



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 34 631 T2** 2008.01.10

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 066 500 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 34 631.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/01076**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 904 382.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/043739**

(86) PCT-Anmeldetag: **18.01.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **27.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **02.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01F 23/284** (2006.01)  
**G01S 13/88** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**234999 21.01.1999 US**

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

(74) Vertreter:  
**PAe Splanemann Reitzner Baronetzky  
Westendorf, 80469 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:  
**DIEDE, Kurt C., Apple Valley, MN 55124, US;  
RICHTER, Brian E., Bloomington, MN 55431, US**

(54) Bezeichnung: **ERKENNUNG DER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN MEHREREN PROZESS-PRODUKTEN FÜR EIN FÜLLSTANDMESS-RADARGERÄT MIT NIEDRIGER LEISTUNG**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die Prozesssteuerungsindustrie setzt Prozessvariablen-Transmitter oder -Messwertgeber zur Überwachung von Prozessvariablen ein, welche mit Substanzen wie Festkörpern, Aufschlämmungen, Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen in Chemie-, Trüben-, Erdöl-, Pharmazie-, Nahrungsmittel- und anderen nahrungsmittelverarbeitenden Anlagen verbunden sind. Die Prozessvariablen schließen Druck, Temperatur, Strömung oder Durchfluss, Füllstand, Trübung, Dichte, Konzentration, chemische Zusammensetzung und andere Eigenschaften ein. Ein Prozessvariablen-Messwertgeber kann ein Ausgangssignal, welches mit der gemessenen Prozessvariablen in Zusammenhang steht, über eine Prozessregelschleife für eine Steuerwarte bereitstellen, so dass der Prozess überwacht und gesteuert werden kann.

**[0002]** Bei der Prozessregelschleife kann es sich um eine 4-20mA Zweidraht-Prozessregelschleife handeln. Bei einer derartigen Prozessregelschleife sind die Erregungspegel niedrig genug, so dass die Schleife sogar bei Störungszuständen im Allgemeinen nicht ausreichend elektrische Energie zur Erzeugung eines Zündfunken aufweist. Dies ist besonders in leicht entzündlichen oder feuergefährlichen Umgebungen von Vorteil. Prozessvariablen-Messwertgeber können manchmal bei derart niedrigen Energiepegeln arbeiten, dass sie ihren gesamten elektrischen Strom von der 4-20mA Schleife erhalten. Die Regelschleife kann zudem digitale Signale aufweisen, welche auf der Zweidrahtschleife entsprechend einem Prozessindustrie-Standardprotokoll wie beispielsweise dem digitalen HART®-Protokoll überlagert werden.

**[0003]** Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar(LPTDRR)-Instrumente werden seit kurzem zur Messung des Füllstands von Prozessprodukten (entweder Flüssigkeiten oder Festkörpern) in Lagerbehältern verwendet. Bei der Zeitbereichsreflektometrie wird die elektromagnetische Energie von einer Quelle übertragen und diskontinuierlich oder unstetig reflektiert. Die Fortbewegungszeit des empfangenen Impuls basiert auf dem Medium, durch welches er sich fortbewegt. Eine Art des LPTDRR ist bekannt als Micropower Impulse Radar (MIR), welcher vom Lawrence Livermore National Laboratory entwickelt worden ist.

**[0004]** Niedrigenergie-Scatter-Schaltkreise sind im Allgemeinen in der Lage, den Füllstand immer eines Produkts in einem Tank zu erfassen. Ein Lagerbehälter oder Speichertank enthält jedoch häufig eine Vielzahl von Produkten, welche aufeinander geschichtet sind. Dies erzeugt eine Vielzahl von Übergangsflächen oder Schnittstellen zwischen Produkten mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten, bei welchen die übertragenen Mikrowellen reflektiert werden können. Beispielsweise sind in einem Tank mit einem Werkstoff auf Wasserbasis und einem Werkstoff auf Ölbasis für gewöhnlich zwei Schnittstellen oder Übergangsflächen vorhanden, eine zwischen der Luft und dem Werkstoff auf Ölbasis und eine zwischen dem Werkstoff auf Ölbasis und dem Werkstoff auf Wasserbasis. Manchmal tritt ein eingeschränktes Vermischen in unmittelbarer Nähe der Produktschnittstelle oder Übergangsfläche auf. Herkömmliche Niedrigenergie-Scatter-Füllstandsmesswertgeber sind nicht in der Lage, beide Produktschnittstellen oder Übergangsflächen zu erfassen und sind daher nicht imstande, den Füllstand beider Produkte ohne vom Benutzer bereitgestellte erhebliche oder wesentliche Daten über die Dielektrizitätskonstante zu erfassen. Des Weiteren müssen die Dielektrizitätskonstanten, falls sich die Prozessprodukte ändern, neu eingegeben werden, oder es kann sich ein Fehler in das System einschleichen.

**[0005]** Ein Aufsatz mit dem Titel "Novel Methods of Measuring Impurity Levels in Liquid Tanks; Neuartige Verfahren zur Messung von Verunreinigungspegeln in Flüssigkeitsbehältern" von Matthias Weiss und Reinland Knöchel, welcher 1997 im IEEE MTT-S Digest veröffentlicht wurde, offenbart einen Sensor zur Bestimmung der Oberflächen- oder Schnittstellenhöhe von Werkstoffen wie beispielsweise Flüssigkeiten oder Pulvern, welche beispielsweise in einem Tank oder Silo enthalten sind. Die in diesem Patent offenbarte Erfindung basiert auf dem FSCW-Verfahren (frequency step continuous wave)

**[0006]** US-Patent Nr. 3,812,422 offenbart eine Vorrichtung zur Messung von Füllständen von Fluidansammlungen oder -mengen und von Höhen von Schnittstellen zwischen Fluiden durch Messen von Veränderungen der Impedanz entlang eines Signalpfads.

**[0007]** US-Patent Nr. 5,672,975 offenbart einen Füllstandsmesswertgeber zur Verwendung in einem Prozess zur Messung der Höhe oder des Füllstands eines Produkts in einem Tank.

**[0008]** US-Patent Nr. 5,609,059 offenbart einen auf Zeitbereichsreflektometrie basierenden Füllstands-Sensor.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Die vorliegende Erfindung liefert in einem ersten Aspekt einen Niedrigenergie-Füllstandsmesswertgeber, welcher die Erfassung von mehreren Prozessproduktschnittstellen gemäß Definition in Anspruch 1 bereitstellt.

**[0010]** In einem zweiten Aspekt stellt die Erfindung ein Verfahren zur Erfassung mehrerer oder Mehrfach-Prozessproduktschnittstellen oder -Übergängen gemäß Definition in Anspruch 12 bereit.

**[0011]** Es ist eine Mehrfachprozessproduktschnittstellenerfassung für einen Niedrigenergie-LPTDRR-Füllstandsmesswertgeber offenbart. Eine Dielektrizitätskonstante eines ersten Produkts wird berechnet, um die Füllstände des ersten und zweiten Produkts in einem Tank zu berechnen. Eine Terminierung oder ein Endstück erstreckt sich in das erste und zweite Produkt in dem Tank. Ein Sendeimpulserzeuger überträgt oder sendet einen Impuls entlang der Terminierung oder des Endstücks in das erste und zweite Produkt. Ein Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar(LPTDRR)-Impulsempfänger empfängt den ersten und zweiten reflektierten Wellenimpuls, welche der Reflexion eines ersten Abschnitts des Sendeimpulses an einer ersten Produktschnittstelle bzw. der Reflexion eines zweiten Abschnitts des Sendeimpulses an einer zweiten Produktschnittstelle entsprechen. Eine Schwellenwert-Steuerung erzeugt einen ersten Schwellenwert zur Erfassung des ersten reflektierten Wellenimpuls sowie einen zweiten Schwellenwert zur Erfassung des zweiten reflektierten Wellenimpuls. Ein Dielektrizitätskonstantenberechner berechnet eine Dielektrizitätskonstante eines ersten Produkts als Funktion eines ersten reflektierten Wellenimpulses. Ein Füllstandsrechner berechnet die Füllstände des ersten und zweiten Produkts.

**[0012]** Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Kurzbeschreibung der Erfindung anhand der Zeichnungen.

## KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0013]** Es zeigen:

**[0014]** [Fig. 1](#) ein Diagramm eines Mikrowellen-Füllstandsmesswertgebers, welcher die Umgebung von Ausführungsformen der Erfindung zeigt;

**[0015]** [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm, welches eine Schaltkreisanordnung einer Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht;

**[0016]** [Fig. 3](#) ein Blockdiagramm, welches eine Schaltkreisanordnung einer weiteren Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht;

**[0017]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) Kurven, welche Schwellenwerte zeigen, welche durch Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar(LPTDRR)-Äquivalenzzeitwellenform steuerbar sind;

**[0018]** [Fig. 6](#) ein Schemadiagramm eines steuerbaren Empfangsschwellenwert-Schaltkreises;

**[0019]** [Fig. 7](#) eine Kurve, welche eine LPTDRR-Äquivalenzzeitwellenform darstellt; und

**[0020]** [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) Ablaufdiagramme, welche Verfahren veranschaulichen, welche durch einen Füllstandsmesswertgeber gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform implementiert werden.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0021]** [Fig. 1](#) ist ein Diagramm, welches Füllstandsmesswertgeber **100** veranschaulicht, welche in der Umgebung zur Befestigung an Speicherbehältern **12**, **13**, **17**, **24** arbeiten, wobei die Speicherbehälter Prozessprodukte enthalten, die aufeinander angeordnet sind. Wie dargestellt ist, enthält der Tank **12** ein erstes Produkt **14**, welches auf einem zweiten Produkt **15** angeordnet ist. Die Füllstandsmesswertgeber **100** weisen Gehäuse **16** sowie Terminierungen oder Endstücke **110** auf. Die Messwertgeber **100** sind mit Prozessregelschleifen **20** gekoppelt, und senden Informationen, welche sich auf Höhen der Prozessprodukte beziehen, über eine Schleife **20** an eine Steuerwarte **30** (welche als Spannungsquellen und Widerstände ausgeführt ist) oder an andere Vorrichtungen (nicht gezeigt), welche mit den Prozessregelschleifen **20** gekoppelt sind. Die Schleifen **20** sind Energiequellen für die Messwertgeber **100** und können jedes beliebige Industriestandard-Kommunikationspro-

tokoll wie beispielsweise 4-20mA, Foundation™ Fieldbus oder HART® verwenden. Als Niedrigenergiaradar-Messwertgeber können die Messwertgeber **100** vollständig durch Energie betrieben werden, welche über eine 4-20mA Prozessregelschleife empfangen wird.

**[0022]** [Fig. 1](#) zeigt verschiedene Anwendungen, in welchen Radarfüllstandsmesswertgeber nützlich sind. Beispielsweise handelt es sich bei den Prozessprodukten **14** und **15** im Tank **12** um Fluide, während es sich bei den Prozessprodukten **18** und **19** im Tank **13** um Festkörper handelt. Die Prozessprodukte **21** und **22** im Tank **17** sind Fluide, deren Füllstände an ein Rohr **23** kommuniziert oder übertragen werden, in welches eines der Terminierungen oder Endstücke **110** hineinragt. Des Weiteren ist der Tank **24** die Produkte **25** und **26** enthaltend gezeigt, und mit einer strahlungsartigen Terminierung oder einem Endstück, welches am oberen Ende auf dem Tank **24** angebracht ist. Obwohl die Tanks **12**, **13**, **17** und **24** in [Fig. 1](#) gezeigt sind, können die Ausführungsformen der Erfindung ohne Tanks praktiziert werden, wie beispielsweise in einem See oder Staubecken.

**[0023]** [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sind Blockdiagramme eines Füllstandsmesswertgebers **100**. [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) sind Kurven von Äquivalenzzeit-Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar(LTPDRR)-Sende/Empfangswellenformen, welche steuerbare Schwellenwert-Erfassungsaspekte von Ausführungsformen der Erfindung zeigen. Für Fachleute in der Technik versteht es sich, dass die Wellenformen der [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) invertiert oder umgekehrt werden können und immer noch in den Schutzbereich der Erfindung fallen. Innerhalb des Gehäuses **16** weist der Messwertgeber **100** einen Sendeimpulsgenerator **210**, einen Impulsempfänger **220**, eine Schwellenwertsteuerung **230**, einen Dielektrizitätskonstantenberechner **240** sowie einen Füllstandsrechner **250** auf. Der Messwertgeber **100** weist zudem eine Terminierung oder ein Endstück **110** auf. Die Schwellenwertsteuerung **230**, der Dielektrizitätskonstantenberechner **240** sowie der Füllstandsrechner **250** können in einem Mikroprozessor **255** implementiert sein, wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist. Es kann jedoch auch eine diskrete Schaltkreisanordnung für beliebige dieser Funktionen verwendet werden. In Ausführungsformen, in welchen diese Funktionen in dem Mikroprozessor **255** ausgeführt sind, weist der Messwertgeber **100** einen Analog/Digital-Wandler **270** auf. Der Messwertgeber **100** kann eine Stromversorgung sowie eine Eingabe/Ausgabe-Schaltkreisanordnung **260** (in [Fig. 3](#) gezeigt) zum Betreiben des Messwertgebers **100** mit Energie aufweisen, die über die Schleife **20** empfangen wird, und zum Kommunizieren über die Schleife **20**. Eine derartige Kommunikation kann die Übertragung von Informationen bezüglich Produkthöhen über die Schleife **20** aufweisen. Eine Schaltkreisanordnung **260** kann so ausgelegt sein, dass sie die einzige Energiequelle für den Messwertgeber **100** durch über die Schleife **20** erhaltene Energie bereitstellt.

**[0024]** Die Terminierung oder das Endstück **110** kann von der Art sein, wie sie/es in der Füllstandsmesswertgebertechnik gut bekannt ist, und es kann sich bei der Terminierung um jeden beliebigen geeigneten Übertragungsleitungs-Wellenleiter oder eine Antenne handeln. Eine Übertragungsleitung ist ein System von Werkstoff-Abgrenzungen, welche einen kontinuierlichen Pfad von einem Ort zu einem anderen Ort bildet und in der Lage ist, eine Übertragung elektromagnetischer Energie entlang dieses Pfads zu lenken. In einigen Ausführungsformen ist die Terminierung oder das Endstück **110** eine Doppelleitungs-Antenne, welche Leitungen oder Leiter **115** und **120** aufweist, welche an einem unteren Bereich **125** verbunden sind und sich in die Produkte **14** und **15** im Tank **12** erstrecken können, und welche optional eine Anschlussplatte **155** aufweist. Bei der Terminierung oder dem Endstück **110** kann es sich zudem um eine Monopol-, eine Koaxial-, eine Doppelleitungs-, eine Einzelleitungs-, eine Mikrostrip-, oder eine Strahlungshorn-Terminierung mit jeder beliebigen Anzahl von Leitungen handeln.

**[0025]** Bei dem Sendeimpulserzeuger **210** kann es sich um eine Niedrigenergie-Mikrowellenquelle handeln, welche mit der Terminierung oder dem Endstück **110** verbunden ist. Der Erzeuger **210** erzeugt einen Mikrowellen-Sendeimpuls oder ein Signal, welches entlang der Terminierung **110** in die Produkte **14**, **15** übertragen oder gesendet wird. Der Sendeimpuls kann jede beliebige Frequenz aus einer Bandbreite von Frequenzen aufweisen, beispielsweise zwischen ungefähr 250 MHz und ungefähr 20 GHz oder mehr. In einer Ausführungsform beträgt die Frequenz des Sendeimpulses in etwa 2 GHz. Der Vergleichs- oder Bezugsimpuls **310** der Äquivalenzzeit-Wellenform **300** (in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt) kann an der Anschlussplatte **155** oder durch andere Mechanismen erzeugt werden, um den Beginn einer Sende-/Empfangsperiode zu bestimmen. Ein erster Abschnitt der Sendeimpuls-Mikrowellenenergie, welche entlang der Leitungen **115** und **120** übertragen wird, wird an der ersten Produktschnittstelle **127** zwischen der Luft und einem Produkt **14** reflektiert. Ein zweiter Abschnitt der Sendeimpuls-Mikrowellenenergie wird an der Schnittstelle **128** zwischen dem Produkt **14** und Produkt **15** reflektiert. In den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) stellt der Impuls **320** der Äquivalenzzeit-Wellenform **300** die Mikrowellenenergie dar, welche an der Schnittstelle **127** zwischen der Luft und dem Produkt **14** reflektiert wird, während Impuls **330** Mikrowellenenergie darstellt, welche an der Schnittstelle **128** zwischen dem Produkt **14** und Produkt **15** reflektiert wird. Im Allgemeinen, falls das Produkt **14** eine Dielektrizitätskonstante aufweist, die geringer als

die Dielektrizitätskonstante von Produkt **15** ist, kann die Amplitude des Impulses **330** größer als Impuls **320** sein.

**[0026]** Bei dem Impulsempfänger **220** kann es sich um einen Niedrigenergie-Mikrowellenempfänger handeln, welcher mit der Terminierung oder dem Endstück **110** gekoppelt ist. Der Empfänger **220** ist derart ausgelegt, dass er den ersten reflektierten Wellenimpuls entsprechend der Reflexion des ersten Abschnitts des Sende- oder Übertragungsimpulses an einer Produktschnittstelle **127** (in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) durch Impuls **320** dargestellt) empfängt. Der Empfänger **220** ist darüber hinaus derart ausgelegt, dass er den zweiten reflektierten Wellenimpuls entsprechend der Reflexion des zweiten Abschnitts des Sende- oder Übertragungsimpulses an der zweiten Produktschnittstelle **128** (in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) durch Impuls **330** dargestellt) empfängt. Durch Verwendung eines bekannten Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar-Abtastverfahrens erzeugt der Empfänger **220** als Ausgangssignal eine Äquivalenzzeit-LPTDRR-Wellenform **300**.

**[0027]** Die Schwellenwertsteuerung **230** empfängt die Wellenform **300** als Eingangssignal. In Ausführungsformen, in denen die Schwellenwertsteuerung **230** und der Dielektrizitätskonstantenberechner **240** im Mikroprozessor **255** ausgeführt sind, digitalisiert eine Analog/Digital-Umwandlungsschaltkreisanordnung **270** die Wellenform **300**. Die Schwellenwertsteuerung **230** erzeugt die Schwellenwerte **315**, **340** und **350** zur Erfassung eines Vergleichsimpulses **310** und somit eines Zeitpunkts  $T_1$ , bei welchem der Impuls **310** empfangen wurde, zur Erfassung eines reflektierten Wellenimpulses **320** und somit eines Zeitpunkts  $T_2$ , bei welchem der Impuls **320** empfangen wurde, und zur Erfassung eines reflektierten Wellenimpulses **330** und somit eines Zeitpunkts  $T_3$ , bei welchem der Impuls **330** empfangen wurde. Der Schwellenwert **315**, welcher zur Erfassung des Vergleichsimpulses **310** verwendet wird, kann eine vorher festgelegte Konstantspannung sein, oder er kann automatisch als Funktion der Spitzenamplitude des Impulses **310** auf bekannte Art und Weise bestimmt werden. Die Schwellenwerte **340**, **350** können als Funktion vom Benutzer eingegebener Daten berechnet werden. Für Fachleute in der Technik ist es offensichtlich, dass die Schwellenwertsteuerung **230** in Software als Algorithmus ausgeführt sein kann, welcher nach Mehrfach-Impulsen sucht. Die Schwellenwertsteuerung **230** stellt einen Empfangsimpuls-Schwellenwert **340** bereit, welcher in [Fig. 4](#) auf einem Pegel dargestellt ist, welcher durch Impuls **330** überschritten wird. Die Schwellenwertsteuerung **230** stellt einen Empfangsimpuls-Schwellenwert **350** bereit, welcher in [Fig. 5](#) auf einem Pegel dargestellt ist, welcher durch Impuls **320** überschritten wird. Die Schwellenwertsteuerung **230** liefert als Ausgangssignal an den Dielektrizitätskonstantenberechner **240** und an den Füllstandsrechner **250** Empfangsimpulsinformationen basierend auf einer Erfassung des reflektierten Wellenimpulses **320** und/oder **330** basierend auf einem Vergleich der reflektierten Wellenimpulse **320**, **330** mit den jeweiligen Schwellenwerten.

**[0028]** [Fig. 6](#) veranschaulicht einen Abschnitt der Schwellenwert-Steuerung **230**, welche in einer diskreten Schaltkreisanordnung implementiert ist, welche steuerbare Schwellenwerte wie beispielsweise die Schwellenwerte **340** und **350** erzeugt. Die Schwellenwert-Steuerung **230** schließt einen Vergleich **400** ein, welcher als erstes Eingangssignal vom Empfänger **220** eine Wellenform **300** aufweist, welche die Empfangsimpulse **320** und **330** enthält. Als zweites Eingangssignal empfängt der Vergleich **400** die steuerbare analoge Schwellenwertspannung, welche vom Ausgang des Digital/Analog-Wandlers **410** bereitgestellt wird. Der Digital/Analog-Wandler **410** empfängt ein digitales Eingangssignal vom Mikroprozessor **255**, welches den gewünschten Schwellenwert wiedergibt. Das Ausgangssignal **420** des Vergleichs **400** wird an den Dielektrizitätskonstantenberechner **240** und an den Füllstandsrechner **250** als Anzeige der Zeitpunkte geliefert, zu denen die Impulse **320** und **330** empfangen werden. Während einer ersten Abtastperiode, in welcher die Wellenform **300** erzeugt wird, wird der Wandler **410** derart gesteuert, dass er einen Schwellenwert **350** zur Erfassung des Impulses **320** bereitstellt. Während einer nachfolgenden Abtastperiode wird der Wandler **410** derart gesteuert, dass er einen Schwellenwert **340** zur Erfassung des Impulses **330** bereitstellt.

**[0029]** Der Dielektrizitätskonstantenberechner **240** in [Fig. 2](#) ist mit der Schwellenwertsteuerung **230** gekoppelt und ist derart ausgelegt, dass er eine Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts **14** im Tank **12** als Funktion der Empfangsimpuls-Ausgangsinformationen berechnet, die von der Schwellenwertsteuerung **230** bereitgestellt werden. Ein Verfahren, welches vom Dielektrizitätskonstantenberechner **240** zur Berechnung der Dielektrizitätskonstante implementiert wird, wird nachfolgend ausführlich mit Bezug auf die [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) erörtert.

**[0030]** Der Füllstandsrechner **250** ist mit der Schwellenwert-Steuerung **230** und dem Dielektrizitätskonstantenberechner **240** gekoppelt und derart ausgelegt, dass er einen Füllstand des ersten Produktes **14** und des zweiten Produktes **15** berechnet, indem er bekannte mathematische Funktionen zur Ableitung von Daten aus den reflektierten Impulsen einsetzt. Derartige mathematische Funktionen können beispielsweise mit einer Impulsamplitude, einer Impuls-Bewegungsdauer, einem Impulsgefälle und einer Impulsfläche oder -bereich ar-

beiten. Der Rechner **250** berechnet den Füllstand des Produkts **14** als Funktion des Zeitpunkts  $T_2$  der Erfassung des ersten reflektierten Wellenimpulses **320**. Der Rechner **250** kann des Weiteren den Füllstand des Produkts **15** als Funktion des Zeitpunkts  $T_3$  der Erfassung eines zweiten reflektierten Wellenimpulses **330** und der berechneten Dielektrizitätskonstante des Produkts **14** berechnen.

**[0031]** Durch Verwendung der steuerbaren Schwellenwerterfassung kann der Dielektrizitätskonstantenberechner **240** die Dielektrizitätskonstanten von Produkten berechnen, und durch Kombination dieser Informationen mit den Mehrfachproduktschnittstellen-Zeitsteuerungsinformationen kann der Füllstand mehrerer Produkte durch den Füllstandsrechner **250** berechnet werden. Die Dielektrizitätskonstante des oberen Mediums (in einem besonderen Beispiel Öl) wird vom Rechner **250** berechnet, beispielsweise durch Verwendung des nachfolgenden Verfahrens.

**[0032]** Die Amplitude des Impulses, welcher von einer Schnittstelle mit einem Werkstoff reflektiert wird, ist proportional zu der Dielektrizitätskonstante des Werkstoffs gemäß der in Gleichung 1 dargestellten Beziehung.

$$\epsilon_R \propto \frac{V_R}{V_T} \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei:

$V_R$  = die Amplitude des reflektierten Impulses; und  
 $V_T$  = die Amplitude des gesendeten Impulses.

#### VERFAHREN

**[0033]** Ein Verfahren zur Berechnung der Dielektrizitätskonstante von Produkt **14** mit der Beziehung aus Gleichung 1 verwendet die Schwellenwertsteuerung **230** zur genaueren Bestimmung der Amplituden der gesendeten und reflektierten Impulse. Dieses Verfahren wird zur Berechnung der Füllstände des ersten Produkts **14** sowie des zweiten Produkts **15** im Tank **12** verwendet. Das Verfahren ist in der Kurve von [Fig. 7](#) gezeigt und wird im Ablaufdiagramm von [Fig. 8](#) zusammengefasst. Für Fachleute in der Technik ist es offensichtlich, dass die Kurvenskizze von [Fig. 7](#) umgekehrt werden kann und immer noch in den Schutzzumfang der Erfindung fällt.

**[0034]** Das Verfahren beginnt bei Block **560** mit der Erzeugung eines Sendeimpulses. Der Sendeimpuls wird entlang der Terminierung oder des Endstücks in das erste und zweite Produkt im Tank übertragen. Bei Block **565** wird der erste reflektierte Wellenimpuls empfangen. Der erste reflektierte Wellenimpuls entspricht der Reflexion des ersten Abschnitts des Sendeimpulses an der ersten Produktschnittstelle **127**. Bei Block **570** wird der zweite reflektierte Wellenimpuls empfangen. Der zweite reflektierte Wellenimpuls entspricht der Reflexion eines zweiten Abschnitts des Sendeimpulses an der zweiten Produktschnittstelle **128**, welche zwischen einem ersten Produkt **14** und einem zweiten Produkt **15** gebildet wird.

**[0035]** Bei Block **575** wird die Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts als Funktion des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet. Wie es in der Äquivalenzzeit-Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar(LPTDRR)-Wellenform **520** von [Fig. 7](#) gezeigt ist, weist der Sendeimpuls (welcher durch den Vergleichsimpuls **530** dargestellt ist) eine Sendeamplitude  $V_T$  auf, während der Empfangsimpuls **540** eine Empfangsamplitude  $V_R$  aufweist. Entweder durch Digitalisierung der Äquivalenzzeit-LPTDRR-Wellenform **520** mit Hilfe des Analog/Digital-Wandlers **270** und durch Analysierung des digitalisierten Signals mit Hilfe des Mikroprozessors **255**, oder durch Verwendung des Digital/Analog-Wandlers **410** zur Einstellung von Vergleichers-Schwellenwerten, wird die Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet, und die Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts **14** wird unter Verwendung von Gleichung 1 berechnet.

**[0036]** Bei Block **580** wird der Füllstand des ersten Produkts **14** berechnet. Der Füllstand des ersten Produkts **14** wird als Funktion des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet. Wie vorstehend erörtert wurde, wird der Füllstand des Produkts **14** für gewöhnlich als Funktion eines Empfangszeitpunkts des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet, und letztendlich als Funktion einer ersten Zeitdauer zwischen der Übertragung des Sendeimpulses und dem Empfang des ersten reflektierten Wellenimpulses.

**[0037]** Bei Block **585** wird der Füllstand des zweiten Produkts **15** berechnet. Der Füllstand des zweiten Produkts **15** wird als Funktion des ersten und zweiten reflektierten Wellenimpulses und als Funktion der berechneten Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts **14** berechnet. Insbesondere kann der Füllstand des Produkts **15** als Funktion der berechneten Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts **14** und als Funktion einer zweiten Zeitdauer zwischen dem Empfang des ersten reflektierten Wellenimpulses und dem Empfang des



zweiten reflektierten Wellenimpulses berechnet werden. Letzten Endes ist die Berechnung des Füllstands des Produkts **15** auch eine Funktion des Füllstands von Produkt **14**.

**[0038]** **Fig. 9** veranschaulicht ein spezifischeres Verfahren zur Berechnung des Füllstands der Produkte **14** und **15** im Tank **12**. Zunächst wird, wie es bei Block **705** gezeigt ist, der Sendeimpuls erzeugt und entlang der Terminierung oder des Endstücks in die Produkte **14** und **15** übertragen. Wie bei Block **710** dargestellt ist, startet die Erzeugung und/oder Übertragung des Sendeimpulses einen Taktgeber oder bestimmt den Beginn einer oder mehrerer Zeitperioden.

**[0039]** Bei Block **715** wird der erste reflektierte Wellenimpuls empfangen, und bei Block **720** wird die erste Zeitdauer zwischen der Übertragung des Sendeimpulses und dem Empfang des ersten reflektierten Wellenimpuls aufgezeichnet. Bei Block **725** wird der Füllstand des ersten Produkts **14** als Funktion der ersten Zeitdauer berechnet.

**[0040]** Wie es bei Block **730** gezeigt ist, wird eine Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet. Bei Block **735** wird die Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts **14** als Funktion eines Vergleichs der Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses mit einer Referenzamplitude berechnet. Die Referenzamplitude basiert auf der Amplitude des Sendeimpulses.

**[0041]** Bei Block **740** wird der zweite reflektierte Wellenimpuls empfangen, und bei Block **745** wird die zweite Zeitdauer zwischen dem Empfang des ersten reflektierten Wellenimpulses und dem Empfang des zweiten reflektierten Wellenimpulses aufgezeichnet. Bei Block **750** wird der Füllstand des zweiten Produkts **15** berechnet. Die Berechnung des Füllstands des zweiten Produkts **15** erfolgt als Funktion der zweiten Zeitdauer, als Funktion der berechneten Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts sowie als Funktion des berechneten Füllstands des ersten Produkts.

**[0042]** Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben worden ist, ist es für Fachleute in der Technik offensichtlich, dass Veränderungen hinsichtlich Form und Detail vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich der Erfindung gemäß Definition durch die Ansprüche zu verlassen.

### Patentansprüche

1. Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar-Füllstandsmesswertgeber, welcher eine Mehrfachprozessproduktschnittstellenerfassung bereitstellt, wobei der Füllstandsmesswertgeber derart angeordnet ist, dass er durch über eine 4-20mA-Prozessregelschleife empfangene Energie vollständig angetrieben wird, wobei der Messwertgeber Folgendes aufweist:  
eine Terminierung, die in das erste (**14, 18, 21, 25**) und zweite Produkt (**15, 19, 22, 26**) in einem Tank (**12, 13, 17, 24**) hineinragen kann, einen mit der Terminierung gekoppelten Impulserzeuger, einen mit der Terminierung gekoppelten Impulsempfänger und einen Füllstandsrechner;  
wobei der Impulserzeuger (**210**) derart angeordnet ist, dass er einen Mikrowellensendeimpuls erzeugt, der zusammen mit der Terminierung (**110**) in das erste und dann in das zweite Produkt gesendet wird, wobei ein erster Abschnitt des Sendeimpulses an einer ersten Produktschnittstelle (**127**) reflektiert wird, und ein zweiter Abschnitt des Sendeimpulses an einer zweiten Produktschnittstelle (**128**) reflektiert wird, wobei die zweite Produktschnittstelle (**128**) zwischen dem ersten (**14, 18, 21, 25**) und zweiten Produkt (**15, 19, 22, 26**) gebildet wird;  
wobei der Impulsempfänger (**220**) mit der Terminierung (**110**) gekoppelt und derart angeordnet ist, dass er einen ersten reflektierten Wellenimpuls empfängt, der der Reflektion des ersten Abschnitts des Sendeimpulses an der ersten Produktschnittstelle (**127**) entspricht, und dass er einen zweiten reflektierten Wellenimpuls empfängt, der der Reflektion des zweiten Abschnitts des Sendeimpulses der zweiten Produktschnittstelle (**128**) entspricht;  
eine Schwellenwertsteuerung (**230**), welche mit dem Impulsempfänger (**220**) gekoppelt und derart angeordnet ist, dass sie erfasst, ob die erste reflektierte Wellenimpulsamplitude mindestens einem steuerbaren ersten Schwellenwert entspricht, und ob die zweite reflektierte Wellenimpulsamplitude mindestens einem steuerbaren zweiten Schwellenwert entspricht, und dass sie die Angabe eines Zeitpunkts des Empfangs des ersten reflektierten Wellenimpulses, eines Zeitpunkts des Empfangs des zweiten reflektierten Wellenimpulses sowie eine erste reflektierte Wellenimpulsamplitude bereitstellt;  
ein Dielektrizitätskonstantenberechner (**240**), welcher mit der Schwellenwertsteuerung (**230**) gekoppelt und derart angeordnet ist, dass er eine Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts in dem Tank (**12, 13, 17, 24**) als eine Funktion der ersten reflektierten Wellenimpulsamplitude berechnet;  
wobei der Füllstandsrechner (**250**) mit der Schwellenwertsteuerung (**230**) und dem Dielektrizitätskonstanten-

berechner (240) gekoppelt und derart angeordnet ist, dass er einen Füllstand des ersten Produkts (14) als eine Funktion eines Zeitpunkts des Empfangs des ersten reflektierten Wellenimpulses berechnet, und derart angeordnet ist, dass er einen Füllstand des zweiten Produkts (15) als eine Funktion eines Zeitpunkts des Empfangs des zweiten reflektierten Wellenimpulses und als eine Funktion der berechneten Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts (14) berechnet; und einen Analog/Digital-Wandler (270), welcher mit dem Impulsempfänger (220) gekoppelt ist, um den ersten und zweiten reflektierten Wellenimpuls zu digitalisieren.

2. Füllstandsmesswertgeber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Terminierung (110) eine Doppelleitungs-Mikrowellensendeleitung ist.

3. Füllstandsmesswertgeber nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstandsmesswertgeber (100) mit einer Zweidraht-Prozessregelschleife (20) gekoppelt ist, wobei der Füllstandsmesswertgeber (100) des Weiteren Ausgabeschaltungen aufweist, die mit der Zweidraht-Prozessregelschleife (20) gekoppelt sind, um Informationen bezüglich der Produkthöhe über die Schleife (20) zu senden.

4. Füllstandsmesswertgeber nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstandsmesswertgeber (100) des Weiteren Stromversorgungsschaltungen (260) aufweist, die mit der Zweidraht-Prozessregelschleife (20) gekoppelt sind, um Strom von der Schleife zur Bereitstellung der einzigen Stromquelle für den Messwertgeber (100) zu empfangen.

5. Füllstandsmesswertgeber nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozessregelschleife (20) eine 4-20mA-Prozessregelschleife ist.

6. Füllstandsmesswertgeber nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Dielektrizitätskonstantenberechner (240) derart angeordnet ist, dass er die Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts (14, 18, 21, 25) als eine Funktion einer Größe des ersten reflektierten Wellenimpulses relativ zur einer Größe des Sendeimpulses berechnet.

7. Füllstandsmesswertgeber nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwellenwertsteuerung (230), der Dielektrizitätskonstantenberechner (240) und der Füllstandsrechner (250) einen Mikroprozessor (255) aufweisen, der mit dem Analog/Digital-Wandler (270) gekoppelt und derart angeordnet ist, dass er die digitalisierten ersten und zweiten Wellenimpulse erfasst, derart angeordnet, dass er die Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts (14, 18, 21, 25) berechnet, und derart angeordnet, dass er die Füllstände des ersten (14, 18, 21, 25) und zweiten (15, 19, 22, 26) Produkts berechnet.

8. Füllstandsmesswertgeber nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Messwertgeber (100) so angeordnet ist, dass die ersten und zweiten Schwellenwerte als eine Funktion der vom Benutzer eingegebenen Daten berechnet werden.

9. Füllstandsmesswertgeber nach entweder Anspruch 7 oder dem an Anspruch 7 angehängten Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwellenwertsteuerung (230) Folgendes aufweist: einen Vergleicher (400) mit ersten und zweiten Eingängen, wobei der erste Eingang mit dem Impulsempfänger (220) gekoppelt und zum Empfang der ersten und zweiten reflektierten Wellenimpulse angeordnet ist; wobei der Mikroprozessor (255) derart angeordnet ist, dass er eine digitale Ausgabe (420) erzeugt, die einem erwünschten Schwellenwert entspricht; und einen Digital/Analog-Wandler (410), welcher mit dem Mikroprozessor (255) gekoppelt und zum Empfang der digitalen Ausgabe angeordnet ist, wobei der Digital/Analog-Wandler (410) derart angeordnet ist, dass er die digitale Ausgabe in eine analoge Schwellenwertspannung umwandelt und dem zweiten Vergleichereingang die analoge Schwellenwertspannung bereitstellt.

10. Füllstandsmesswertgeber nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulserzeuger (210) eine Niedrigenergie-Mikrowellenquelle aufweist.

11. Füllstandsmesswertgeber nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsempfänger (220) einen Niedrigenergie-Mikrowellenempfänger aufweist.

12. Verfahren zur Erfassung von Mehrfachprozessproduktschnittstellen unter Verwendung eines Niedrigenergie-Zeitbereichsreflektometrieradar-Füllstandsmesswertgeber, welcher derart angeordnet ist, dass er mit über eine 4-20mA-Prozessregelschleife empfangene Energie vollständig angetrieben wird, wobei das Verfah-



ren die folgenden Schritte umfasst:

Erzeugen eines Sendeimpulses (**560**), welcher zusammen mit einer Terminierung in erste (**14, 18, 21, 25**) und zweite (**15, 19, 22, 26**) Produkte in einem Tank (**12, 13, 17, 24**) gesendet wird, wobei das erste Produkt am nächsten bei dem Impulserzeuger ist;

Empfangen eines ersten reflektierten Wellenimpulses (**565**), welcher der Reflektion eines ersten Abschnitts des Sendeimpulses an einer ersten Produktschnittstelle (**127**) entspricht;

Erfassen eines ersten reflektierten Wellenimpulses (**565**), wenn die erste reflektierte Wellenimpulsamplitude mindestens einem ersten Schwellenwert entspricht;

Empfangen eines zweiten reflektierten Wellenimpulses (**570**), welcher der Reflektion eines zweiten Abschnitts des Sendeimpulses an der zweiten Produktschnittstelle entspricht, wobei die zweite Produktschnittstelle zwischen dem ersten (**14, 18, 21, 25**) und zweiten (**15, 19, 22, 26**) Produkt gebildet ist;

Erfassen eines zweiten reflektierten Wellenimpulses (**570**), wenn die zweite reflektierte Wellenimpulsamplitude mindestens einem zweiten Schwellenwert entspricht; und gekennzeichnet durch

Steuern der ersten und zweiten Schwellenwerte;

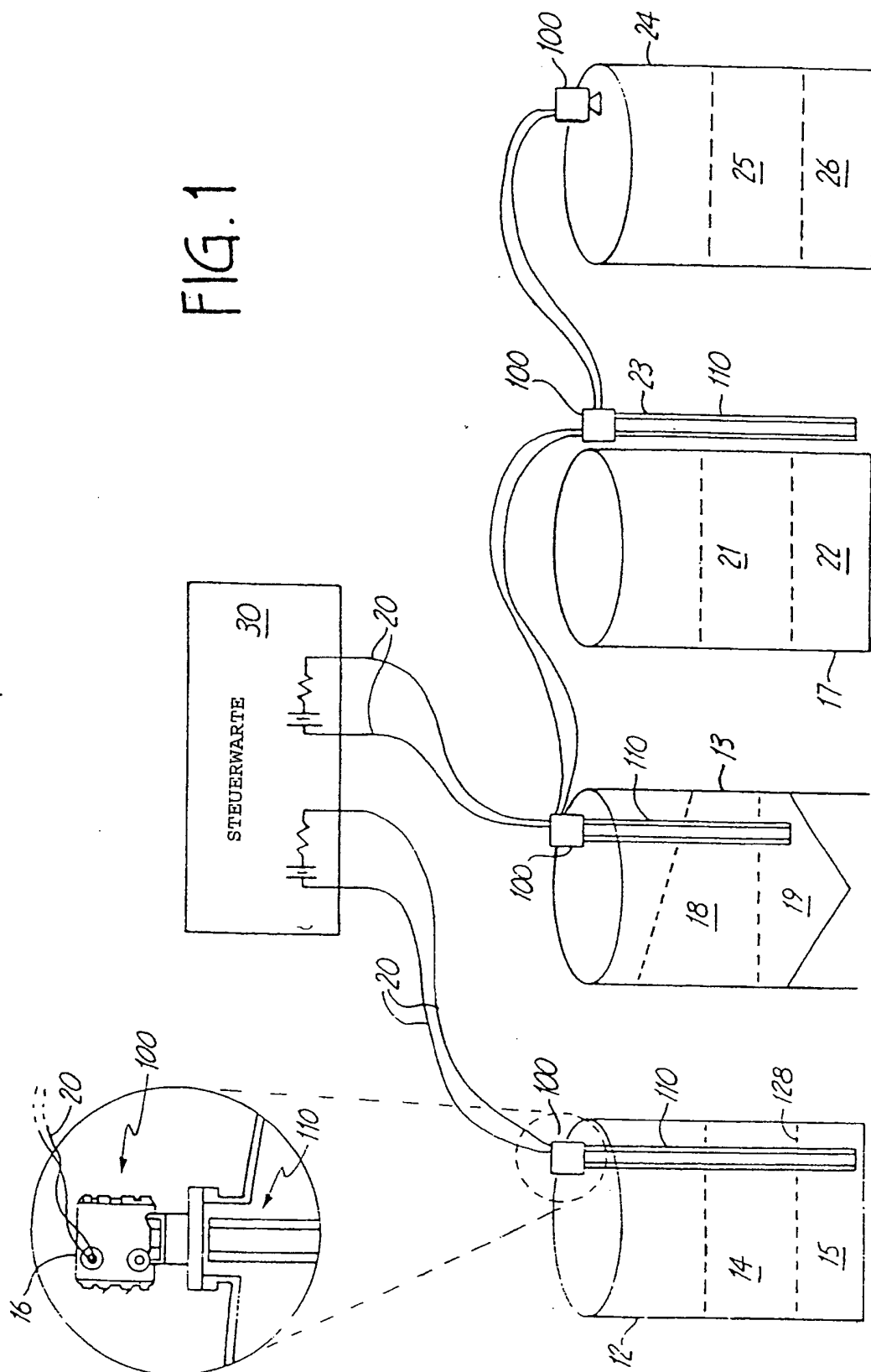
Berechnen einer Dielektrizitätskonstante (**575**) des ersten Produkts (**14, 18, 21, 25**) als eine Funktion der Amplitude des ersten reflektierten Wellenimpulses;

Errechnen eines Füllstands (**580**) des ersten Produkts (**14, 18, 21, 25**) als eine Funktion des Zeitpunkts des Empfangs des ersten reflektierten Wellenimpulses; und

Errechnen eines Füllstands des zweiten Produkts (**585**) als eine Funktion des Zeitpunkts des Empfangs des ersten reflektierten Wellenimpulses und des Zeitpunkts des Empfangs des zweiten reflektierten Wellenimpulses, und als eine Funktion der berechneten Dielektrizitätskonstante des ersten Produkts (**14, 18, 21, 25**).

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



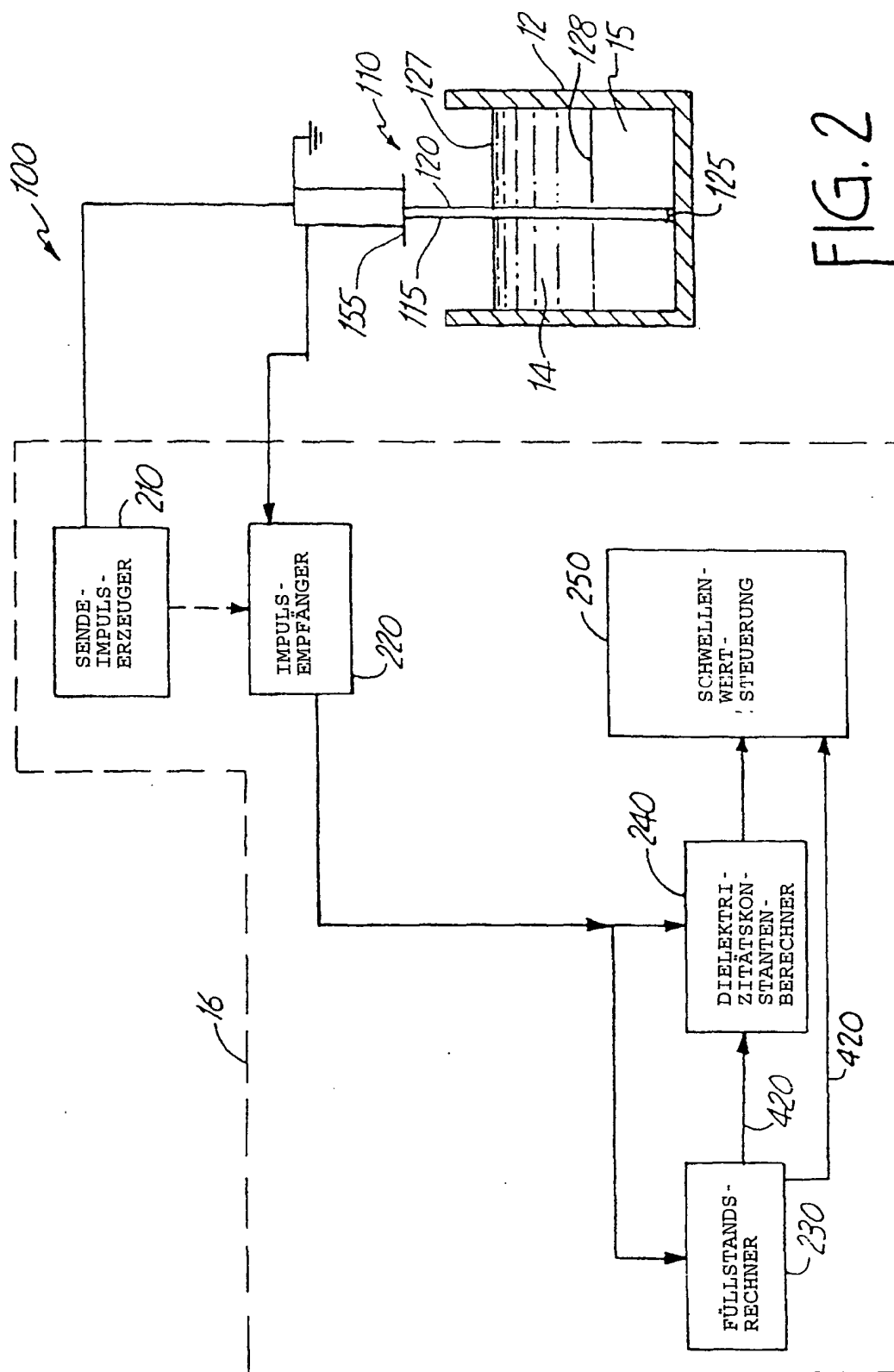


FIG. 2

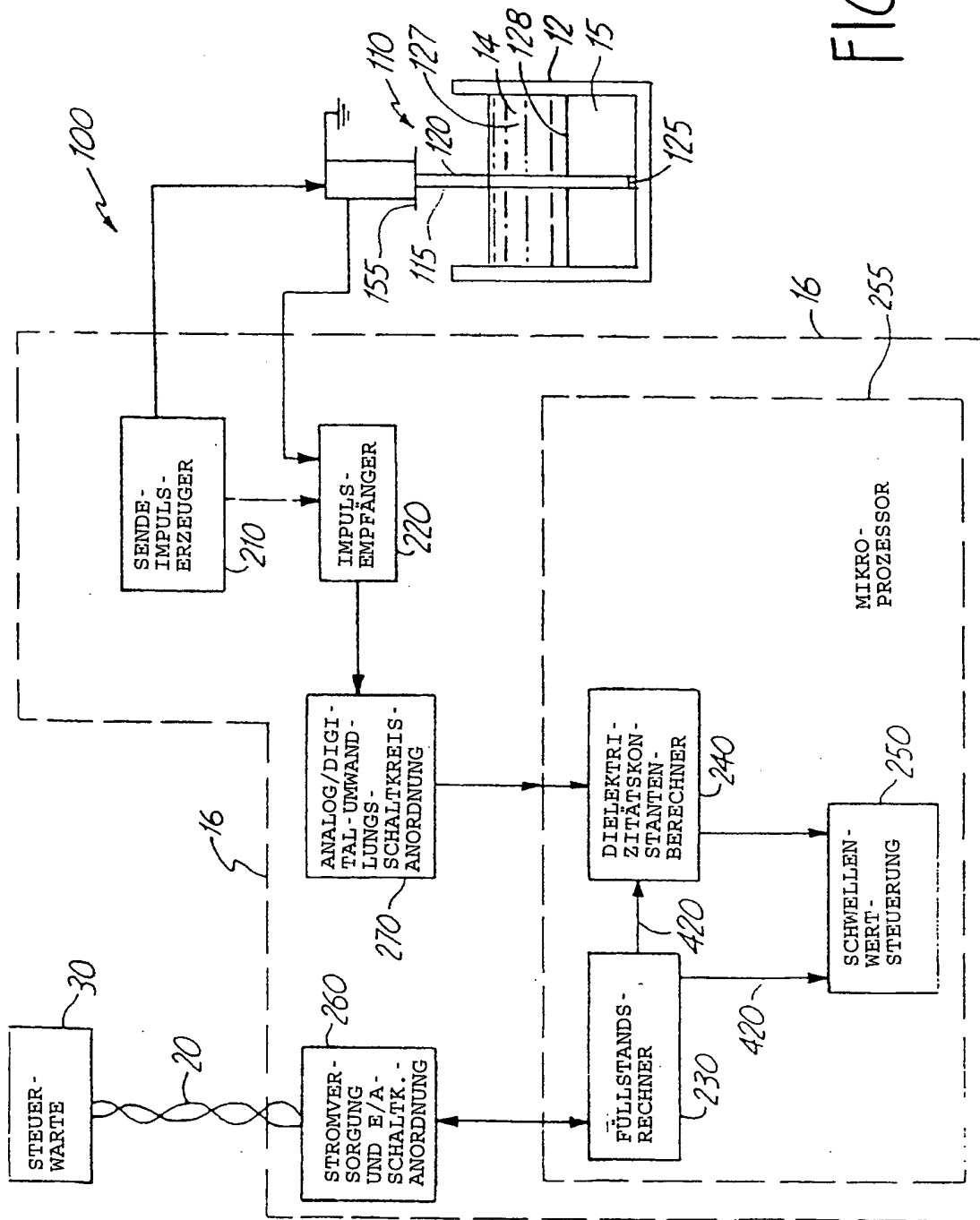
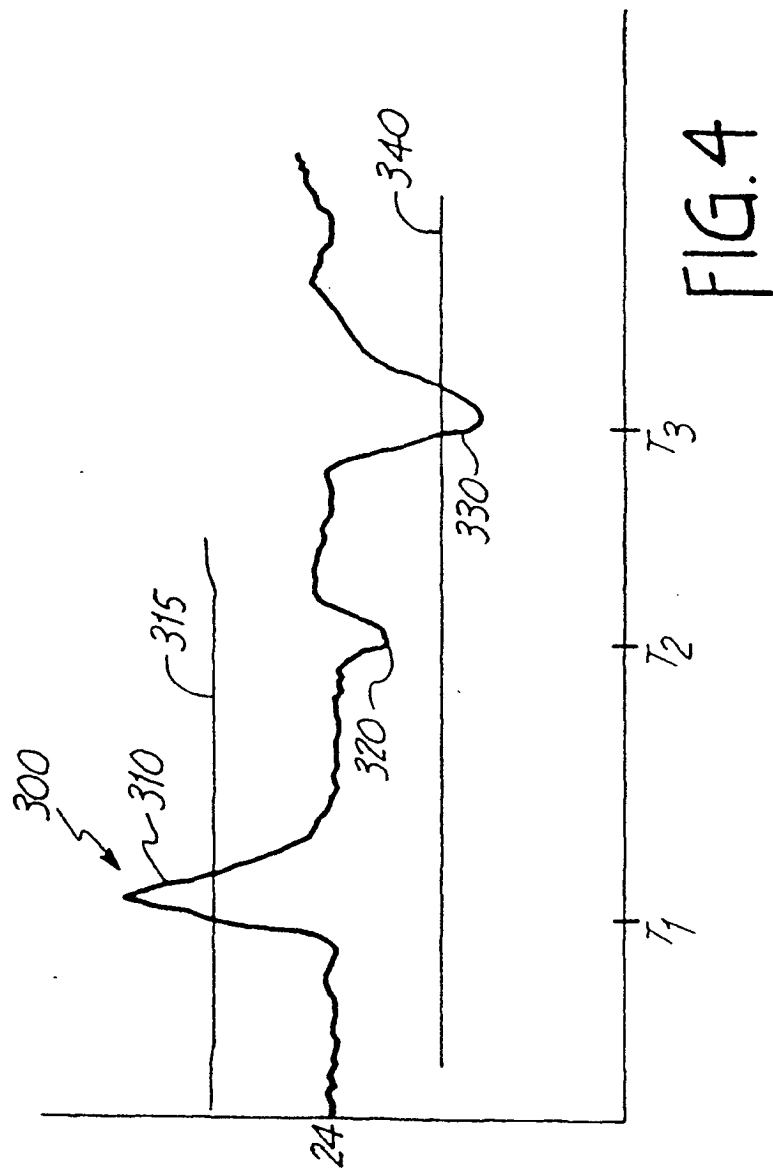


FIG. 3



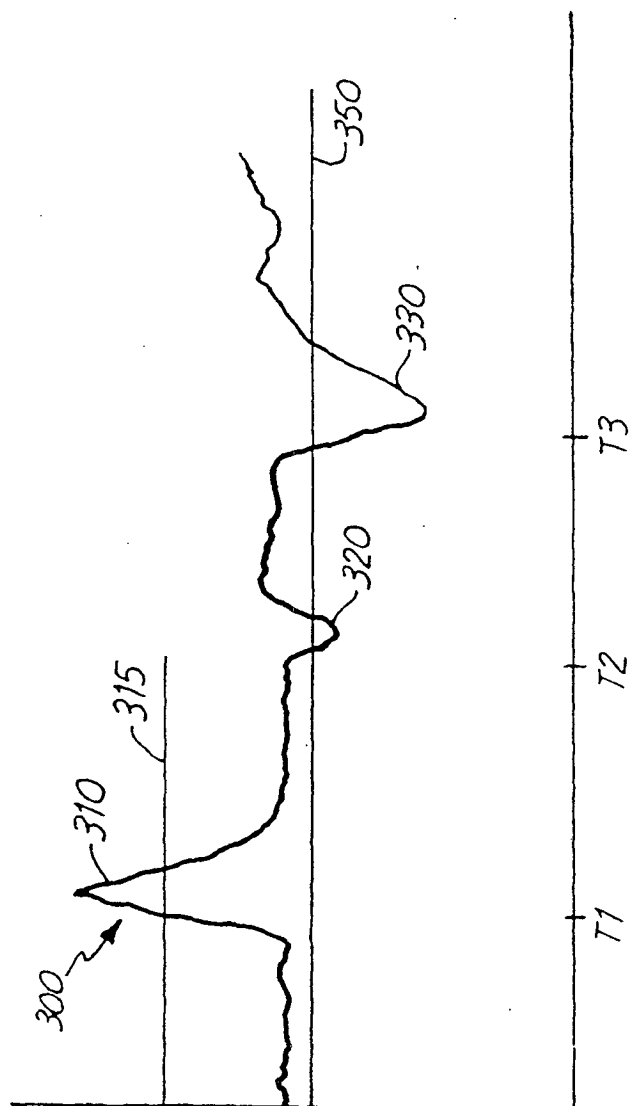


FIG. 5



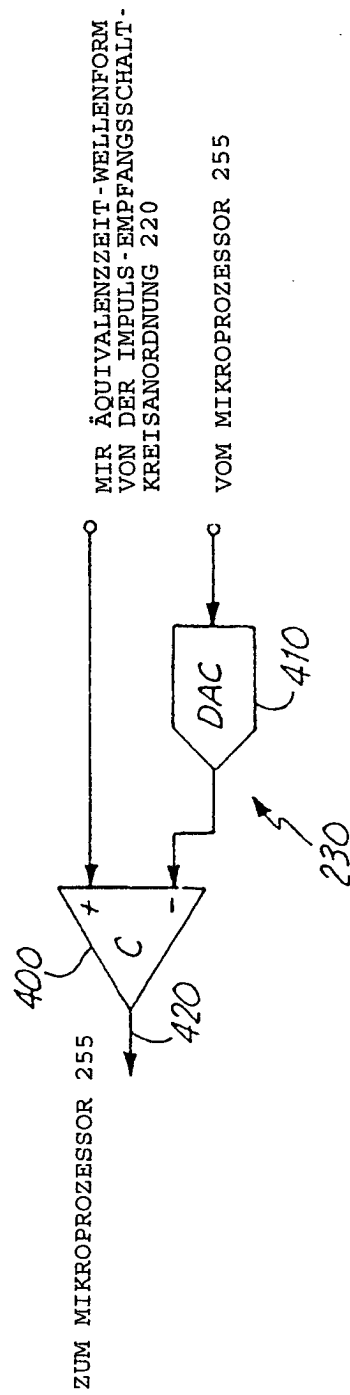


FIG. 6

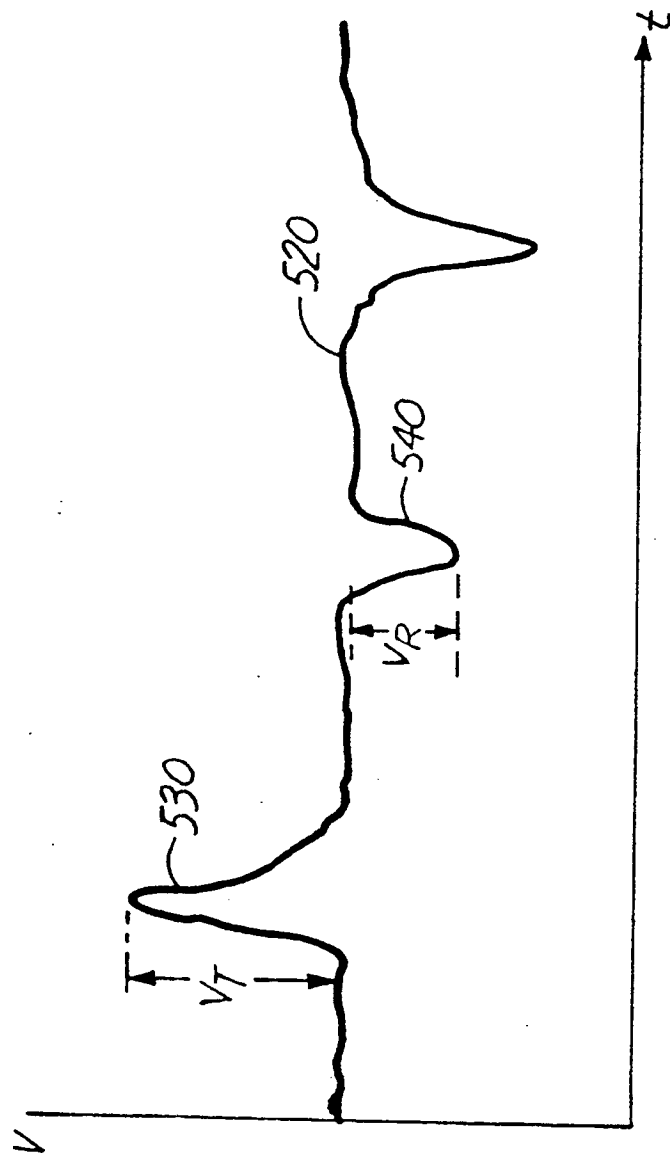


FIG. 7

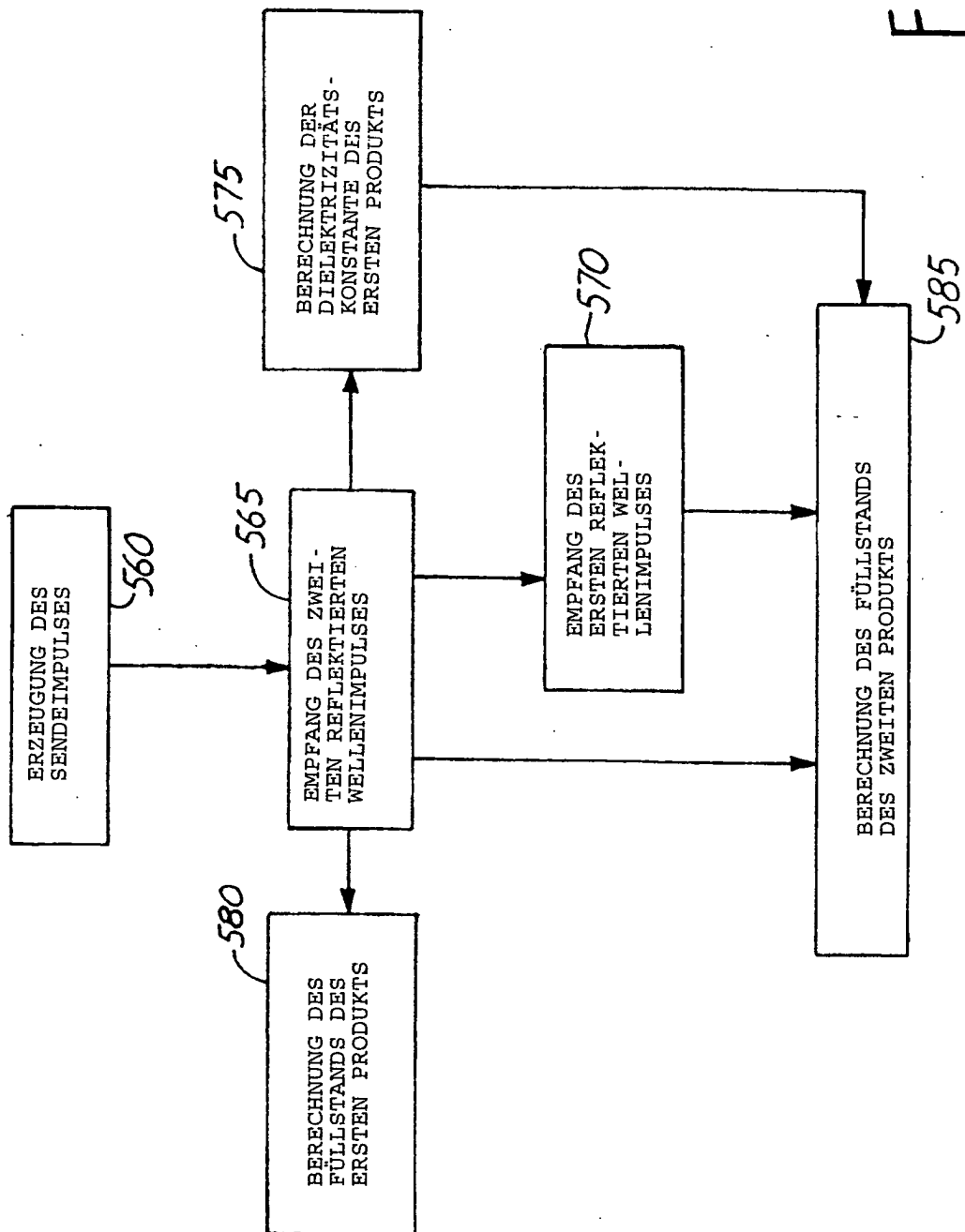


FIG. 8

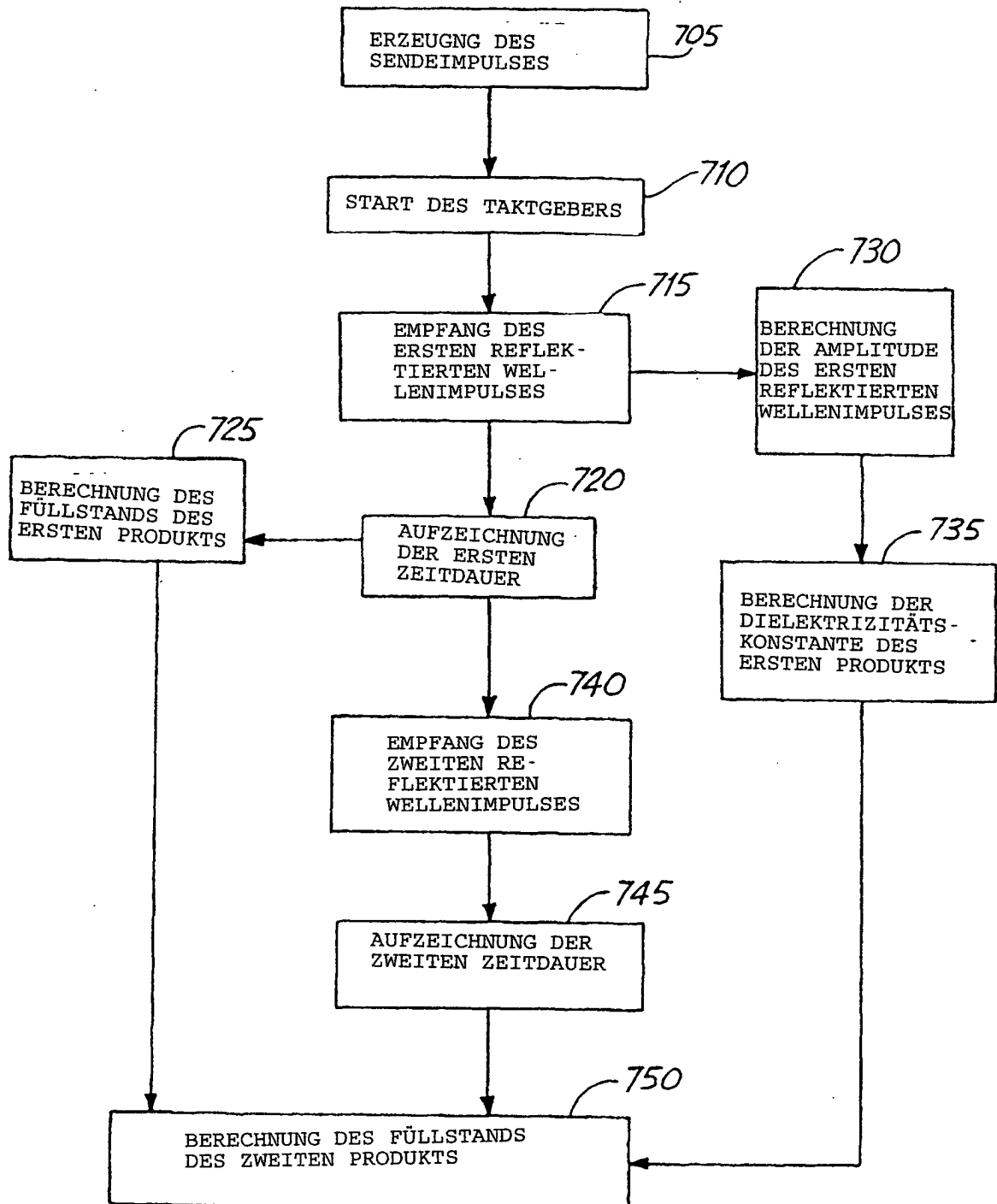


FIG. 9