



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 063 229 B4** 2007.06.14

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 063 229.4**

(22) Anmeldetag: **22.12.2004**

(43) Offenlegungstag: **13.07.2006**

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **14.06.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01N 27/22** (2006.01)  
**G01N 3/12** (2006.01)

Innerhalb von drei 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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Hauni Maschinenbau AG, 21033 Hamburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Wenzel & Kalkoff, 22143 Hamburg**

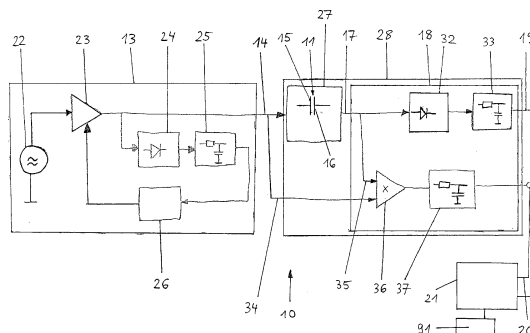
(72) Erfinder:  
**Schröder, Dierk, 22399 Hamburg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 100 37 180 C1**  
**DE 27 00 972 B**  
**DE 101 00 664 A1**  
**EP 13 30 961 A1**  
**EP 13 27 876 B1**

(54) Bezeichnung: **Meßvorrichtung und -verfahren zur Erkennung von Fremdkörpern in einem Produkt, insbesondere in Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt**

(57) Hauptanspruch: Messvorrichtung (10) zur Erkennung von Fremdkörpern (90) in einem Produkt (12; 312), insbesondere in Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einer Messeinrichtung (11; 311), einer Einrichtung (13) zur Erzeugung eines elektromagnetischen Wechselfeldes in der Messeinrichtung (11; 311), das durch ein Produkt (12; 312), das in einem Messvolumen (46) der Messvorrichtung (10) angeordnet ist, beeinflusst wird, einer die Messeinrichtung (11; 311) umfassenden Schaltungseinrichtung (28), die zur Bestimmung mindestens einer geeigneten Messgröße des von dem Produkt (12; 312) beeinflussten Wechselfeldes eingerichtet ist, und einer Auswerteeinrichtung (21), die zur Erkennung des Fremdkörpers (90) durch geeignete Auswertung der mittels der Schaltungseinrichtung (28) bestimmten Messgröße eingerichtet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung (11; 311) ein Messkondensator ist und die Frequenz des Wechselfeldes im Hochfrequenzbereich unterhalb des Mikrowellenbereichs liegt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung zur Erkennung von Fremdkörpern in einem Produkt, insbesondere in Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes Messverfahren.

**[0002]** Zur Erkennung von Fremdkörpern in Tabak ist beispielsweise aus den Dokumenten DE 100 37 180 C1, DE 101 00 664 A1, EP 1 327 876 B1, EP 1 330 961 A1 die Verwendung von Mikrowellen-Messvorrichtungen bekannt. Aufgrund der erforderlichen hohen Messgenauigkeit und der hohen verwendeten Frequenzen ist der schaltungstechnische Aufwand hoch.

**[0003]** Aus der DE-AS 27 00 972 ist eine auf einer Spule beruhenden Hochfrequenz-Messvorrichtung zur Fremdkörperbestimmung in einem Textilfaservlies bekannt.

**[0004]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine baulich einfache Messvorrichtung zur Fremdkörperbestimmung mit hoher Messgenauigkeit bereitzustellen.

**[0005]** Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 28. Durch die Verwendung eines Kondensators, insbesondere anstelle eines Mikrowellenresonators, und eines Hochfrequenzfeldes unterhalb des Mikrowellenbereichs kann der schaltungstechnische Aufwand signifikant reduziert werden. Zudem kann unter Umständen mittels eines Kondensators ein homogeneres Feld in dem Produktraum erzeugt werden als mittels eines Mikrowellenresonators, bei dem die elektrische Feldstärke an der Umfangswand verschwindet.

**[0006]** Der Begriff „Fremdkörper“ bedeutet jedes andersartige Material, das in dem zu prüfenden Zweistoffsystem unerwünschterweise zusätzlich vorhanden ist. Das zu prüfende Zweistoffsystem wird insbesondere von Produkt und Feuchte (bzw. Soße) gebildet, beispielsweise Tabak und Feuchte (bzw. Soße), oder Filtermaterial und Triacetin. Die Erfindung unterscheidet sich darin von bekannten kapazitiven Messvorrichtungen im Hochfrequenzbereich zur Erkennung von Masse- oder Dichtefehlern beispielsweise in Tabak, die nur das Zweikomponentensystem von Produkt und Feuchte betreffen. Ein Fremdkörper beeinflusst aufgrund seiner abweichenden dielektrischen Eigenschaften in bestimmter Weise das Hochfrequenzfeld und daher die ermittelten Meßgrößen. Durch geeignete Auswertung in der Auswerteeinrichtung kann aus den ermittelten Meßgrößen ein Fremdkörper in dem Produkt erkannt werden, insbesondere wenn der Verlauf einer Meßgröße eine von dem Fremdkörper hervorgerufene Abweichung zeigt.

**[0007]** Der Begriff „Hochfrequenz“ bedeutet grundsätzlich, in Abgrenzung vom Mikrowellenbereich, Felder mit einer Frequenz unterhalb von 100 MHz, vorzugsweise unterhalb von 10 MHz. In der Regel beträgt die Frequenz mehr als 10 kHz oder mehr als 100 kHz. In einer bevorzugten Variante der Erfindung wird ein Hochfrequenzfeld mit einer Frequenz unterhalb von 5 MHz, vorzugsweise unterhalb von 1 MHz verwendet. Dies ist überraschend, da es bezüglich der Messung der Feuchte und/oder Dichte des Produkts bekannt ist, daß zu niedrigeren Frequenzen hin eine hinreichend genaue Messung nur in einem zunehmend eingeschränkten Meßbereich möglich ist, so daß beispielsweise für Tabak eine Meßfrequenz von mindestens 5 MHz als zweckmäßig gilt. Für die Bestimmung von Fremdkörpern insbesondere in Tabak, Baumwolle und anderen Faserprodukten ergibt sich jedoch gerade bei niedrigeren Frequenzen eine größere Meßempfindlichkeit. Eine Erklärung hierfür besteht darin, daß bei niedrigeren Frequenzen die makroskopische Leitung einen zunehmenden Einfluß hat, wobei dies jedoch nicht für typische nicht-leitende Fremdkörper-Materialien (oder allgemeiner solche mit abweichender makroskopischer Leitfähigkeit) zutrifft, so daß der Unterschied in den Dielektrizitätskonstanten zwischen Produkt und Fremdkörper im erfindungsgemäßen Meßbereich größer ist als im Mikrowellenbereich.

**[0008]** Infolge der bevorzugten Verwendung einer laufenden Hochfrequenzwelle und einer im wesentlichen nicht-resonanten Schaltungseinrichtung, bei der also der Meßkondensator nicht frequenzbestimmender Teil eines Meß-Schwingkreises ist, kann auf die Verwendung einer gegenüber Temperatureinflüssen empfindlichen Schwingkreis-Spule verzichtet werden. „Im wesentlichen“ bedeutet, daß resonante Feldkomponenten nicht ausgeschlossen sind, solange das Meßprinzip im wesentlichen auf einer fortschreitenden Welle beruht. Da keine Resonanzbedingung für einen Meßschwingkreis eingehalten werden muß, kann der Meßkondensator eine gegenüber dem Stand der Technik verringerte Kapazität von vorzugsweise weniger als 10 pF aufweisen, was den Aufwand und die Baugröße reduziert. Die geschilderte bevorzugte Ausführungsform unterscheidet sich daher von bekannten kapazitiven Meßvorrichtungen im Hochfrequenzbereich zur Erkennung von Masse- oder Dichtefehlern in Tabak, bei denen ein Meßkondensator und eine Spule als frequenzbestimmende Teile in einem Hochfrequenz-Schwingkreis geschaltet sind, wobei als Meßgrößen beispielsweise die von dem Produkt beeinflusste Resonanzfrequenz und Resonanzamplitude des Hochfrequenzfeldes bestimmt werden.

**[0009]** Vorzugsweise beruht die Fremdkörpererkennung darauf, daß zwei unabhängige Meßgrößen, insbesondere eine von der Kapazität des Meßkondensators abhängige Meßgröße und eine vom Verlust-

faktor des Meßkondensators abhängige Meßgröße, in einem von dem erwarteten Verlauf abweichenden Verhältnis stehen. Vorzugsweise ist daher die Messung zweier unabhängiger Meßgrößen vorgesehen. Vorteilhafterweise werden dabei zwei von der Amplitude und der Phase der Hochfrequenzwelle abhängige Meßgrößen bestimmt. Grundsätzlich ist daher die Erzeugung einer Hochfrequenzwelle ausreichend, was den Aufwand gegenüber solchen Vorrichtungen reduziert, die auf der Verwendung mehrerer Hochfrequenzwellen unterschiedlicher Hochfrequenzen beruhen. Die Bestimmung zweier unabhängiger Meßgrößen ist aber nicht zwingend; es ist auch denkbar, eine Fremdkörpererkennung aus dem Verlauf lediglich einer Meßgröße vorzunehmen.

**[0010]** Der zur Bestimmung der Meßgrößen dienende Teil der Schaltungseinrichtung ist in der Regel der eigentlichen Meßschaltung, die den Meßkondensator umfaßt, nachgeschaltet. Während die Meßschaltung in der Regel einen Ausgang für das von dem Produkt beeinflusste Hochfrequenzfeld aufweist, weist die Meßgrößenbestimmungseinrichtung in der Regel eine der Zahl der zu bestimmenden Meßgrößen entsprechende Zahl von Ausgängen, vorzugsweise daher zwei Ausgänge auf. Es ist auch möglich, daß die Meßschaltung und die Meßgrößenbestimmungseinrichtung eine Einheit bilden. Die Meßgrößenbestimmungseinrichtung ist der eigentlichen Auswerteeinrichtung zur Fremdkörpererkennung durch Auswerten des Meßsignals vorgeschaltet. Es ist auch möglich, daß die Meßgrößenbestimmungseinrichtung und die Auswerteeinrichtung eine Einheit bilden.

**[0011]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der zur Bestimmung der Meßgröße bzw. Meßgrößen dienende Teil der Schaltungseinrichtung digitalelektronisch ausgeführt. Dies ermöglicht die Verwendung einfacher Verfahren zur Bestimmung der gewünschten Meßgröße, beispielsweise des kapazitiven Anteils und/oder des Verlustanteils des Ausgangsspannungswertes der Meßschaltung. Ein besonders einfaches und daher bevorzugtes Verfahren beruht auf der Orthogonalität der Sinus- und Kosinusanteile und umfaßt die Messung einer diskreten Anzahl von  $n$  Meßwerten, beispielsweise Spannungswerten, über jede Schwingungsperiode des Hochfrequenzfeldes, separate Multiplikation der  $n$  Meßwerte mit entsprechenden Sinus- und Kosinus-Werten und separate Aufsummierung dieser Sinus- und Kosinus-Produkte. Die erhaltenen Summen stellen die Meßgrößen dar oder können zur Ermittlung der Meßgrößen weiterverarbeitet werden.

**[0012]** Eine besonders einfache Form einer Meßschaltung, d.h. den Meßkondensator umfassenden Teil der Schaltungseinrichtung, ist ein RC-Glied, vorzugsweise mit einem Operationsverstärker. Dabei handelt es sich vorzugsweise um ein RC-Differenzglied, es kann aber beispielsweise auch ein

RC-Integrierglied verwendet werden.

**[0013]** In einer bevorzugten Ausführungsform bestehen Teile des Sensors aus einem Material mit geringem Temperaturschwankungskoeffizienten, um die Einflüsse von Temperaturschwankungen auf die Meßgenauigkeit möglichst gering zu halten. Zu dem gleichen Zweck kann der Sensor eine zusätzliche Einrichtung zur Konstanthaltung der Temperatur des Meßkondensators aufweisen. Auch eine zusätzliche Einrichtung zur Messung der Temperatur des Meßkondensators, beispielsweise ein Temperaturfühler, ist denkbar, um das Meßsignal entsprechend korrigieren zu können.

**[0014]** Vorzugsweise ist der Kondensator im wesentlichen senkrecht zu der Transportrichtung des Produkts angeordnet. Bei einem Plattenkondensator sind also die Kondensatorplatten senkrecht zu der Transportrichtung angeordnet. Dies ermöglicht es, die Elektroden in einem kurzen Abstand voneinander, beispielsweise unterhalb der Strangdicke des Produkts, anzuordnen. Hierdurch kann eine verbesserte Auflösung bezüglich der Fremdkörpererkennung in Längsrichtung, und damit eine Steigerung der Nachweisempfindlichkeit, erreicht werden.

**[0015]** Der Sensor ist zur Durchführung des Produkts durch den zwischen den Elektroden des Meßkondensators gebildeten Raum eingerichtet, um eine möglichst vollständige und gleichmäßige Erfassung des Produkts zu ermöglichen. Es handelt sich also vorzugsweise nicht um einen Streufeldsensor.

**[0016]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform betrifft die Messung eines relativ breiten Produkts, beispielsweise einer Tabak- oder Tow-Bahn oder einem Baumwollvlies, oder einer Mehrzahl nebeneinander liegender Produktstränge. Dabei umfaßt der Sensor eine Mehrzahl von über die Breite des Produkts angeordneten Meßkondensatoren. Diese Anordnung gestattet auf einfache Weise eine laterale Positionsbestimmung eines detektierten Fremdkörpers. Die mit der Hochfrequenzfeld-Erzeugungseinrichtung verbundenen Elektroden sind auf gleichem Potential gehalten, beispielsweise einfach kurzgeschlossen, um das Übersprechen zwischen den Meßkondensatoren zu minimieren. Zum gleichen Zweck sind vorzugsweise auch die anderen Elektroden jeweils mittels invertierender Operationsverstärker virtuell auf dem gleichem Potential gehalten.

**[0017]** Weitere vorteilhafte Merkmale gehen aus den Unteransprüchen und der folgenden Beschreibung vorteilhafter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen hervor. Es zeigen:

**[0018]** **Fig. 1:** eine schematische Schaltung einer im wesentlichen analogen Meßvorrichtung;

[0019] **Fig. 2**: eine Differenzier-Meßschaltung für eine Meßvorrichtung;

[0020] **Fig. 3**: eine Integrier-Meßschaltung für eine Meßvorrichtung;

[0021] **Fig. 4**: eine Längsschnittsansicht eines kapazitiven Sensors;

[0022] **Fig. 5**: eine Querschnittsansicht eines kapazitiven Sensors in einer weiteren Ausführungsform;

[0023] **Fig. 6**: eine schematische Schaltung einer im wesentlichen digitalen Meßvorrichtung;

[0024] **Fig. 7**: eine schematische Schaltung einer Meßvorrichtung für die Messung an einem breiten Produkt; und

[0025] **Fig. 8**: einen Operationsverstärker für eine Differenzier-Meßschaltung für die Meßvorrichtung aus **Fig. 7**.

[0026] Die kapazitive Meßvorrichtung **10** gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 6** umfaßt eine Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** zur Erzeugung einer Hochfrequenzwelle, die über eine Eingangsleitung **14** an eine Schaltungseinrichtung **28** gespeist wird. Die Schaltungseinrichtung **28** umfaßt einen Meßkondensator **11**, durch den das zu messende, im vorliegenden Fall strangförmige Produkt **12** geführt wird. Die von der Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** erzeugte Hochfrequenzwelle wird an eine Elektrode **15** des Meßkondensators **11** geleitet, um darin ein Hochfrequenzfeld zu erzeugen, das mit dem Produkt **12** in Wechselwirkung steht. Die von der anderen Elektrode **16** des Meßkondensators **11** auslaufende, von dem Produkt **12** beeinflusste Hochfrequenzwelle wird mittels der Schaltungseinrichtung **28** verarbeitet, um mindestens eine, vorzugsweise zwei voneinander unabhängige, von der Amplitude und/oder der Phase der von dem Produkt **12** beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängige Meßgrößen zu bestimmen. Dabei handelt es sich vorzugsweise um zwei von der Kapazität und dem Verlustfaktor des Meßkondensators **11** abhängige Meßgrößen. Den Meßgrößen entsprechende Meßsignale werden an die Auswerteeinrichtung **21**, beispielsweise einen entsprechend programmierten Computer, geleitet.

[0027] In dem Produkt **12** kann ein unerwünschter Fremdkörper **90** auftreten, beispielsweise ein Kunststoff- oder Metallpartikel. Aufgrund abweichender dielektrischer Eigenschaften beeinflusst der Fremdkörper **90** in bestimmter Weise die Amplitude und Phase der Hochfrequenzwelle und hierdurch auch die ermittelten Meßgrößen. Durch geeignete Auswertung in der Auswerteeinrichtung **21** kann aus den ermittelten Meßgrößen ein Fremdkörper **90** in dem Produkt **12** nachgewiesen werden, insbesondere wenn der Ver-

lauf einer Meßgröße eine von dem Fremdkörper **90** hervorgerufene Abweichung zeigt. Beispielsweise können von einem Fremdkörper **90** Ausschläge (spikes) in einer Meßkurve hervorgerufen werden; die Auswerteeinrichtung ist dann zweckmäßigerweise zur Erkennung derartiger Ausschläge in der Meßkurve eingerichtet. Bewährt für die Fremdkörpererkennung ist die Auswertung des Verhältnisses zweier voneinander unabhängiger Meßgrößen. Die Auswerteeinrichtung **21** kann gegebenenfalls ein Entfernungsmittel **91**, beispielsweise eine Blasdüse, zur Entfernung eines Teils des Produkts **12**, in dem ein Fremdkörper **90** detektiert wird, steuern.

[0028] Die Ausführungsform gemäß **Fig. 1** betrifft eine im wesentlichen analoge Meßvorrichtung. Die Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** umfaßt einen harmonischen Oszillator **22** zur Erzeugung einer Hochfrequenzwelle. Die Spannungsamplitude  $U_e$  der erzeugten Hochfrequenzwelle wird vorzugsweise mittels einer Regeleinrichtung **23–26** konstant gehalten, um eine von Schwankungen der Eingangsamplitude unbeeinflusste Messung zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wird die von dem harmonischen Oszillator **22** erzeugte Hochfrequenzwelle in einen steuerbaren Verstärker **23** gespeist. Das Ausgangssignal des Verstärkers **23** wird in einen Gleichrichter **24** gespeist, dessen Ausgangssignal über das Tiefpaßfilter **25** an einen Regler **26** weitergeleitet wird. Der Regler **26** steuert den Verstärker **23** in der Weise, daß die Amplitude  $U_e$  der harmonischen Schwingung am Ausgang des Verstärkers **23** einen konstanten Wert aufweist.

[0029] Die Meßschaltung **27** ist unmittelbar mit dem Meßkondensator **11** geschaltete Teil der Schaltungseinrichtung **28**. Geeignet ist hierbei jede Meßschaltung, die zur Erzeugung einer hinreichenden Amplituden- und Phasenveränderung der Hochfrequenzwelle infolge des durch den Meßkondensator **11** laufenden Produkts **12** eingerichtet ist. Zwei bevorzugte Ausführungsformen der Meßschaltung **27** sind in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt, wobei der Meßkondensator **11**, ein Widerstand **29** und ein invertierender Operationsverstärker **30** in einer Differenzieranordnung gemäß **Fig. 2** bzw. einer Integrieranordnung gemäß **Fig. 3** geschaltet sind. Der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers **30** ist zweckmäßigerweise auf Masse gelegt. Bei der Integrieranordnung gemäß **Fig. 3** ist ein zusätzlicher Widerstand **31** vorgesehen, um gegebenenfalls zu verhindern, daß das Ausgangssignal in die Begrenzung läuft. Das der auslaufenden Hochfrequenzwelle entsprechende Ausgangssignal der Meßschaltung **27** erfährt aufgrund der Wechselwirkung mit dem Produkt **12** eine gegenüber der Eingangsamplitude  $U_e$  geänderte Spannungsamplitude  $U_a$  sowie eine Phasenverschiebung von  $\delta$  gegenüber dem Eingangssignal.

**[0030]** Die durch den Meßkondensator **11** laufende Hochfrequenzwelle wird über die Ausgangsleitung **17** der Meßschaltung **27** an die Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** geleitet. Die Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** bestimmt aus dem Hochfrequenzsignal geeignete Meßgrößen. Hierzu wird in der Ausführungsform gemäß [Fig. 1](#) das Ausgangssignal der Meßschaltung **27** einem Gleichrichter **32** zugeführt und in einem Tiefpaßfilter **33** geglättet. Das somit erhaltene Signal ist proportional zur Ausgangsamplitude  $U_a$ . Der Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** wird weiterhin das von der Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** erzeugte Eingangssignal über die Leitung **34** zugeführt. Im allgemeinen wird zweckmäßigerweise ein von der erzeugten Hochfrequenzwelle abhängiges Signal über eine zusätzlich zu der Meßleitung über den Meßkondensator **11** vorgesehene Leitung **34**, **234** an die Schaltungseinrichtung **28** geleitet, um die Phaseninformation des Eingangssignals für die Bestimmung der Phasenverschiebung des Ausgangssignals nutzen zu können. Im vorliegenden Fall wird das Eingangssignal des Meßkondensators **11** über die Leitung **34** und das Ausgangssignal des Meßkondensators **11** bzw. der Meßschaltung **27** über eine Leitung **35** an den Multiplikationsverstärker **36** geleitet, darin miteinander multipliziert und mittels eines Tiefpaßfilters **37** geglättet. Das somit erhaltene Signal ist proportional zur Ausgangsamplitude  $U_a$  mal dem Sinus (oder Kosinus) der Phasenverschiebung  $\delta$ . Aus dem Verlauf der mittels der Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** bestimmten Meßgrößen, insbesondere aus einem entsprechend gebildeten Verhältnis, und Vergleich mit einem zu erwartenden Verlauf, lassen sich bei Feststellung einer Abweichung etwaige in dem Produkt **12** enthaltene Fremdkörper **90** nachweisen. Zur entsprechenden Auswertung werden die Meßsignale über die Ausgangsleitungen **19**, **20** an die Auswertereinrichtung **21** geleitet, in der die Auswertung beispielsweise mittels eines darin gespeicherten Computerprogramms durchgeführt wird.

**[0031]** Eine bevorzugte Ausführungsform eines Hochfrequenzsensors **38** ist in [Fig. 4](#) gezeigt. Der Sensor **38** ist im wesentlichen rotationssymmetrisch um die Längsachse **L** aufgebaut. Durch eine mittige Längsbohrung **39** des Sensors **38** wird in Transportrichtung **T**, die mit der Längsrichtung **L** zusammenfällt, der Produktstrang **12**, beispielsweise ein Tabakstrang geführt. Der Sensor umfaßt zwei rotationssymmetrische, scheibenförmige, senkrecht zur Längsrichtung **L** orientierte Grundkörper **40**, **41**, die mittels eines äußeren, ringförmigen, nichtleitenden Begrenzungskörpers **44** voneinander beabstandet sind und die jeweils eine zentrale Durchgangsbohrung **39** für den Produktstrang aufweisen. An den senkrecht zur Längsrichtung **L** orientierten Innenflächen der Grundkörper **40**, **41** ist jeweils eine Elektrode **15**, **16** des Meßkondensators **11** in Form einer metallischen Oberfläche, etwa einer metallischen Be-

schichtung, beispielsweise durch Goldbedampfung, aufgebracht. Der Meßkondensator **11** ist daher als Plattenkondensator mit plattenförmigen Elektroden **15**, **16** ausgeführt, die kreisscheibenförmig und senkrecht zur Längsrichtung **L** orientiert sind und eine zentrale Durchgangsöffnung für den Produktstrang **12** aufweisen. In dieser Anordnung verlaufen die Feldlinien im wesentlichen parallel zur Transportrichtung. Zwischen den Grundkörpern **40**, **41** ist ein felderfüllter Raum **45** gebildet, der von dem Begrenzungskörper **44** radial nach außen abgeschlossen wird. Das Hochfrequenzfeld erstreckt sich in den zentralen Produktraum **46** hinein und befindet sich dort mit dem Produkt **12** in Wechselwirkung. Die Platten **15**, **16** weisen einen geringeren Radius auf als die Grundkörper **40**, **41**, um einen Austritt des Hochfrequenzfeldes in die Umgebung des Sensors zu verhindern. Die Platten **15**, **16** des Plattenkondensators **11** können in einem geringen Abstand  $d$  voneinander angeordnet sein, um die Meßauflösung in Längsrichtung **L** zu verbessern. Der Abstand  $d$  kann insbesondere geringer sein als der Durchmesser des Produktstrangs **12** und beispielsweise weniger als 8 mm, vorzugsweise weniger als 4 mm betragen. Es sind weiterhin leitende Verbindungen **42**, **43** der Elektroden **15**, **16** mit externen elektrischen Anschlüssen vorgesehen. Die Grundkörper **40**, **41** weisen jeweils einen röhrenförmigen, sich axial nach außen erstreckenden, den Produktstrang umfassenden Fortsatz **47**, **48** auf. Die Fortsätze **47**, **48** weisen eine innenwandige metallische Oberfläche bzw. Beschichtung **49** auf, die zweckmäßigerweise mit den Elektroden **15**, **16** verbunden ist. Die metallische Beschichtung **49** bildet einen metallischen Kamin, um ein Herauslecken des Feldes aus den Produktdurchführungsöffnungen des Kondensators **11** zu verhindern. Weiterhin ist eine den Produktstrang **12** unmittelbar umgebende und diesen führende, sich über die gesamte Länge des Sensors erstreckende Röhre **50** aus nichtleitendem Material vorgesehen, die eine Verunreinigung des Sensorinneren durch Produktreste verhindert. In einer weiteren Ausführungsform kann der zwischen den Elektroden **15**, **16** gebildete felderfüllte Raum **45** zur positiven Beeinflussung des Feldverlaufs teilweise oder vollständig, abgesehen von dem Produktraum, mit einem dielektrischen Material gefüllt sein.

**[0032]** Die Körper **40**, **41**, **44** des Sensors **38** bestehen vorzugsweise aus einem nichtleitenden Material mit sehr geringem Temperatúrausdehnungskoeffizienten, beispielsweise Zerodur, um eine erhöhte Formstabilität des Sensors **38** gegen Temperatureinflüsse zu erreichen. Aufgrund der verringerten Abhängigkeit der Kapazitätseigenschaften des Meßkondensators **11** von der Umgebungstemperatur kann eine verbesserte Meßgenauigkeit erreicht werden. Zu dem selben Zweck ist vorzugsweise eine nicht gezeigte Regeleinrichtung zur Konstanzhaltung der Sensortemperatur vorgesehen. Es ist auch denkbar, daß die Grundkörper **40**, **41** des Sensors **38** voll-



ständig oder teilweise aus Metall bestehen.

**[0033]** Eine andere Ausführungsform eines Sensors **38** ist in [Fig. 5](#) gezeigt, wobei einander entsprechende Teile durch entsprechende 100er-Bezugsziffern bezeichnet sind. Die Elektroden **15**, **16** werden von Platten gebildet, die parallel zu der senkrecht zur Papierebene orientierten Transportrichtung angeordnet sind. Die Feldlinien verlaufen in diesem Beispiel im wesentlichen senkrecht zu der Transportrichtung. Die Platten **15**, **16** sind vorzugsweise um den Produktstrang **12** herum angeordnet und zu diesem Zweck vorzugsweise gewölbt geformt.

**[0034]** Eine bevorzugte Ausführungsform einer Meßvorrichtung **10** ist in [Fig. 6](#) gezeigt, wobei einander entsprechende Teile durch entsprechende 200er-Bezugsziffern bezeichnet sind. Im Gegensatz zu der Ausführungsform gemäß [Fig. 1](#) ist insbesondere die Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** digitalelektronisch ausgeführt. Zu diesem Zweck weist die Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18** einen A/D-Wandler **66** auf, zu dem das von der Meßschaltung **27** ausgegebene Meßsignal geleitet wird. Der A/D-Wandler **66** ist mit einer Abtastfrequenz getaktet, die um einen Faktor  $n$  höher ist als die Frequenz der Hochfrequenzquelle, wobei  $n$  eine natürliche Zahl größer 1 ist. Das Taktsignal für den A/D-Wandler **66** wird mittels des Quarzoszillators **222** in Form eines Rechteckschwingungssignals mit einer Frequenz von beispielsweise 50 MHz erzeugt, so daß im vorliegenden Beispiel  $n = 10$  ist. Im allgemeinen besitzt daher die Meßvorrichtung **10** eine Einrichtung **222** zur Erzeugung eines Abtastsignals mit einer Abtastfrequenz, die um einen Faktor  $n$  höher ist als die Frequenz der Hochfrequenzquelle. Das Abtastsignal wird über die Leitung **70** an den A/D-Wandler **66** geleitet.

**[0035]** Die mittels des A/D-Wandlers **66** abgetasteten Meßwerte werden an die digitale Verarbeitungseinrichtung **67** geleitet, die zur Ermittlung geeigneter, voneinander unabhängiger Meßgrößen programmiert ist. Bei einem bevorzugten Meßgrößenermittlungsverfahren wird jeder abgetastete Meßwert einerseits mit dem entsprechenden Wert der Sinusfunktion und andererseits mit dem entsprechenden Wert der Kosinusfunktion multipliziert. Zu diesem Zweck wird das Abtastsignal über die Leitung **70** an die Verarbeitungseinrichtung **67** geleitet. Die Sinus- und Kosinuswerte können beispielsweise aus entsprechenden tabellarischen Speichern **68**, **69** entnommen werden. Die auf diese Weise erhaltenen  $n$  Sinuswerte und  $n$  Kosinuswerte werden dann getrennt über eine Periode des Hochfrequenzfeldes aufsummiert, so daß zwei Summen erhalten werden. Zu diesem Zweck wird das Hochfrequenzeingangssignal über die Leitung **234** an die Verarbeitungseinrichtung **67** geleitet, so daß diese phasengleich mit der Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** arbeitet. Aus den erhaltenen Summen lassen sich aufgrund

bestimmter Orthogonalitätsbeziehungen die zwei gewünschten, von der Amplitude und der Phase des von dem Produkt **12** beeinflussten Meßsignals abhängige Meßgrößen eindeutig ermitteln. Zur entsprechenden Auswertung werden die Meßsignale über die Ausgangsleitungen **19**, **20** an die Auswerteeinrichtung **21** geleitet, in der die Auswertung beispielsweise mittels eines darin gespeicherten Computerprogramms durchgeführt wird.

**[0036]** Zweckmäßigerweise kann das von der Hochfrequenzquelle **222** erzeugte Signal ebenfalls zur Erzeugung der für die Messung verwendeten Hochfrequenzquelle verwendet werden. Zu diesem Zweck wird das von der Hochfrequenzquelle **222** erzeugte Signal mittels der Teilerstufe **60** um den Faktor  $n$  auf eine phasensynchrone Rechteckschwingung mit der Meßfrequenz von im vorliegenden Fall 5 MHz heruntergeteilt und anschließend mittels der PLL-Schaltung **61** in ein phasensynchrones sinusförmiges Signal mit der gleichen Frequenz umgewandelt.

**[0037]** Auch die Regeleinrichtung **223**, **62–64**, **226** zur Konstanzhaltung der Spannungsamplitude  $U_e$  der von dem Verstärker **223** ausgegebenen Hochfrequenzquelle kann digitalelektronisch ausgeführt sein. In diesem Fall wird das Ausgangssignal des Verstärkers **223** in einen A/D-Wandler **62** gespeist, der über eine Leitung **65** mit dem Abtastsignal von 50 MHz angesteuert wird, wodurch pro Periode  $n$  Abtastwerte des von dem Verstärker **223** ausgegebenen Signals erzeugt werden. Die mittels des A/D-Wandlers **62** abgetasteten Meßwerte werden an die digitale Verarbeitungseinrichtung **63** geleitet. Bei einem bevorzugten Verfahren wird jeder abgetastete Spannungswert mit dem entsprechenden Wert der Kosinusfunktion multipliziert. Zu diesem Zweck wird das Abtastsignal über die Leitung **65** an die Verarbeitungseinrichtung **63** geleitet. Die Kosinuswerte können beispielsweise aus einem entsprechenden tabellarischen Speicher **64** entnommen werden. Die auf diese Weise erhaltenen  $n$  Kosinuswerte werden dann über eine Periode des Hochfrequenzfeldes aufsummiert. Zu diesem Zweck wird das Hochfrequenzeingangssignal über eine Leitung **71** an die Verarbeitungseinrichtung **63** geleitet, so daß diese phasengleich mit der Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** arbeitet. Das Ausgangssignal der Verarbeitungseinrichtung **63** wird an den Regler **226** weitergeleitet, der den Verstärker **223** in der Weise steuert, daß das Ausgangssignal der Verarbeitungseinrichtung **63** und damit die Amplitude  $U_e$  der Schwingung am Ausgang des Verstärkers **223** einen konstanten Wert aufweist.

**[0038]** Die Ausführungsform gemäß [Fig. 7](#) dient insbesondere zur Messung an einem breiten, bahnförmigen Produkt **312**, beispielsweise einer Tabakbahn, einer Tow-Bahn oder einem Baumwollvlies, dessen Breite  $B$  wesentlich größer ist, beispielsweise

mindestens um einen Faktor 3, als seine Höhe  $H$ . Eine andere Anwendung betrifft die Messung an einer Mehrzahl nebeneinander liegender Produktstränge, beispielsweise Tabakstränge. In [Fig. 7](#) verläuft die Transportrichtung senkrecht zur Papierebene. Einander entsprechende Teile sind durch entsprechende 300er-Bezugsziffern bezeichnet. Bei dieser Ausführungsform wird eine Mehrzahl von Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... verwendet, hier beispielsweise sechs, die über die Breite des Produkts angeordnet sind. Diese Anordnung ermöglicht eine Bestimmung der lateralen Position eines Fremdkörpers, oder, bei einer Mehrzahl nebeneinander liegender Produktstränge, den den Fremdkörper enthaltenden Produktstrang. Die Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... werden zweckmäßigerweise von derselben Hochfrequenzerzeugungseinrichtung **13** gespeist. Vorzugsweise sind sämtliche Eingangselektroden **315** der Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... auf gleiches Potential gelegt, am einfachsten durch Kurzschließen der Elektroden, wie in [Fig. 7](#) gezeigt. Hierdurch wird das Übersprechen zwischen den Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... minimiert. Die Ausgangselektrode **316A**, **316B**, ... jedes Meßkondensators **311A**, **311B**, ... ist jeweils mit einer Meßschaltung **80A**, **80B**, ... verbunden. Die Meßschaltung **80A**, **80B**, ... ist vorzugsweise wie in [Fig. 8](#) gezeigt ausgeführt und bildet dann gemeinsam mit dem jeweiligen Meßkondensator **311A**, **311B**, ... eine Differenzier-Meßschaltung **27** wie in [Fig. 2](#) gezeigt. Die Verwendung jeweils eines dem Meßkondensator **311A**, **311B**, ... nachgeschalteten invertierenden Operationsverstärkers **330** ist in diesem Ausführungsbeispiel besonders vorteilhaft, da hierdurch die Ausgangselektroden **316A**, **316B**, ... sämtlicher Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... virtuell auf das gleiche Potential, insbesondere Masse gelegt werden. Hierdurch wird das Übersprechen zwischen den Meßkondensatoren **311A**, **311B**, ... minimiert. Der Ausgang jeder Meßschaltung **80A**, **80B**, ... ist zweckmäßigerweise jeweils mit einer Meßgrößenbestimmungseinrichtung **18A**, **18B**, ... verbunden, die insbesondere digitalelektronisch, beispielsweise wie in [Fig. 6](#) gezeigt, ausgeführt sein können. Die Meßgrößenbestimmungseinrichtungen **18A**, **18B**, ... sind zweckmäßigerweise mit der Auswerteeinrichtung **21** zur Fremdkörpererkennung verbunden. Die entsprechenden Verfahren zur Bestimmung der Meßgrößen und zur Fremdkörpererkennung werden vorzugsweise wie zuvor beschrieben durchgeführt.

### Patentansprüche

1. Messvorrichtung (**10**) zur Erkennung von Fremdkörpern (**90**) in einem Produkt (**12**; **312**), insbesondere in Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einer Messeinrichtung (**11**; **311**), einer Einrichtung (**13**) zur Erzeugung eines elektromagnetischen Wechselfeldes in der Messeinrichtung (**11**; **311**), das durch ein Produkt (**12**; **312**), das in einem Messvolumen (**46**) der Messvorrichtung (**10**) an-

geordnet ist, beeinflusst wird, einer die Messeinrichtung (**11**; **311**) umfassenden Schaltungseinrichtung (**28**), die zur Bestimmung mindestens einer geeigneten Messgröße des von dem Produkt (**12**; **312**) beeinflussten Wechselfeldes eingerichtet ist, und einer Auswerteeinrichtung (**21**), die zur Erkennung des Fremdkörpers (**90**) durch geeignete Auswertung der mittels der Schaltungseinrichtung (**28**) bestimmten Messgröße eingerichtet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (**11**; **311**) ein Messkondensator ist und die Frequenz des Wechselfeldes im Hochfrequenzbereich unterhalb des Mikrowellenbereichs liegt.

2. Messvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des Wechselfeldes unterhalb von 100 MHz liegt.

3. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungseinrichtung (**28**) bei der verwendeten Messfrequenz des Wechselfeldes nicht-resonant ausgebildet ist und die Messung auf der Ausbreitung einer laufenden Hochfrequenzwelle in dem Messkondensator (**11**; **311**) beruht.

4. Messvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltungseinrichtung (**28**) zur Bestimmung mindestens einer von der Amplitude und/oder der Phasenverschiebung der von dem Produkt (**12**; **312**) beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängigen Messgröße eingerichtet ist.

5. Meßvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzfeld-Erzeugungseinrichtung (**13**) eine Regeleinrichtung (**23-26**; **223**, **62-64**, **226**) zur Konstanthaltung der Amplitude der erzeugten Hochfrequenzwelle aufweist.

6. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Bestimmung der mindestens einen Meßgröße dienender Teil (**18**) der Schaltungseinrichtung (**28**) digitalelektronisch ausgeführt ist.

7. Meßvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßgrößenbestimmungseinrichtung (**18**) zum Abtasten des Meßsignals mit einer Abtastfrequenz, die um einen Faktor  $n$  höher ist als die Frequenz des Hochfrequenzfeldes, eingerichtet ist.

8. Meßvorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßgrößenbestimmungseinrichtung (**18**) eine digitale Verarbeitungseinrichtung (**67**) zum separaten Multiplizieren von  $n$  abgetasteten Meßwerten mit entsprechenden Sinus- und Kosinus-Werten und zum separaten Aufsummieren dieser Sinus- und Kosinus-Produkte aufweist.

9. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (**11**; **311**) umfassender Sensor (**38**) mindestens teilweise aus einem Material mit geringem Temperaturexpansionskoeffizienten bestehen.

10. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (**11**; **311**) umfassender Sensor (**38**) eine Einrichtung zur Konstanthaltung der Temperatur des Meßkondensators (**11**; **311**) aufweist.

11. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkondensator (**11**; **311**) im wesentlichen senkrecht zu einer Transporthichtung des Produkts (**12**; **312**) angeordnet ist.

12. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (**11**; **311**) umfassender Sensor (**38**) zur Durchführung des Produkts (**12**; **312**) durch den zwischen den Elektroden (**15**, **16**; **315**, **316**) des Meßkondensators (**11**; **311**) gebildeten Raum eingerichtet ist.

13. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (**15**, **16**) des Meßkondensators (**11**) jeweils eine zentrale Produktdurchführungsöffnung aufweisen.

14. Meßvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Elektrode (**15**, **16**) eine röhrenförmige, sich nach außen erstreckende, das Produkt (**12**) umfassende leitende (**49**) Oberfläche vorgesehen ist.

15. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (**15**, **16**) des Meßkondensators (**11**) von einer metallischen Beschichtung gebildet werden.

16. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (**11**; **311**) umfassender Sensor (**38**) ein nicht-leitendes Teil (**44**; **144**) zur Begrenzung des felderfüllten Raums (**45**) des Meßkondensators (**11**) aufweist.

17. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (**11**; **311**) umfassender Sensor (**38**) eine das Produkt (**12**) unmittelbar umgebende nicht-leitende Röhre (**50**, **150**) aufweist.

18. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der zwischen den Elektroden (**15**, **16**) des Meßkondensators (**11**) gebildete felderfüllte Raum (**45**) teilweise oder vollständig mit einem dielektrischen Material gefüllt ist.

19. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (**28**) zur Bestimmung einer von der Kapazität des Meßkondensators (**11**; **311**) abhängigen Meßgröße eingerichtet ist.

20. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (**28**) zur Bestimmung einer vom Verlustfaktor des Messkondensators (**11**; **311**) abhängigen Messgröße eingerichtet ist.

21. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Messkondensator (**11**; **311**) Teil eines RC-Gliedes (**11**, **29**; **311**, **329**) ist.

22. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (**28**) einen Operationsverstärker (**30**; **330**) umfasst.

23. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapazität des Messkondensators (**11**; **311**) weniger als 10 pF beträgt.

24. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Messvorrichtung eine Mehrzahl von über die Breite des Produkts (**312**) angeordneten Messkondensatoren (**311A**, **311B**, ...) umfasst.

25. Messvorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Hochfrequenzfeld-Erzeugungseinrichtung (**13**) verbundenen Elektroden (**315**) der Messkondensatoren (**311A**, **311B**, ...) auf gleichem Potential gehalten sind.

26. Messvorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils anderen Elektroden (**316A**, **316B**, ...) mittels invertierender Operationsverstärker (**330**) virtuell auf gleichem Potential gehalten sind.

27. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils anderen Elektroden (**316A**, **316B**, ...) mit einer Schaltungseinrichtung (**80A**, **80B**, ...) zur Bestimmung mindestens einer geeigneter Messgröße des von dem Produkt (**312**) beeinflussten Hochfrequenzfeldes verbunden sind.

28. Messverfahren zur Erkennung von Fremdkörpern in einem Produkt, insbesondere in Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einer Messeinrichtung, in der ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt wird, das durch einen in dem Produkt enthaltenen Fremdkörper beeinflusst wird, wobei mindestens eine geeignete Messgröße des



von dem Fremdkörper beeinflussten Wechselfeldes bestimmt wird und die bestimmte Messgröße zur Erkennung des Fremdkörpers ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, dass als Messeinrichtung ein Messkondensator verwendet wird und ein Wechselfeld im Hochfrequenzbereich unterhalb des Mikrowellenbereichs verwendet wird.

29. Messverfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wechselfeld mit einer Frequenz unterhalb von 100 MHz verwendet wird.

30. Messverfahren nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung nichtresonant mittels einer laufenden Hochfrequenzwelle durchgeführt wird.

31. Messverfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine von der Amplitude und/oder der Phasenverschiebung der von dem Fremdkörper beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängige Messgröße bestimmt wird.

32. Messverfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass das Messsignal mit einer Abtastfrequenz, die um einen Faktor  $n$  höher ist als die Frequenz der Hochfrequenzwelle, abgetastet wird.

33. Messverfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils  $n$  abgetastete Messwerte mit entsprechenden Sinus- und Kosinus-Werten separat multipliziert werden und diese Sinus- und Kosinus-Produkte separat aufsummiert werden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

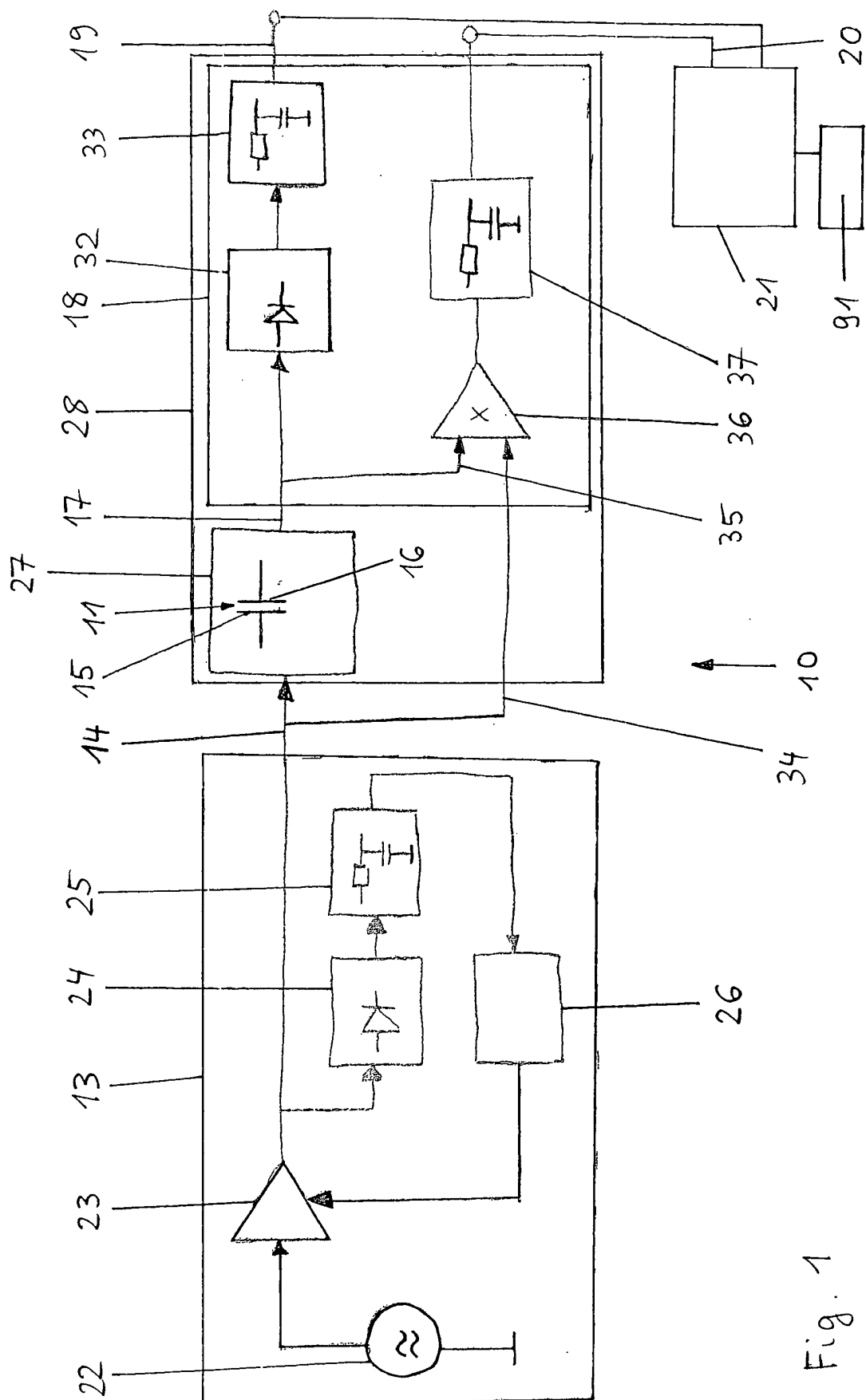


Fig. 1

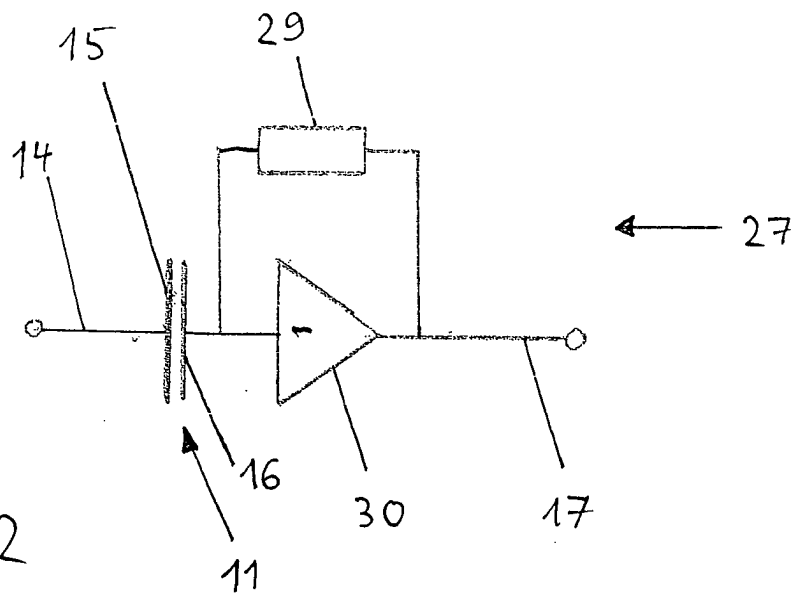


Fig. 2

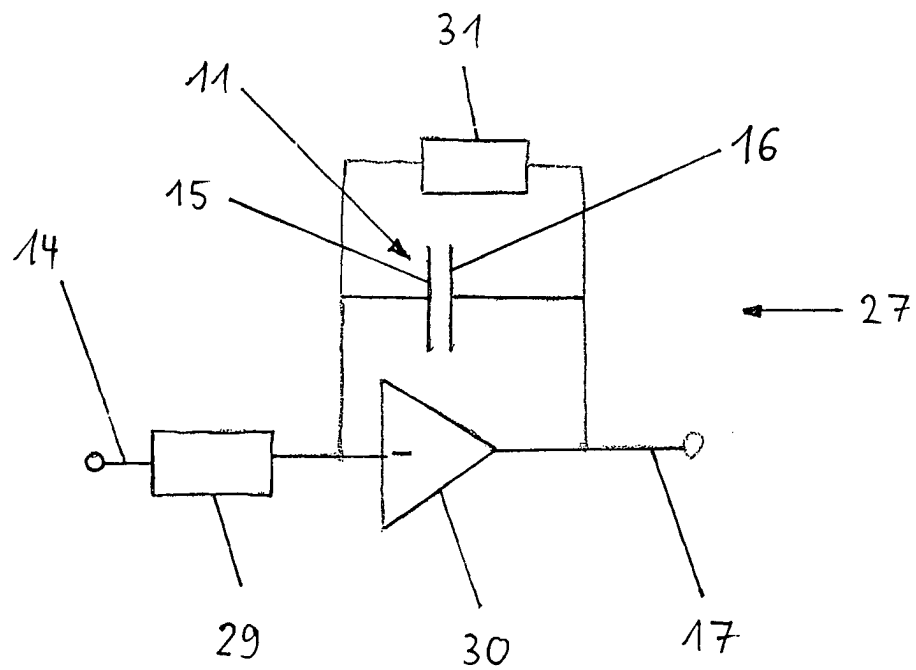


Fig. 3

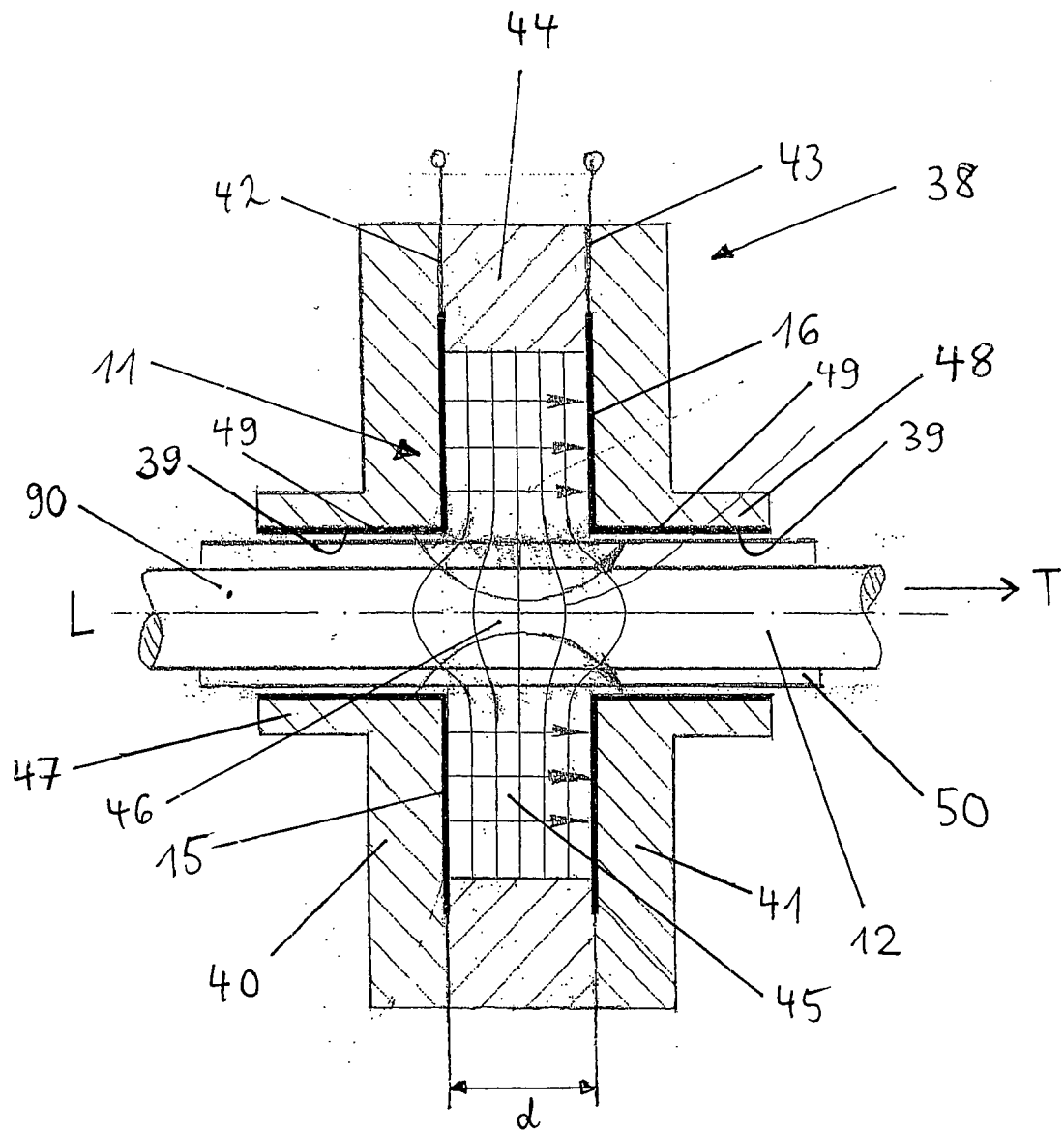


Fig. 4

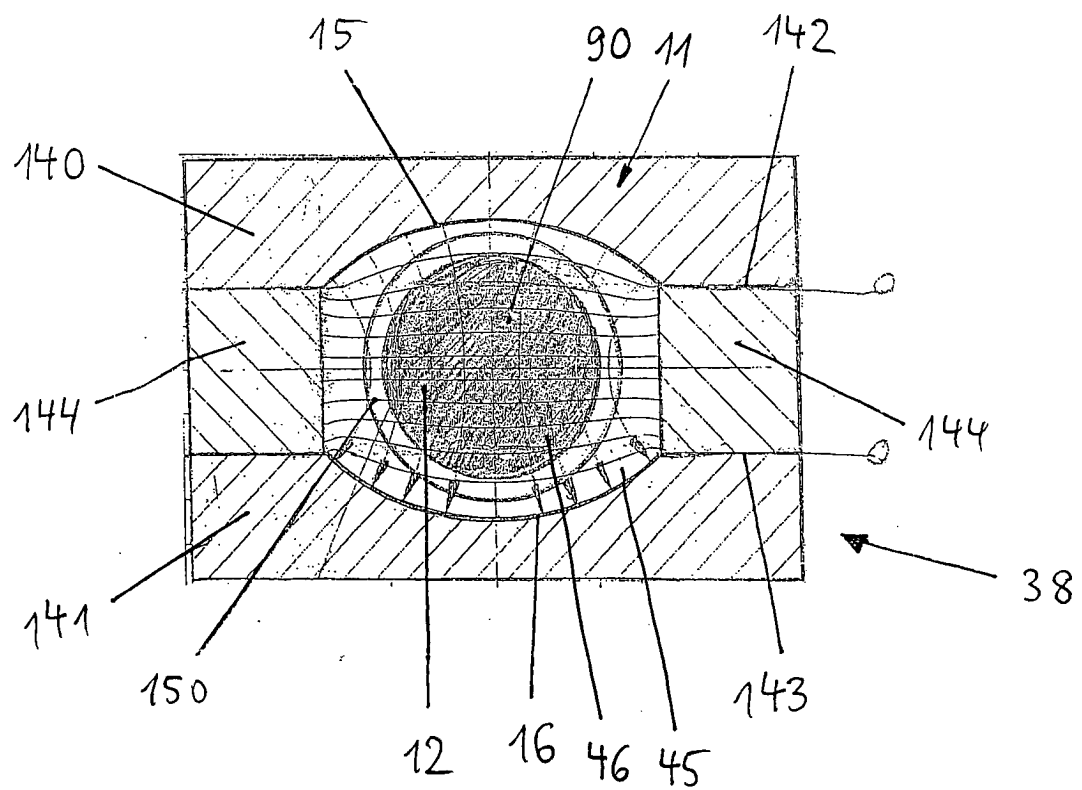


Fig. 5



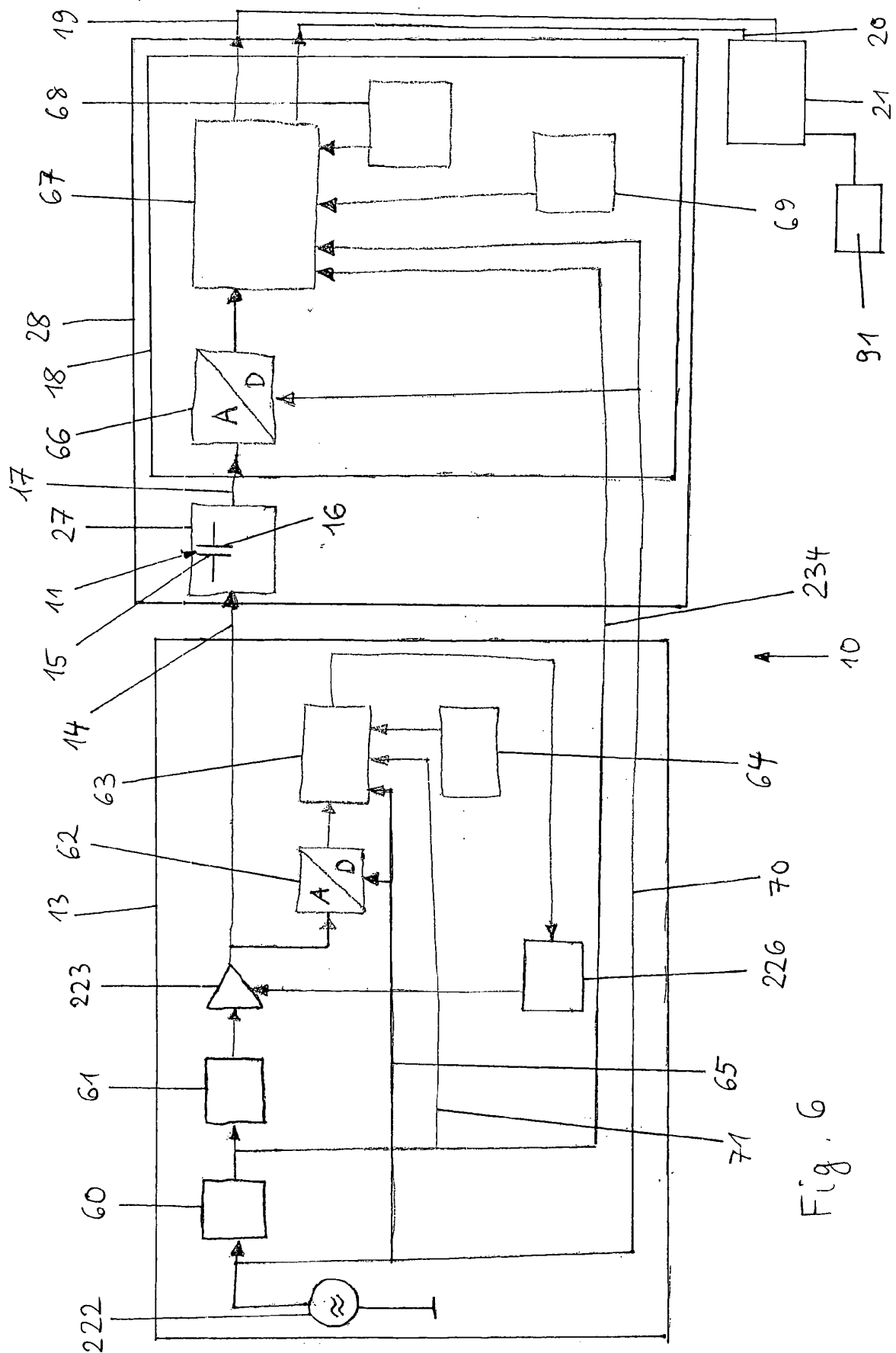


Fig. 6

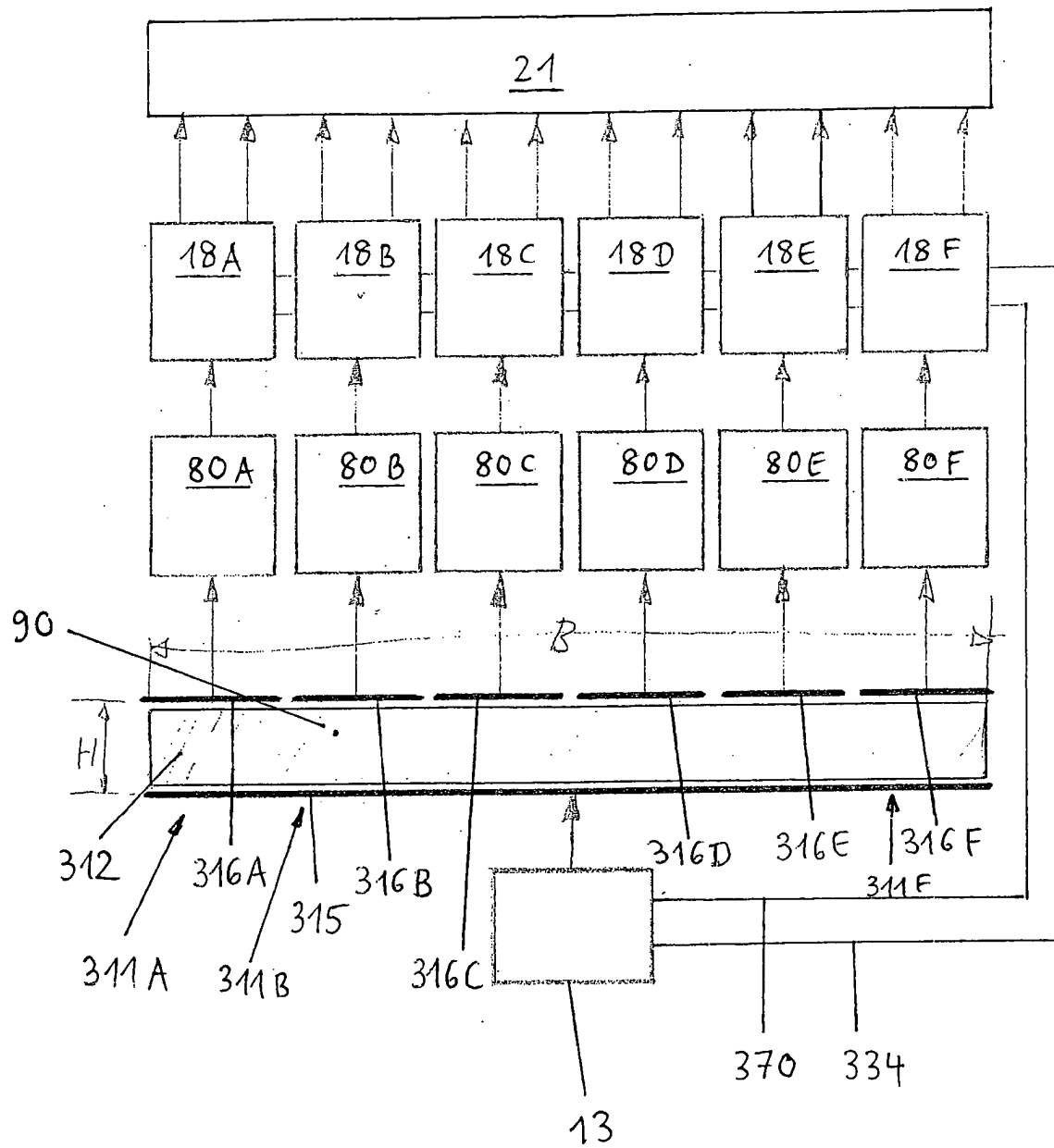


Fig. 7

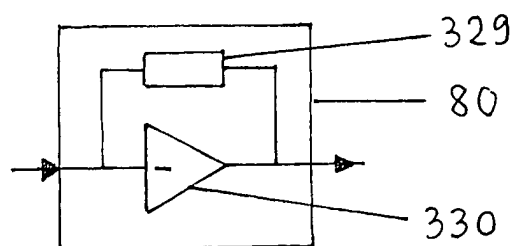


Fig. 8