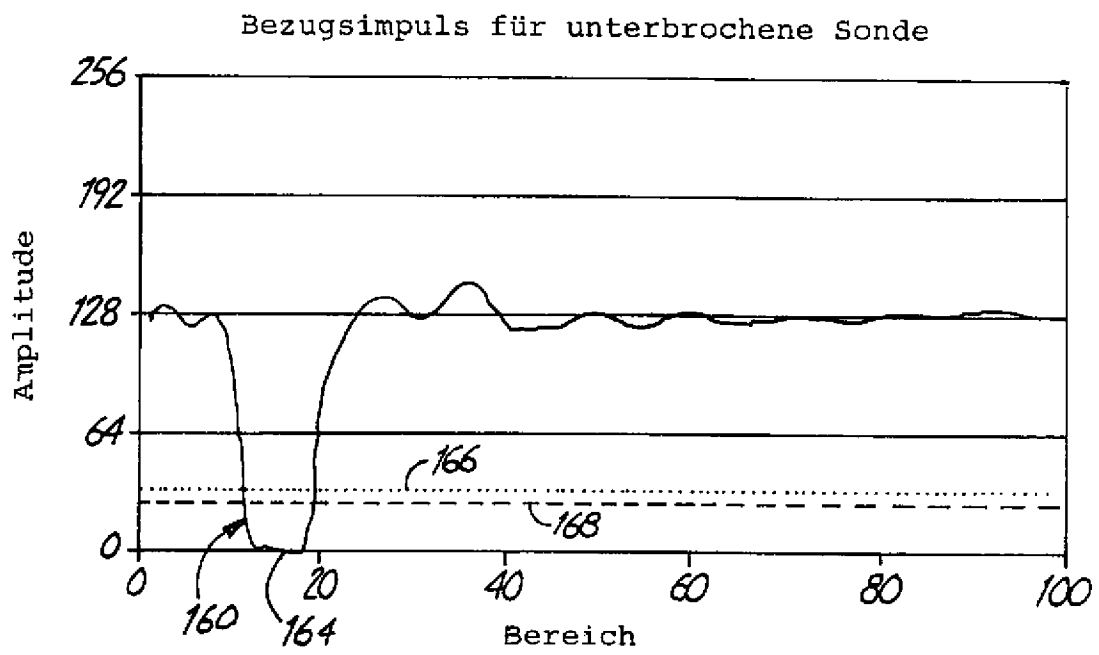


FIG. 3C

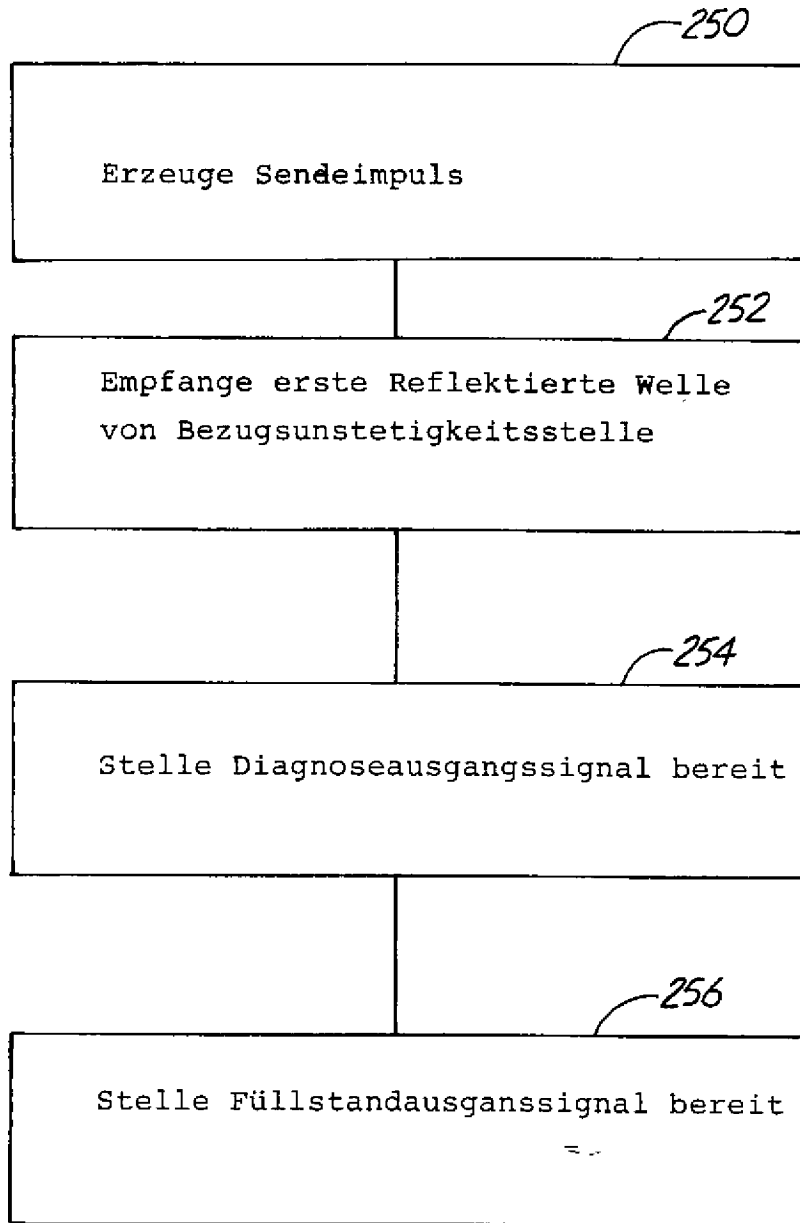


FIG. 4