

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Juli 2006 (06.07.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/069721 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 27/22 (2006.01) **A24C 5/34** (2006.01)
G01R 27/28 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/013831

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Dezember 2005 (17.12.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 063 228.6
22. Dezember 2004 (22.12.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **HAUNI MASCHINENBAU AG** [DE/DE]; Kurt-A.-
Körber-Chaussee 8-32, 21033 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHRÖDER, Dierk**
[DE/DE]; Vossstraat 30a, 22399 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: **WENZEL & KALKOFF**; Postfach 73 04 66,
22124 Hamburg (DE).

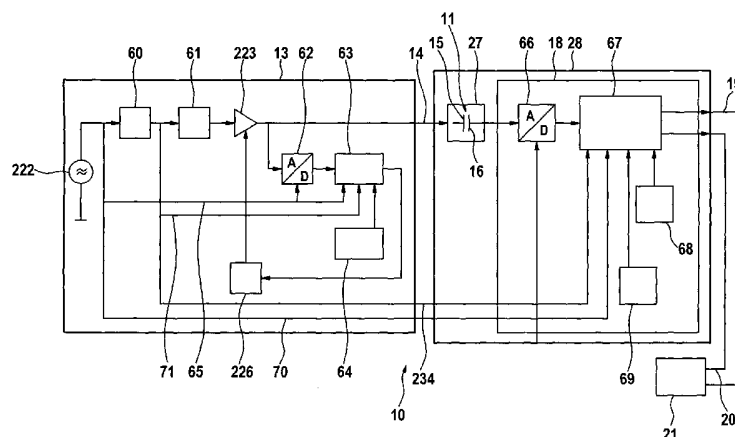
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEASURING DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING A DIELECTRIC PROPERTY, PARTICULARLY HUMIDITY AND/OR DENSITY, OF A PRODUCT

(54) Bezeichnung: MESSVORRICHTUNG UND -VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER DIELEKTRISCHEN EIGENSCHAFT, INSBESONDERE DER FEUCHTE UND/ODER DICHT, EINES PRODUKTS



(57) Abstract: The invention relates to a measuring device (10) for determining a dielectric property, particularly humidity and/or density, of a product (12; 312), particularly tobacco, cotton or another fiber product, comprising a measuring capacitor (11; 311), a device (13) for the production of a high-frequency field in the measuring capacitor (11; 311), influenced by a product (12; 312) that is arranged in a measuring volume (46) of the measuring device (10), and a switching device (28) which comprises the measuring capacitor (11; 311) and which is configured in order to determine the suitable measuring variables of the high-frequency field influenced by the product (12; 312). The invention is characterized in that the switching device (28) is configured as a substantially non-resonant device at the measuring frequency of the high-frequency field and in that measurement is best on the propagation of a running high frequency wave in the measuring capacitor (11) and in that the switching device (28) is configured for determining two measuring variables which are alternately independent and dependent upon the amplitude and phase of the high frequency wave influenced by the product (12; 312). The influence also relates to a corresponding measurement method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Anmeldung betrifft eine Messvorrichtung (10) zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft, insbesondere der Feuchte und/oder Dichte, eines Produkts (12; 312), insbesondere von Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einem Messkondensator (11; 311), einer Einrichtung (13) zur Erzeugung eines Hochfrequenzfeldes in dem Messkondensator (11; 311), das durch ein Produkt (12; 312), das in einem Messvolumen (46) der Messvorrichtung (10) angeordnet ist, beeinflusst wird, und einer den Messkondensator (11; 311) umfassenden Schaltungseinrichtung (28), die zur Bestimmung geeigneter Messgrößen des von dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzfeldes eingerichtet ist, und zeichnet sich dadurch aus, dass die Schaltungseinrichtung (28) bei der verwendeten Messfrequenz des Hochfrequenzfeldes im wesentlichen nicht-resonant ausgebildet ist und die Messung auf der Ausbreitung einer laufenden Hochfrequenzwelle in dem Messkondensator (11) beruht, und die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung zweier wechselseitig unabhängiger, von der Amplitude und der Phase der von dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängiger Messgrößen eingerichtet ist. Die Anmeldung betrifft weiterhin ein entsprechendes Messverfahren.

Meßvorrichtung und -verfahren zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft,
5 insbesondere der Feuchte und/oder Dichte, eines Produkts

Die Erfindung betrifft eine Meßvorrichtung zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft, insbesondere der Feuchte und/oder Dichte, eines Produkts, insbesondere von Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes Meßverfahren.
10

Zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft eines Stoffs ist beispielsweise aus der EP 0 902 277 A1 die Verwendung von Mikrowellen-Meßvorrichtungen bekannt. Aufgrund der erforderlichen hohen Meßgenauigkeit und der hohen verwendeten Frequenzen ist der schaltungstechnische Aufwand hoch.
15

Im Hochfrequenzbereich mit niedrigeren Frequenzen sind kapazitive Meßvorrichtungen zur Bestimmung der Feuchte bzw. der Masse von Tabak bekannt, bei der ein Meßkondensator und eine Spule als frequenzbestimmende Teile in einem Hochfrequenz-Schwingkreis geschaltet sind (US 3 979 581, DE 25 00 299, DE 24 41 832, DE 37 43 216 C2, DE 38 25 111 A1). Als Meßgrößen werden beispielsweise die von dem Produkt beeinflusste Resonanzfrequenz und Resonanzamplitude des Hochfrequenzfeldes bestimmt. Die Temperaturabhängigkeit des Kondensators und der Spule wirkt sich auf die Meßgenauigkeit aus. Spezielle, besonders temperaturstabile Kondensatoren und Spulen, wie beispielsweise aus der DE 37 43 216 C2 bekannt, sind aufwendig und kostspielig. Zudem kann zur Erzeugung der verwendeten Meß-Resonanzfrequenz die Verwendung einer großen Kapazität und einer großen Induktivität erforderlich sein, was zu einer Erhöhung des Herstellungsaufwandes und der Baugröße von Meßkondensator und Spule führt.
20
25

30

Es sind auch kapazitive Hochfrequenz-Meßvorrichtungen zur Bestimmung der Feuchte bzw. der Masse eines Materials bekannt, bei der ein Meßkondensator mit zwei Hochfrequenzwellen unterschiedlicher Frequenz gespeist wird und als Meßgrößen die von dem

Produkt beeinflussten Amplituden der beiden Frequenzkomponenten bestimmt werden. Die Erzeugung zweier Hochfrequenzwellen mit unterschiedlichen Frequenzen ist mit erhöhtem Aufwand verbunden.

- 5 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine baulich einfache und kompakte Hochfrequenz-Meßvorrichtung mit hoher Meßgenauigkeit und verbesserter Stabilität gegenüber Temperatureinflüssen bereitzustellen.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 29. Durch
10 die 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,
15 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. Um insbesondere bei einer Bestimmung der Feuchte eine Dichtekompensation
20 und/oder bei einer Bestimmung der Dichte eine Feuchtekompensation zu ermöglichen, ist die Messung zweier unabhängiger Meßgrößen vorgesehen. Erfindungsgemäß 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
25 Verwendung mehrerer Hochfrequenzwellen unterschiedlicher Hochfrequenzen beruhen.

Der Begriff „Hochfrequenz“ bedeutet grundsätzlich, in Abgrenzung vom Mikrowellenbereich, Felder mit einer Frequenz unterhalb von 100 MHz. In der Regel beträgt die Frequenz mehr als 10 kHz, vorzugsweise mehr als 100 kHz. Weiter vorzugsweise
30 trägt die Frequenz mindestens 1 MHz, insbesondere für Tabak weiter vorzugsweise mindestens 5 MHz, da zu niedrigeren Frequenzen hin eine hinreichend genaue Messung nur in einem zunehmend eingeschränkten Meßbereich möglich ist.

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 die von dem Produkt beeinflusste Hochfrequenzwelle aufweist, weist die Meßgrößenbestimmungsschaltung in der Regel zwei Ausgänge für die bestimmten Meßgrößen auf. Es ist auch möglich, daß die Meßschaltung und die Meßgrößenbestimmungsschaltung eine Einheit bilden. Die Meßgrößenbestimmungsschaltung ist der eigentlichen Auswerteeinrichtung zur Bestimmung der dielektrischen Eigenschaft des Produkts vorgeschaltet. Es ist auch möglich, daß die Meßgrößenbestimmungsschaltung und die Auswerteeinrichtung eine Einheit bilden.

10

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der zur Bestimmung der Meßgrößen dienende Teil der Schaltungseinrichtung digitalelektronisch ausgeführt. Dies ermöglicht die Verwendung einfacher Verfahren zur Bestimmung der gewünschten Meßgrößen, beispielsweise des kapazitiven Anteils und 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.

15

20

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-Differenzierglied, es kann aber beispielsweise auch ein RC-Integrierglied verwendet werden.

25

In einer bevorzugten Ausführungsform bestehen Teile des Sensors aus einem Material mit geringem Temperatúrausdehnungskoeffizienten, 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,

30

um das Meßsignal entsprechend korrigieren zu können.

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 bei einer Messung des Produktprofils in Längsrichtung erreicht werden.

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.

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 die Messung eines Produktprofils über die Breite des Produkts. Die mit der Hochfrequenzwelle gespeiste 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.

25

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

Fig. 1: eine schematische Schaltung einer im wesentlichen analogen Meßvorrichtung;

Fig. 2: eine Differenzier-Meßschaltung für eine Meßvorrichtung;

Fig. 3: eine Integrier-Meßschaltung für eine Meßvorrichtung;

Fig. 4: eine Längsschnittsansicht eines kapazitiven Sensors;

5 Fig. 5: eine Querschnittsansicht eines kapazitiven Sensors in einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 6: eine schematische Schaltung einer im wesentlichen digitalen Meßvorrichtung;

10 Fig. 7: eine schematische Schaltung einer Meßvorrichtung für die Messung an einem breiten Produkt; und

Fig. 8: einen Operationsverstärker für eine Differenzier-Meßschaltung für die Meßvorrichtung aus Fig. 7.

15

Die kapazitive Meßvorrichtung 10 gemäß den Fig. 1 bis 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 in dem Meßkondensator 11 beeinflusste Hochfrequenzwelle wird mittels der Schaltungseinrichtung 28 verarbeitet, um zwei voneinander unabhängige, von der Amplitude und 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, mittels der aus den bestimmten Meßgrößen die gewünschte dielektrische Eigenschaft, beispielsweise die Feuchte und/oder die Dichte, des Produkts 12 ermittelt wird. Aufgrund der Auswertung zweier voneinander unabhängiger Meßgrößen ist es

20
25
30

dabei möglich, beispielsweise eine von der Produktfeuchte unabhängige Produktdichte und/oder eine von der Produktdichte unabhängige Produktfeuchte zu ermitteln. Für die Auswertung können in der Auswerteeinrichtung 21 gespeicherte und vorab in einem Kalibrierungsverfahren bestimmte Kalibrierungskurven verwendet werden.

5

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 Mesung 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.

10

Die Meßschaltung 27 ist der 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 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 weist aufgrund der Wechselwirkung mit dem Produkt 12 eine gegenüber der Eingangsamplitude U_e geänderte Spannungsamplitude U_a sowie eine Phasenverschiebung von δ gegenüber dem Eingangssignal auf.

20

25

30

Die von dem Produkt 12 beeinflusste Hochfrequenzwelle wird über die Ausgangsleitung 17 der Meßschaltung 27 an die Meßgrößenbestimmungseinrichtung 18 geleitet. Die Meßgrößenbestimmungseinrichtung 18 bestimmt aus dem modifizierten Hochfrequenz-
5 signal 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
10 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 Ein-
15 gangssignal 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 δ . Die mittels der Meßgrö-
20 ßenbestimmungseinrichtung 18 bestimmten Meßgrößen hängen in einer definierten Art und Weise mit dem Real- und Imaginärteil der Dielektrizitätskonstanten, bzw. mit der Feuchte und der Dichte des Produkts 12 zusammen. Zur entsprechenden Auswertung werden die bestimmten Meßsignale über die Ausgangsleitungen 19, 20 an die Auswerteeinrichtung 21 geleitet, in der die Auswertung beispielsweise mittels eines darin ge-
25 speicherten Computerprogramms durchgeführt wird.

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,
30 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 Beschichtung, 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 und eine genaue Messung des Produktprofils in Längsrichtung zu ermöglichen. 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.

Die Körper 40, 41, 44 des Sensors 38 bestehen vorzugsweise aus einem nichtleitenden Material mit sehr geringem Temperatúrausdehnungskoeffizienten, beispielsweise Zerkon, 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 Konstanthaltung der Sensortemperatur vorgesehen. Es ist auch denkbar, daß die Grundkörper 40, 41 des Sensors 38 vollständig oder teilweise aus Metall bestehen.

10

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.

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 Hochfrequenzwelle, 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 Hochfrequenzwelle. Das Abtastsignal wird über die Leitung 70 an den A/D-Wandler 66 geleitet.

30

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 bestimmten Meßsignale über die Ausgangsleitungen 19, 20 an die Auswerteeinrichtung 21 geleitet, in der die Auswertung beispielsweise mittels eines darin gespeicherten Computerprogramms durchgeführt wird.

20

Zweckmäßigerweise kann das von der Hochfrequenzquelle 222 erzeugte Signal ebenfalls zur Erzeugung der für die Messung verwendeten Hochfrequenzwelle 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.

Auch die Regeleinrichtung 223, 62-64, 226 zur Konstanthaltung der Spannungsamplitude U_e der von dem Verstärker 223 ausgegebenen Hochfrequenzwelle 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
5 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
10 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.

15

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
20 einer Mehrzahl nebeneinander liegender Produktstränge, beispielsweise Tabakstränge. Die Transportrichtung verläuft 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 die Messung eines Profils, beispielsweise des Dichteprofiles, über die Breite des
25 Produkts. 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, ... mini-
30 miert. 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 verbunden. Die entsprechenden Verfahren zur Bestimmung der Meßgrößen und der dielektrischen Größen werden vorzugsweise wie zuvor beschrieben durchgeführt.

Ansprüche:

1. Meßvorrichtung (10) zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft, insbesondere der Feuchte und/oder Dichte, eines Produkts (12; 312), insbesondere von Tabak,
5 Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einem Meßkondensator (11; 311), einer Einrichtung (13) zur Erzeugung eines Hochfrequenzfeldes in dem Meßkondensator (11; 311), das durch ein Produkt (12; 312), das in einem Meßvolumen (46) der Meßvorrichtung (10) angeordnet ist, beeinflusst wird, und einer den Meßkondensator (11; 311) umfassenden Schaltungseinrichtung (28), die zur Bestimmung
10 geeigneter Meßgrößen des von dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzfeldes eingerichtet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (28) bei der verwendeten Meßfrequenz des Hochfrequenzfeldes im wesentlichen nicht-resonant ausgebildet ist und die Messung auf der Ausbreitung einer laufenden Hochfrequenzwelle in dem Meßkondensator (11) beruht, und
15 die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung zweier wechselseitig unabhängiger, von der Amplitude und der Phase der von dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängiger Meßgrößen eingerichtet ist.
2. Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Bestimmung der Meßgrößen dienender Teil (18) der Schaltungseinrichtung (28) digital-
20 elektronisch ausgeführt ist.
3. Meßvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßgrößenbestimmungseinrichtung (18) zum Abtasten des Meßsignals mit einer Abtastfrequenz,
25 die um einen Faktor n höher ist als die Frequenz der Hochfrequenzwelle, eingerichtet ist.
4. Meßvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßgrößenbestimmungseinrichtung (18) eine digitale Verarbeitungseinrichtung (67) zum separaten Multiplizieren von n abgetasteten Meßwerten mit entsprechenden Sinus- und
30 Kosinus-Werten und zum separaten Aufsummieren dieser Sinus- und Kosinus-Produkte aufweist.

5. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (11; 311) umfassender Sensor (38) mindestens teilweise aus einem Material mit geringem Temperatúrausdehnungskoeffizienten bestehen.
- 5 6. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (11; 311) umfassender Sensor (38) eine Einrichtung zur Konstanthaltung der Temperatur des Meßkondensators aufweist.
7. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß
10 der Kondensator (11; 311) im wesentlichen senkrecht zu einer Transportrichtung des Produkts (12; 312) angeordnet ist.
8. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Meßkondensator (11; 311) umfassender Sensor (38) zur Durchführung des
15 Produkts (12; 312) durch den zwischen den Elektroden (15, 16; 315, 316) des Meßkondensators (11; 311) gebildeten Raum eingerichtet ist.
9. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (15, 16) des Meßkondensators (11) jeweils eine zentrale Produkt-
20 durchführungsöffnung aufweisen.
10. Meßvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Elektrode (15, 16) eine röhrenförmige, sich nach außen erstreckende, das Produkt (12) umfassende leitende (49) Oberfläche vorgesehen ist.
- 25 11. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (15, 16) des Meßkondensators (11) von einer metallischen Beschichtung gebildet werden.
- 30 12. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, 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.

13. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß
ein den Meßkondensator (11; 311) umfassender Sensor (38) eine das Produkt (12)
5 unmittelbar umgebende nicht-leitende Röhre (50; 150) aufweist.
14. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß
der zwischen den Elektroden (15, 16) des Meßkondensators (11) gebildete felder-
füllte Raum (45) teilweise oder vollständig mit einem dielektrischen Material ge-
10 füllt ist.
15. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß
die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung einer von der Kapazität des Meß-
kondensators (11; 311) abhängigen Meßgröße eingerichtet ist.
- 15
16. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß
die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung einer vom Verlustfaktor des Meß-
kondensators (11; 311) abhängigen Meßgröße eingerichtet ist.
17. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß
20 die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung einer von der Amplitude der von
dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängigen Meßgröße ein-
gerichtet ist.
18. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß
25 die Schaltungseinrichtung (28) zur Bestimmung der Phasenverschiebung der von
dem Produkt (12; 312) beeinflussten Hochfrequenzwelle eingerichtet ist.
19. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß
30 der Meßkondensator (11; 311) Teil eines RC-Gliedes (11, 29; 311, 329), vorzugs-
weise eines RC-Differenziergliedes ist.

20. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (28) einen Operationsverstärker (30; 330), vorzugsweise einen invertierenden Operationsverstärker umfaßt.
- 5 21. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Hochfrequenzwelle unterhalb von 100 MHz liegt.
22. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Hochfrequenzwelle oberhalb von 1 MHz, vorzugsweise oberhalb
10 von 5 MHz liegt.
23. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapazität des Meßkondensators (11; 311) weniger als 10 pF beträgt.
- 15 24. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Hochfrequenzfeld-Erzeugungseinrichtung (13) eine Regeleinrichtung (23-26; 223, 62-64, 226) zur Konstanthaltung der Amplitude der erzeugten Hochfrequenzwelle aufweist.
- 20 25. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung insbesondere zur Messung eines transversalen Produktprofils eine Mehrzahl von über die Breite des Produkts (312) angeordneten Meßkondensatoren (311A, 311B, ...) umfaßt.
- 25 26. Meßvorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Hochfrequenzwelle gespeisten Elektroden (315) der Meßkondensatoren (311A, 311B, ...) auf gleichem Potential gehalten sind.
27. Meßvorrichtung nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß die je-
30 weils anderen Elektroden (316A, 316B, ...) mittels invertierender Operationsverstärker (330) virtuell auf gleichem Potential gehalten sind.

28. Meßvorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils anderen Elektroden (316A, 316B, ...) mit einer Schaltungseinrichtung (80A, 80B, ...) zur Bestimmung geeigneter Meßgrößen des von dem Produkt (312) beeinflussten Hochfrequenzfeldes verbunden sind.

5

29. Meßverfahren zur Bestimmung einer dielektrischen Eigenschaft, insbesondere der Feuchte und/oder Dichte, eines Produkts, insbesondere von Tabak, Baumwolle oder einem anderen Faserprodukt, mit einem Meßkondensator, in dem ein Hochfrequenzfeld erzeugt wird, das durch ein in dem Meßvolumen angeordnetes Produkt beeinflusst wird, wobei geeignete Meßgrößen des von dem Produkt beeinflussten Hochfrequenzfeldes bestimmt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung nicht-resonant mittels einer laufenden Hochfrequenzwelle in dem Meßkondensator durchgeführt wird und zwei wechselseitig unabhängige, von der Amplitude und Phase der von dem Produkt beeinflussten Hochfrequenzwelle abhängige Meßgrößen bestimmt werden.

10

15

30. Meßverfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsignal mit einer Abtastfrequenz, die um einen Faktor n höher ist als die Frequenz der Hochfrequenzwelle, abgetastet wird.

20

31. Meßverfahren nach Anspruch 30, 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.

25

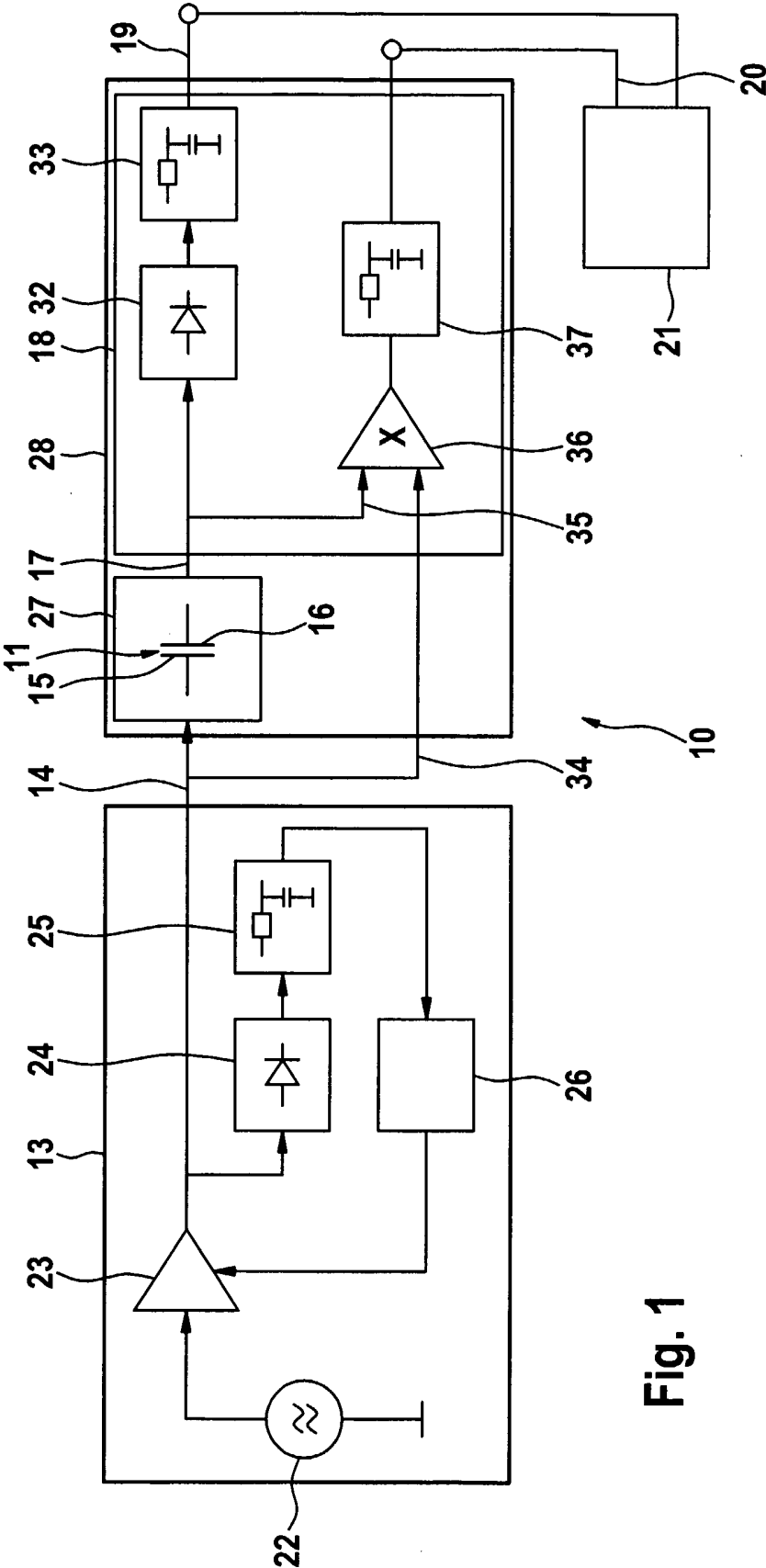


Fig. 1

2 / 6

Fig. 2

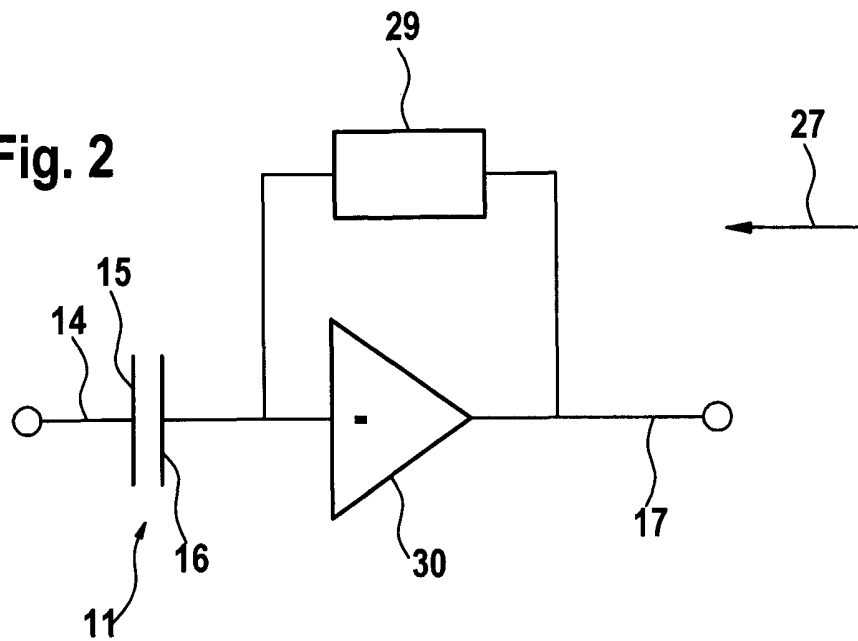
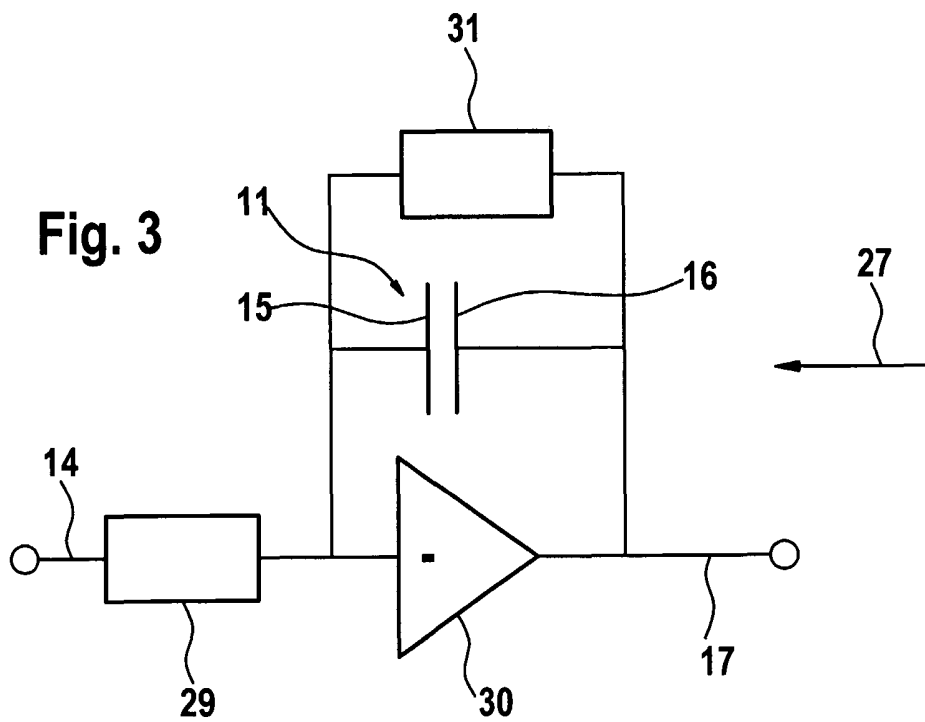
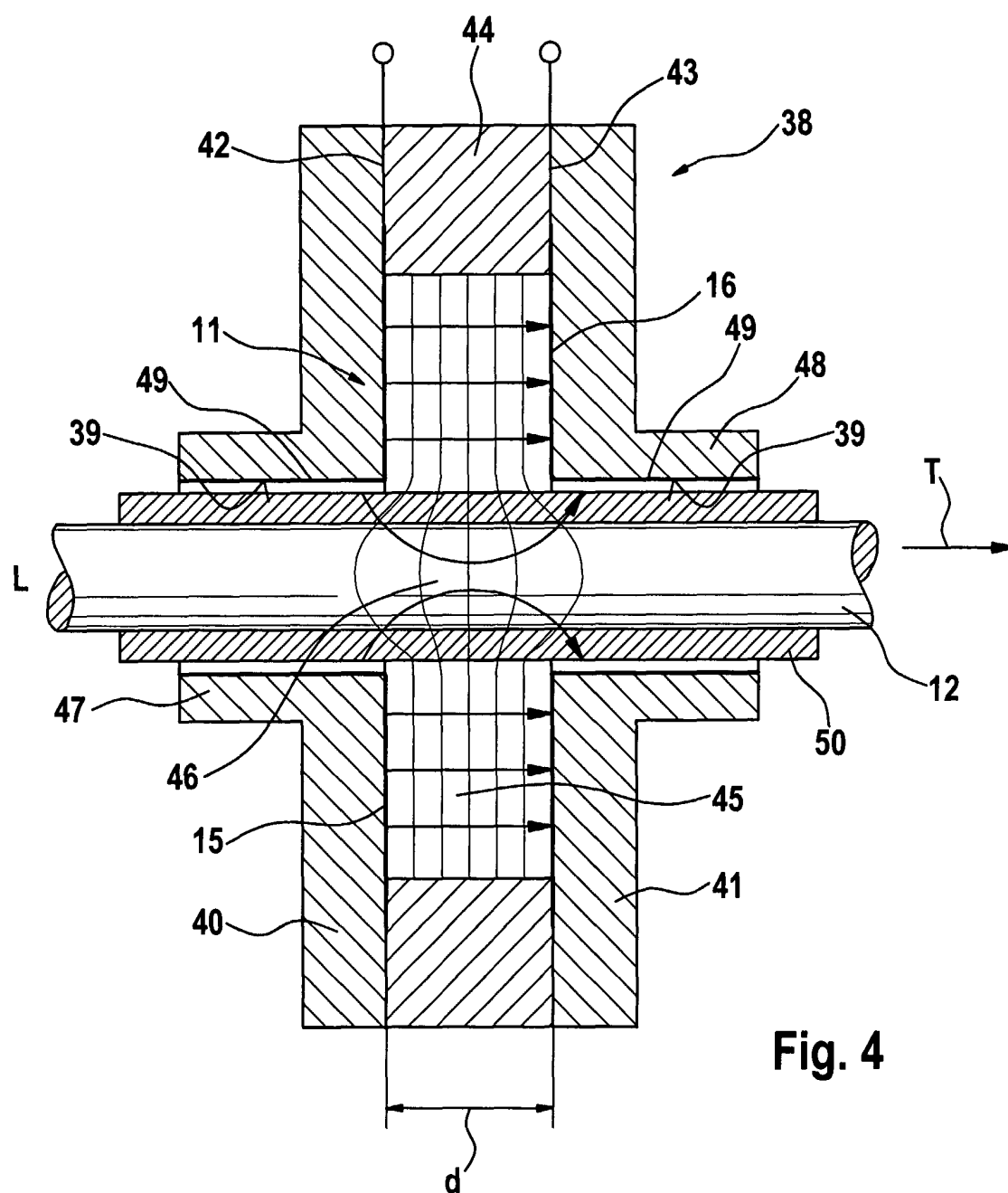


Fig. 3

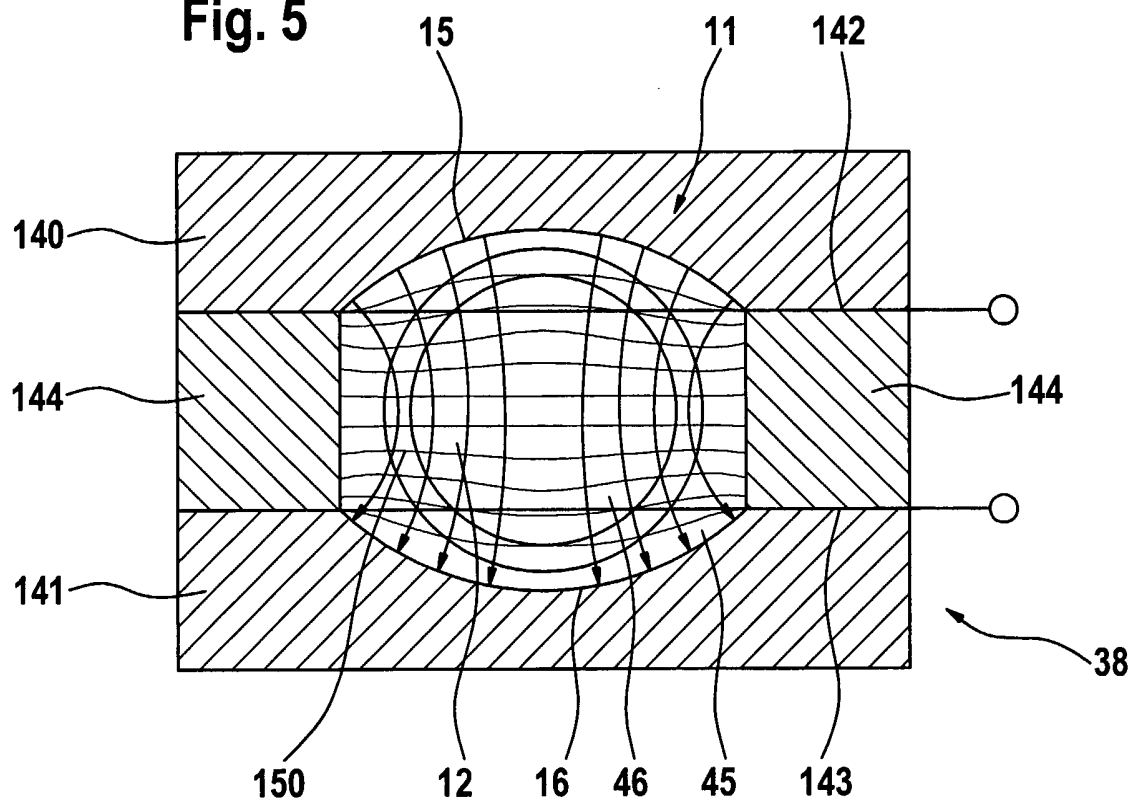


3 / 6



4 / 6

Fig. 5



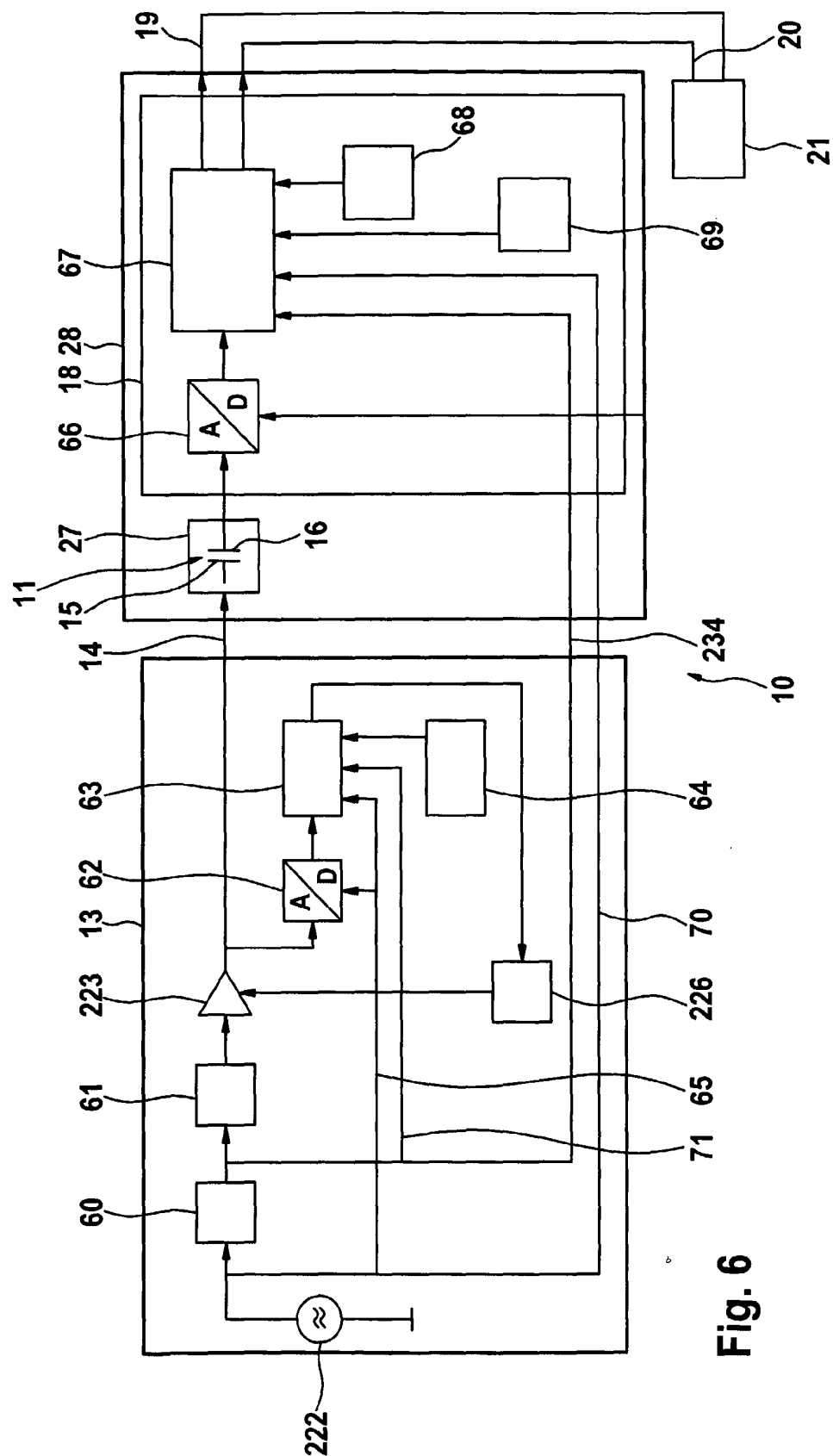


Fig. 6

6 / 6

Fig. 7

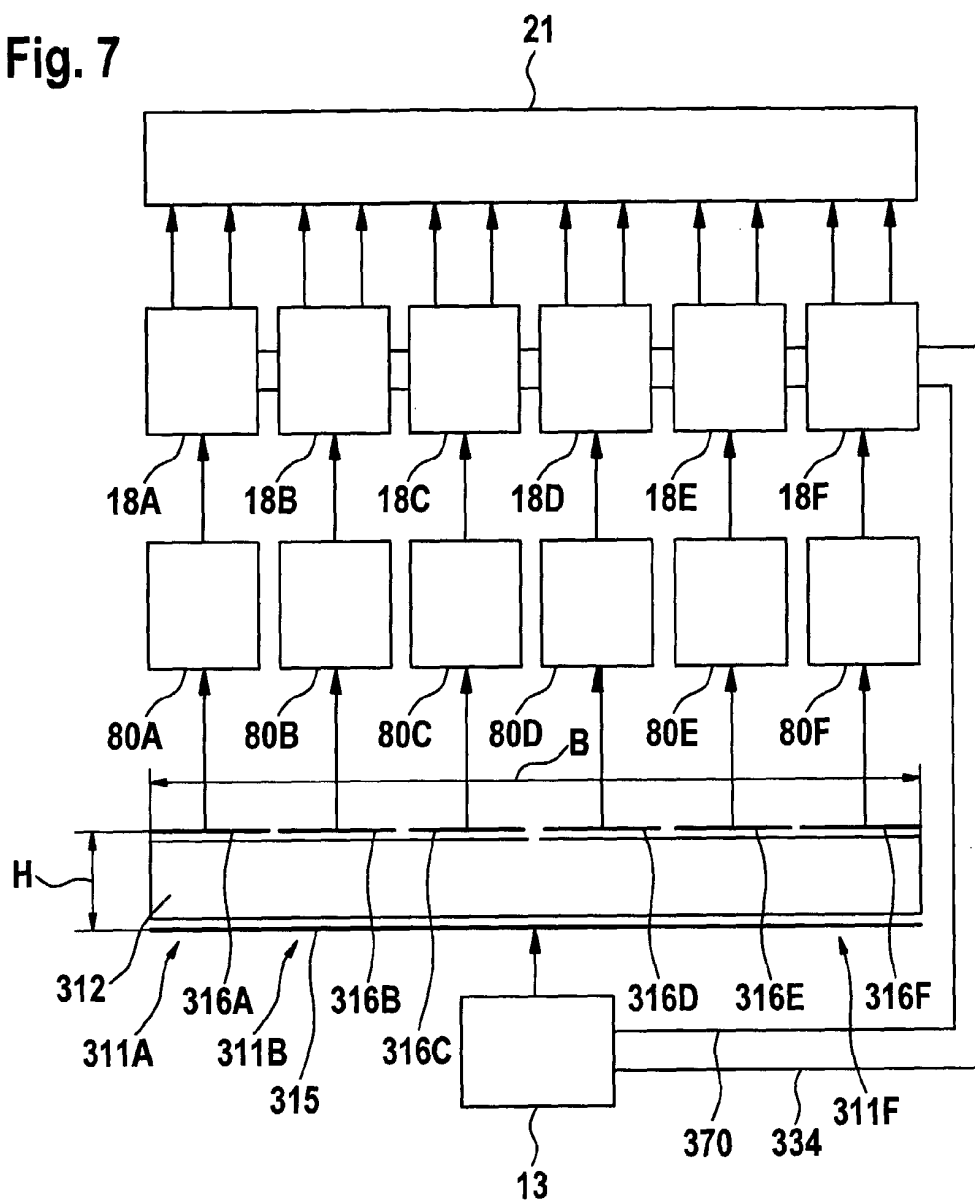


Fig. 8

A block diagram of a control circuit 80. An input signal enters from the left and splits into two paths. The upper path passes through a rectangular block 329 before entering the top input of a triangular logic gate. The lower path enters the bottom input of the same logic gate. The output of the logic gate exits to the right as a single signal line 33.