



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 29 117 T2** 2005.05.12

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 950 177 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 29 117.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/24028**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 954 637.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/029729**

(86) PCT-Anmeldetag: **29.12.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **09.07.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.10.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **12.05.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.05.2005**

(51) Int Cl.⁷: **G01N 7/00**

C22B 1/00, G01N 22/04

(30) Unionspriorität:

777872 **31.12.1996** **US**

(73) Patentinhaber:

Malcam Ltd., Tel Aviv, IL

(74) Vertreter:

Schieber und Kollegen, 80469 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(72) Erfinder:

**MOSHE, S., Danny, 55024 Kiryat Ono, IL;
GREENWALD, Alexander, 17000 Nazareth Illit, IL**

(54) Bezeichnung: **Gerät zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts eines Materials**

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**GEBIET UND HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts von Material mit mehreren Schichten und im speziellen eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts von nicht homogenem Material.

[0002] Viele verschiedene Arten von synthetischem und organischem Material bilden die Grundlage für die Herstellung vieler verschiedener hergestellter Produkte. Diese Materialien müssen gesammelt, transportiert und gelagert werden, bevor sie im Herstellungsprozess verwendet werden. Der Herstellungsprozess selbst kann mehrere Verfahren erfordern, zunächst zur Herstellung des Rohmaterials und dann zur Verwendung des verarbeiteten Materials bei der Herstellung des eigentlichen Produkts. Viele dieser Verfahren sind vom Feuchtigkeitsgehalt des Materials abhängig. Wenn zum Beispiel der Feuchtigkeitsgehalt zu hoch ist, kann das Material während Speicherung und Transport verfaulen, bevor es benutzt werden kann. Wenn der Feuchtigkeitsgehalt zu niedrig ist, kann die Verarbeitung und Verwendung des Materials schwierig sein.

[0003] Synthetische und organische Materialien, deren Verhalten von ihrem Feuchtigkeitsgehalt abhängt, schließen Tabak, Baumwolle, Papier, verarbeitetes Holz, Tee und synthetische Fasern ein. Als Beispiel kann Baumwolle betrachtet werden, obwohl erkannt wird, dass ähnliche Beispiele für jedes der oben genannten Materialien angeführt werden können. Rohbaumwolle ist eine Mischung aus Samen und Baumwoll-Fasern, die verarbeitet werden muss, um die gewünschten Baumwoll-Fasern von den Samen zu trennen. Eine Baumwoll-Entkörnungsmaschine wird benutzt, um die Fasern von den Samen zu trennen. Damit die Entkörnungsmaschine wirksam arbeiten kann, muss die Feuchtigkeit der Baumwoll-Fasern während dieser Verarbeitung gesteuert werden. Wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Baumwoll-Fasern zu hoch ist, neigen die Fasern dazu, Pfropfen zu bilden, die in der Baumwoll-Entkörnungsmaschine während der Verarbeitung kleben bleiben und sich während der Lagerung schneller zersetzen. Wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Fasern zu gering ist, neigen die Fasern dazu, sich statisch aufzuladen und sich an Metalloberflächen festzusetzen. Fasern mit niedrigem Feuchtigkeitsgehalt sind auch schwächer und brechen häufiger.

[0004] Der optimale Feuchtigkeitsgehalt bei Baumwoll-Fasern liegt bei 6,5 bis 8%. Die Rohbaumwolle kann jedoch einen Feuchtigkeitsgehalt von weniger als 3% bis mehr als 20% haben. Wenn die Baumwoll-Entkörnungsmaschine die Baumwolle verarbei-

tet, muss sie daher den Feuchtigkeitsgehalt der Fasern steuern, um den stark variierenden Feuchtigkeitsgehalt der Rohbaumwolle auszugleichen. Wirksame Feuchtigkeitssteuerung ist abhängig von einer genauen Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Baumwolle.

[0005] Solche Messungen können mit Hilfe von Mikrowellenstrahlung durchgeführt werden. Typischerweise befindet sich auf einer Seite des Baumwoll-Moduls eine Mikrowellen-Strahlungsquelle und auf der gegenüberliegenden Seite des Baumwoll-Moduls befindet sich eine Antenne. Der Strahlungs-Quellenstrahl wird durch einen Abschnitt des Moduls hindurch geleitet und von der Antenne empfangen, die dann ein Signal produziert. Dieses Signal wird verwendet, um den Feuchtigkeitsgehalt dieses Abschnitts des Moduls zu bestimmen.

[0006] Solche Messungen sind jedoch wegen der Größe und internen Struktur des Rohmaterials schwierig durchzuführen. Rohbaumwolle wird typischerweise in massiven Modulen transportiert. Im Durchschnitt hat jedes Modul eine Breite von drei Metern, eine Höhe von drei Metern und eine Länge von sechs Metern und ein Gewicht von acht Tonnen. Jedes Modul hat zahlreiche Schichten von Material. Diese Schichten sind normalerweise etwas locker, obwohl sie zusammengepresst und mit Metall- oder Plastik-Bändern gebunden werden, können. Daher ist eine einzelne Messung des Feuchtigkeitsgehalts des gesamten Moduls physikalisch nicht möglich. Wenn jedoch der Feuchtigkeitsgehalt nur eines Abschnitts des Moduls gemessen wird, kann der Feuchtigkeitsgehalt des gesamten Moduls aus einer einzelnen Messung nicht genau bestimmt werden, da der Feuchtigkeitsgehalt innerhalb des Moduls von einem Punkt zum anderen um ungefähr fünf Prozent variieren kann. Daher sind mehrere Messungen erforderlich, die das Material selbst nicht beschädigen.

[0007] Die interne Struktur des Moduls selbst bringt Schwierigkeiten mit sich. Die Schichten der Rohbaumwolle innerhalb des Moduls sind häufig nicht parallel, wodurch das Verhalten des hindurch geführten Strahls und folglich der augenscheinliche Feuchtigkeitsgehalt des Ballens artefaktisch verfälscht werden können. Daher muss die interne Struktur des Moduls bei der Berechnung des Feuchtigkeitsgehalts des Materials kompensiert werden.

[0008] Weiterhin können viele Arten von Modulen für den Transport und die Lagerung von Rohbaumwolle verwendet werden. Rohbaumwolle kann in Behältern transportiert und gelagert werden. Die interne Struktur des Behälters ist typischerweise weniger organisiert, was zu noch größeren Inhomogenitäten beim Material führt und noch größere Mess-Artefakte verursachen kann. Baumwolle kann auch in Ballen transportiert und gelagert werden. Im Durchschnitt

hat jeder Ballen eine Breite von 0,5 m, eine Höhe von 0,7 m und eine Länge von 1,4 m und ein Gewicht von 250 kg. Jeder Ballen hat viele Schichten von Material, die zusammengepresst und mit Metall- oder Plastikbändern gebunden werden. Daher unterscheidet sich die interne Struktur des Ballens von derjenigen des Behälters, so dass eine Vorrichtung zur Feuchtigkeitsmessung, welche eine Kompensation der nicht parallelen Schichten des Ballens einschließen würde, eine andere Signalverarbeitung benötigen würde, um die lockerere Struktur des Behälters zu kompensieren.

[0009] Natürlich ist Baumwolle nicht das einzige Material, das transportiert, gelagert und verarbeitet wird. Wie oben erwähnt, sind Tabak, Papier, verarbeitetes Holz, Tee und synthetische Fasern ebenfalls notwendige synthetische und organische Materialien, die die Grundlage vieler verschiedener Produkte bilden. Jedes dieser Materialien kann ebenfalls auf viele verschiedenen Arten transportiert und gelagert werden, zum Beispiel als Ballen und Behälter. Der Feuchtigkeitsgehalt jedes Materials kann die Verarbeitung, Lagerung und Herstellung beeinflussen. Weiterhin bildet jedes dieser Materialien andere Strukturen. Das heißt, ein Tabakballen kann eine ganz andere interne Struktur haben als ein Baumwollballen. Daher muss eine Vorrichtung zur Feuchtigkeitsmessung die Auswirkung all dieser verschiedenen Arten von Strukturen auf den gemessenen Feuchtigkeitsgehalt kompensieren können.

[0010] Leider ist im Stand der Technik keine solche Vorrichtung zur Feuchtigkeitsmessung bekannt. Zum Beispiel dient das US-Patent Nr. 4,578,998 dazu, den Feuchtigkeitsgehalt von Folien-Material zu messen. Eine Kompensation dafür, dass die Schichten des Materials nicht parallel sind, wird jedoch nicht erwähnt. Weiterhin wäre eine solche Vorrichtung nicht geeignet für Material, das nicht in solch strukturierten Schichten angeordnet ist, wie zum Beispiel Baumwollbehälter.

[0011] Das US-Patent Nr. 2,659,860 dient der Messung des Feuchtigkeitsgehalts bei Ballen von Material durch das Hindurchführen eines Mikrowellenstrahls durch den Ballen und das Empfangen des Strahls mit einer Antenne, die ein Signal erzeugt. Der Feuchtigkeitsgehalt des Ballens wird dann aus diesem Signal ermittelt. Während dieser Messung muss sich der Ballen stationär zwischen der Quelle des Strahls und der Antenne befinden, wie in Spalte 5, Zeilen 4–7 beschrieben. Weiterhin muss der Ballen sorgfältig platziert werden, so dass der Strahl zwischen den Metall-Bändern des Ballens hindurchgeht. Die Platzierung des Strahls ist ebenfalls bedeutsam, da nur eine einzige Messung des Feuchtigkeitsgehalts des Ballens durchgeführt wird. Der Feuchtigkeitsgehalt des Ballens kann jedoch auf Grund von lokal nicht homogenem Material innerhalb des Bal-

lens zwischen zwei Punkten, die nur 2 cm auseinander liegen, um bis zu fünf Prozent variieren. Daher spiegelt die Einzelmessung den gesamten Feuchtigkeitsgehalt des Ballens möglicherweise nicht genau wider. Da die Vorrichtung außerdem keine Förder-Mittel und keine Mittel zur Durchführung kontinuierlicher Messungen einschließt, wäre auf praktischer Ebene die Durchführung mehrerer Messungen des Feuchtigkeitsgehalts eines Ballens sehr schwierig, da der Ballen für jede neue Messung manuell bewegt werden müsste. Schließlich wird keine Kompensation für einen Zustand erwähnt, bei dem die Materialschichten nicht parallel sind oder bei dem das Material überhaupt nicht in Schichten angeordnet ist.

[0012] US 4 233 559 offenbart ein Verfahren zur Ermittlung der Konzentration von polaren Komponenten in sonst nicht polaren Materialien, das Dämpfungs- und Phasenverschiebungsmessungen der testenden elektromagnetischen Signale umfasst.

[0013] US 5 107 219 offenbart ein Verfahren zur Ermittlung der Leitfähigkeit einer Flüssigkeit mit Hilfe von Messungen der Dämpfung und der Phasenverschiebung eines Antennen-Signals.

[0014] Es besteht dahin eine weithin anerkannte Notwendigkeit für Folgendes und es wäre sehr vorteilhaft, es zu haben: eine Vorrichtung zur Messung des Feuchtigkeitsgehalts einer Einheit von Material, welche die interne Struktur der Material-Einheit oder das Fehlen dieser Struktur kompensieren kann, welche mehrere Messungen durchführen kann, um den durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt der gesamten Material-Einheit zu ermitteln und welche in der Lage ist, solche Messungen für das Material selbst anzupassen.

[0015] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung und andere Ziele, die im Folgenden deutlich werden, werden von der Vorrichtung zur Messung des Feuchtigkeitsgehalts eines Material-Moduls nach Anspruch 1 erreicht.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0016] Die Erfindung ist hierin nur als Beispiel unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, worin:

[0017] [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) verdeutlichende Beispiele für Module sind, deren Feuchtigkeit mit der vorliegenden Erfindung gemessen werden kann;

[0018] [Fig. 2](#) ein Blockdiagramm ist, das eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0019] [Fig. 3](#) ein Beispiel für eine Eichkurve zeigt, die zur Berechnung des Feuchtigkeitsgehalts des Moduls gemäß der vorliegenden Erfindung verwen-

det wird;

[0020] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) eine Phasenbereichskurve einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellen;

[0021] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#) den Zusammenhang zwischen der Richtung des elektrischen Feldes des Quellenstrahls im Verhältnis zum Modul und der Dämpfung und Phasenverschiebung des Antennensignals darstellt;

[0022] [Fig. 6](#) einen Lastwagen für den Transport der Vorrichtung in [Fig. 2](#) darstellt;

[0023] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) eine Vorrichtung darstellen, die keine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

[0024] [Fig. 8](#) das Verhalten des Antennen-Signals der Vorrichtung in den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) darstellt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0025] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, die zum Messen des Feuchtigkeitsgehalts eines Material-Moduls verwendet werden können.

[0026] Die Grundlagen und der Betrieb eines Verfahrens und einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung können unter Bezugnahme auf die Zeichnungen und die beigefügte Beschreibung besser verstanden werden.

[0027] Was die Zeichnungen betrifft, so sind die [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) Anschauungsbeispiele für Module, deren Feuchtigkeit mit der vorliegenden Erfindung gemessen werden kann. [Fig. 1A](#) zeigt ein Modul **10**, das ein Ballen **12** ist. Der Ballen **12** besteht aus gepressten Schichten von Material **14**, die optional durch mindestens ein Verbindungsband **16** zusammengehalten werden. Das Verbindungsband **16** kann aus Plastik oder Metall bestehen. Die Schichten **14** können jedes synthetisches oder organisches Material sein, einschließlich, aber nicht beschränkt auf, Tabak, Baumwolle, Papier, verarbeitetes Holz, Tee und synthetische Fasern. Für die Messung des Feuchtigkeitsgehalts des Ballens **12** kann der Ballen **12** in mindestens eine und vorzugsweise mehrere Flächen **7** unterteilt werden. Jede Fläche **7** enthält mindestens einen Messpunkt **18** und vorzugsweise mehrere Messpunkte **18**. An jedem Messpunkt **18** wird der Feuchtigkeitsgehalt dieses Abschnitts des Ballens **12** ermittelt (siehe [Fig. 2](#) unten).

[0028] [Fig. 1B](#) stellt ein Modul **10** dar, das ein Behälter **20** ist.

[0029] Anders als der Ballen **12** hat der Behälter **20** keine definierten Schichten. Der Behälter **20** kann jedoch in mindestens eine und vorzugsweise mehrere Flächen **22** unterteilt werden. Weiterhin kann jede Fläche **22** in mindestens einen und vorzugsweise mehrere Messpunkte **24** unterteilt werden. An jedem Messpunkt **24** wird der Feuchtigkeitsgehalt dieses Abschnitts des Behälters **20** ermittelt (siehe [Fig. 2](#) unten).

[0030] [Fig. 2](#) zeigt eine Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung **26** enthält eine Mikrowellen-Strahlungsquelle **28**, die auf einer Seite des Moduls **10** dargestellt ist. Die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** schließt vorzugsweise mindestens eine Quellenantenne **30** zum Senden eines Quellenstrahls **32** ein. Der Quellenstrahl **32** wird durch das Modul **10** geführt und verlässt das Modul **10** als Ausgangsstrahl **34**. Der Ausgangsstrahl **34** wird von mindestens einer Empfangsantenne **36** empfangen. Die Empfangsantenne **36** befindet sich auf einer Seite des Moduls **10**, die im Wesentlichen der Quellenantenne **30** gegenüberliegt.

[0031] Nachdem die Empfangsantenne **36** den Ausgangsstrahl **34** empfangen hat, produziert die Empfangsantenne **36** ein Antennen-Signal **38**. Das Antennen-Signal **38** geht dann an eine Dämpfungseinheit **40**. Die Dämpfungseinheit **40** schließt einen Dämpfungsmesser **42** ein, der die Dämpfung des Antennen-Signals **38** misst. Wenn der Quellenstrahl **32** durch das Modul **10** hindurchgeht, wird der Quellenstrahl **32** gedämpft. Der Grad dieser Dämpfung wird bestimmt durch die Elementar-Masse, die die Material-Masse des Moduls **10** ist, auf die der Quellenstrahl **32** trifft, und durch den Feuchtigkeitsgehalt des Materials des Moduls **10**, auf das der Quellenstrahl **32** trifft. Daher misst der Dämpfungsmesser **42** im Grunde das Ausmaß, in dem der Quellenstrahl **32** gedämpft wird, wenn er durch das Modul **10** hindurchgeht.

[0032] Mindestens ein Teil des Antennen-Signals **38** geht auch an einen Phasenverschiebungs-Bestimmer **44**, der die Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38** bestimmt. Diese Phasenverschiebung ist im Grunde die Phasenverschiebung, die dadurch verursacht wird, dass der Quellenstrahl **32** durch das Modul **10** hindurchgeht, so dass die Phasenverschiebung die Differenz zwischen der Phase des Quellenstrahls **32** und der Phase des Ausgangsstrahls **34** ist. Die Dämpfung und die Phasenverschiebung werden nach den folgenden Gleichungen ermittelt:

$$A = 8,68\alpha l$$

wobei l die Länge des Moduls **10** und α der Dämpfungsfaktor für das Modul **10** ist;

$$P = (\beta - \beta_0)l$$

wobei β und β_0 Phasenfaktoren für das Modul **10** bzw. für Luft sind.

[0033] Die Dämpfung und die Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38** werden dann von einem Feuchtigkeits-Bestimmer **46** benutzt, um den Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** zu ermitteln.

[0034] Der Feuchtigkeits-Bestimmer **46** verwendet die folgenden Gleichungen, um den Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** zu bestimmen. Bei diesen Gleichungen steht A für Dämpfung, P für Phasenverschiebung, W für Feuchtigkeitsgehalt und m für die Elementar-Masse des Moduls **10**. Die Gleichungen 1 und 2 werden integriert und liefern so die Gleichungen 3 und 4. Dann wird der Feuchtigkeitsgehalt W berechnet.

$$dA = \frac{\partial A}{\partial W} dW + \frac{\partial A}{\partial m} dm$$

$$dP = \frac{\partial P}{\partial W} dW + \frac{\partial P}{\partial m} dm$$

$$A = \frac{\partial A}{\partial W} W + \frac{\partial A}{\partial m} m$$

$$P = \frac{\partial P}{\partial W} W + \frac{\partial P}{\partial m} m$$

[0035] Eine Reihe von Funktionen können der Vorrichtung **26** hinzugefügt werden, um die Genauigkeit der Feuchtigkeitsmessungen zu erhöhen. Zum Beispiel schließt die Dämpfungseinheit **40** ein Dämpfungsglied **48** ein. Die Funktion des Dämpfungsglieds **48** besteht in der Dämpfung des Antennen-Signals **38**, so dass das Antennensignal **38** ein gedämpftes Antennen-Signal **50** wird. Ein Koppler **52** unterteilt dann das gedämpfte Antennen-Signal **38** in zwei Abschnitte. Ein erster Abschnitt des gedämpften Antennen-Signals **50** geht an den Phasenverschiebungs-Bestimmer **44**. Ein zweiter Abschnitt des gedämpften Antennen-Signals **50** geht vorzugsweise an den Dämpfungsmesser **42**. Der Dämpfungsmesser **42** ermittelt den Unterschied zwischen der Amplitude des gedämpften Antennensignals **50** und der Amplitude eines konstanten Bezugssignals. Der Unterschied zwischen diesen beiden Amplituden bestimmt das Ausmaß, in dem das Dämpfungsglied **48** das Antennen-Signal **38** dämpft, so dass die Dämpfung des Antennen-Signals **38** im Wesentlichen konstant bleibt. Solche Konstanz ist für den korrekten Betrieb des Phasenverschiebungs-Bestimmers **44**

(siehe unten) erforderlich.

[0036] Wie oben erwähnt, bestimmt der Phasenverschiebungs-Bestimmer **44** die Differenz oder Phasenverschiebung zwischen der Phase des Quellenstrahls **32** und der Phase des Ausgangsstrahls **34**. Der Phasenverschiebungs-Bestimmer **44** enthält vorzugsweise einen Mischer **56**, der ein Signal ausgibt, das proportional zu der Phasenverschiebung zwischen dem Quellenstrahl **32** und dem Ausgangsstrahl **34**, wie durch das Antennen-Signal **38** dargestellt, ist. Damit der Mischer **56** einen Abschnitt des Quellenstrahls **32** empfangen kann, schließt die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** vorzugsweise einen zweiten Koppler **58** ein, der den Quellenstrahl **32** in zwei Abschnitte unterteilen kann. Ein erster Abschnitt des Quellenstrahls **32** wird, wie oben beschrieben, durch das Modul **10** geführt. Ein zweiter Abschnitt des Quellenstrahls **32** wird zum Mischer **56** geführt.

[0037] Der Phasenverschiebungs-Bestimmer **44** schließt vorzugsweise auch einen Signal-Phasenverschiebungsmesser **60** ein. Der Signal-Phasenverschiebungsmesser **60** misst die Phasenverschiebung zwischen dem Quellenstrahl **32** und dem Ausgangsstrahl **34** von der Signalausgabe durch den Mischer **56**. Um die genauesten Feuchtigkeitsgehalts-Messungen zu erzielen, schließt der Phasenverschiebungsmesser **60** eine Anzahl von Funktionen ein, die dazu dienen, Ungenauigkeiten bei der Messung der Phasenverschiebung zu kompensieren. Diese Funktionen schließen einen Roh-Phasenverschiebungsmesser **62** ein, der die Roh-Phasenverschiebung ermittelt. Als nächstes bestimmt ein Phasenbereichs-Bestimmer **64** den Phasenbereich der Roh-Phasenverschiebung aus der Dämpfung des Antennen-Signals **38** und produziert eine korrekte Phasenverschiebung. Wie direkt am Quellenstrahl **32** und am Ausgangsstrahl **34** gemessen und durch das Antennen-Signal **38** dargestellt, kann die Phasenverschiebung nur von 0 bis 2π variieren. Die korrekte Phase liegt jedoch tatsächlich zwischen $2\pi(n-1)$ und $2\pi n$, was von 0 bis 2π , aber auch zum Beispiel von 4π bis 6π sein könnte. Deshalb muss der Phasen-Bereich oder Wert von n bestimmt werden. Eine solche Bestimmung wird mit Hilfe einer empirischen Phasen-Bereichskurve, wie in der [Fig. 4](#) unten dargestellt, durchgeführt, welche die Dämpfung des Antennen-Signals **38** zum Phasen-Bereich in Beziehung setzt. Die korrekte Phasenverschiebung wird dann an den Feuchtigkeits-Bestimmer **46** übergeben.

[0038] Damit die Phasenverschiebungsmessung genau ist, muss die Dämpfung des Antennen-Signals **38** im Wesentlichen konstant gehalten werden. Ansonsten wird der Vergleich zwischen dem Quellenstrahl **32** und dem Antennen-Signal **38** durch die Dämpfung des Antennen-Signals **38** verfälscht.

[0039] Wie oben erwähnt, bestimmt, sobald die

Phasenverschiebung und die Dämpfung gemessen wurden, ein Feuchtigkeits-Bestimmer **46** den Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10**. Der Feuchtigkeitsbestimmer **46** schließt vorzugsweise einen Temperatursensor **66** zur Messung der Temperatur des Moduls **10** ein. Die Art des Moduls **10** wird in den Feuchtigkeits-Bestimmer **46** vorzugsweise durch eine Modular-Eingabe **68** eingegeben. Die Art des Moduls **10** wird durch das Material des Moduls **10** und durch die Form des Moduls **10** bestimmt, zum Beispiel Ballen **12** oder Behälter **20**. Schließlich beinhaltet der Feuchtigkeits-Bestimmer **46** vorzugsweise einen Normalisierer **70**. Der Normalisierer **70** schließt vorzugsweise eine empirische Funktion **72** ein. Die empirische Funktion **72** bestimmt den Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** aus der Temperatur und Art des Moduls **10** und aus der oben berechneten Dämpfung und Phasenverschiebung.

[0040] In der obigen Beschreibung wurde die Messung des Feuchtigkeitsgehalts von Modul **10** so behandelt, als ob eine einzige Feuchtigkeitsmessung durchgeführt würde. Vorzugsweise werden jedoch mehrere solche Messungen durchgeführt und mit einem Mittelwerterzeuger **74** gemittelt. Wie in der [Fig. 1](#) beschrieben, kann der Ballen **12** in vorzugsweise mehrere Flächen **16** unterteilt werden. Jede Fläche **16** wird vorzugsweise in mehrere Messpunkte **18** unterteilt. An jedem Messpunkt **18** wird der Feuchtigkeitsgehalt dieses Abschnitts von Ballen **12** gemäß der obigen Beschreibung ermittelt, so dass mehrere Messungen durchgeführt und vom Mittelwerterzeuger **74** gemittelt werden. Eine ähnliche Behandlung kann beim Behälter **20**, Flächen **22** und Messpunkten **24** vorgenommen werden. Diese gemittelten Messungen werden dann vorzugsweise mit einer Eichkurve der Art verglichen, wie sie in der [Fig. 3](#) dargestellt ist, um den Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** zu ermitteln. Zur Erleichterung solcher Mehrfach-Messungen schließt die Vorrichtung **26** ein Fördermittel, wie zum Beispiel ein Förderband (nicht dargestellt) oder einen Lastwagen (nicht dargestellt, siehe [Fig. 6](#)) ein, um den Ballen **12** zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** und der Empfangsantenne **36** zu befördern.

[0041] Optional kann die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** auch eine zweite Quellenantenne **76** einschließen. Ebenfalls optional kann die Vorrichtung **26** auch eine zweite Empfangsantenne **78** einschließen. Optional steuert ein Oszillator **80** einen ersten Schalter **82** und einen zweiten Schalter **84**. Mit diesen optionalen Elementen wird der Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** in zwei Teilen gemessen, wenn das Modul **10** für eine einzige Messung zu groß ist. Zunächst kippt der Oszillator **80** den ersten Schalter **82**, so dass die erste Quellenantenne **30** den Quellenstrahl **32** lenkt, und den zweiten Schalter **84**, so dass die erste Empfangsantenne **36** das Antennen-Signal **38** erzeugt. Diese spezielle Konfiguration ist in [Fig. 2](#)

dargestellt und wird dazu verwendet, den Feuchtigkeitsgehalt des unteren Abschnitts des Moduls **10** zu messen. Danach kippt der Oszillator **80** den ersten Schalter **82** so, dass die zweite Quellenantenne **78** den Quellenstrahl **32** lenkt. Der Oszillator **80** kippt auch den zweiten Schalter **84** so, dass die zweite Empfangsantenne **78** das Antennen-Signal **38** erzeugt. Jetzt wird der Feuchtigkeitsgehalt des oberen Abschnitts des Moduls **10** gemessen.

[0042] Die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** schließt auch eine Anzahl von Elementen ein, die dazu dienen, die Empfindlichkeit der Feuchtigkeitsgehalts-Messungen durch Beeinflussung der Richtung der Dichte des elektrischen Felds des Quellenstrahls **32** zu maximieren (siehe auch [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#)). Die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** schließt einen Direktor **86** für das elektrische Feld ein. Der Direktor **86** für das elektrische Feld bestimmt eine Richtung der Dichte des elektrischen Felds des Quellenstrahls **32** im Verhältnis zum Modul **10**, so dass die Richtung der Dichte des elektrischen Felds die Stärke der Dämpfung und die Stärke der Phasenverschiebung teilweise bestimmt. Wenn das Modul **10** Schichten **14** (nicht dargestellt) hat, werden die im Wesentlichen maximale Dämpfung und im Wesentlichen maximale Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38** dann erzielt, wenn die Dichte des elektrischen Felds im Wesentlichen rechtwinklig zu den Schichten **14** (nicht dargestellt) des Moduls **10** ist. Wenn die Dichte des elektrischen Felds im Wesentlichen parallel zu den Schichten **14** (nicht dargestellt) des Moduls **10** ist, werden die im Wesentlichen minimale Dämpfung und minimale Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38** erzielt. Selbst wenn das Modul **10** keine Schichten **14** hat, ändert eine Richtungsänderung der Dichte des elektrischen Felds dennoch die Dämpfung und Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38**, je nach Ausrichtung des gemessenen Materials in Relation zu der Dichte des elektrischen Felds. Der Direktor **86** des elektrischen Felds bestimmt die Richtung der Dichte des elektrischen Felds nach der Rückmeldung von dem Dämpfungsmesser **42**. Wenn also die Dämpfung des Antennen-Signals **38** gering ist, kann der Direktor **86** des elektrischen Felds die Richtung der Dichte des elektrischen Felds verändern, um zu kompensieren. Dies hat eindeutig offensichtliche Vorteile bei der Maximierung der Empfindlichkeit und Genauigkeit der Feuchtigkeitsmessungen.

[0043] [Fig. 3](#) zeigt ein Anschauungsbeispiel einer Eichkurve **88**, die das Verhältnis zwischen Dämpfung in dB auf der Y-Achse und Feuchtigkeitsgehalt als Prozentsatz auf der X-Achse anzeigt. Jede Eichkurve **88** wird empirisch für jede Art von Modul **10** (zum Beispiel Ballen oder Behälter) und für jede Art von Material (zum Beispiel Baumwolle oder Tabak) bestimmt. Der Feuchtigkeitsgehalt des Moduls **10** wird dann aus der Eichkurve **88** ermittelt. Eine vollständigere

Beschreibung dieser Kurven und ihrer Herleitung ist in "Theoretical and Experimental Investigation of Microwave Moisture Measurement of Materials" von A. Greenwald, FAN, Usbekistan, 1982, zu finden.

[0044] [Fig. 4A](#) zeigt einen Graph einer Phasenbereichskurve **90** wie oben erwähnt. Die Phasenbereichskurve **90** ist eine empirische Kurve der Dämpfung des Antennen-Signals **38** auf der X-Achse und des Phasenbereichs auf der Y-Achse. Wenn zum Beispiel die Dämpfung gleich A_1 ist, zeigt die Phasenbereichskurve **90**, dass der Phasenbereich zwischen 0 und 2π liegt. Für jedes Material und jede Art von Modul **10** müssen andere Phasenbereichskurven bestimmt werden.

[0045] Zur Verwendung dieser Kurve werden die Dämpfung und die Phasenverschiebung des Antennen-Signals **38** vorzugsweise gemessen, wenn das Modul **10** zwischen der Quellenantenne **30** und der Empfangsantenne **36** befördert wird. Zum Beispiel könnte eine erste Messung durchgeführt werden, bevor die Vorderseite des Moduls **10** in den Bereich zwischen Quellenantenne **30** und Empfangsantenne **36** eintritt, eine zweite Messung könnte durchgeführt werden, während die Vorderseite des Moduls **10** in diesen Bereich eintritt und eine dritte Messung könnte durchgeführt werden, wenn das Modul **10** zwischen der Quellenantenne **30** und der Empfangsantenne **36** ausgerichtet ist. Die Beziehung zwischen diesen Mehrfach-Messungen und dem Phasenbereich ist in [Fig. 4B](#) dargestellt. Oben befindet sich ein Diagramm des Moduls **10**, wie es zwischen der Quellenantenne **30** und der Empfangsantenne **36** befördert wird. Unten befindet sich ein Graph der Beziehung zwischen der zunehmenden Dämpfung, während das Modul **10** zwischen der Quellenantenne **30** und der Empfangsantenne **36** ausgerichtet wird, und der Phasenverschiebung, die auf der empirischen Phasenbereichskurve **90** der [Fig. 4A](#) basiert. Während die Phasenverschiebung zwischen 0 bis 2π sich periodisch wiederholt, während das Modul **10** zwischen der Quellenantenne **30** und der Empfangsantenne **36** befördert wird, können die Anzahl der Zyklen gezählt und der Phasenbereich bestimmt werden.

[0046] Die [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#) verdeutlichen die Beziehung zwischen der Richtung der Dichte des elektrischen Felds des Quellenstrahls im Verhältnis zum Modul und der Dämpfung und Phasenverschiebung des Antennen-Signals. [Fig. 5A](#) zeigt eine Dichte des elektrischen Felds **92** und eine Dichte des Magnetfelds **94**. Die Dichte des elektrischen Felds **92** ist rechtwinklig zu Schichten **14** des Moduls **10**. In [Fig. 5B](#) wurde die Dichte des elektrischen Felds **92** um ungefähr 45° gedreht. In der [Fig. 5C](#) wurde die Dichte des elektrischen Felds **92** um ungefähr 90° im Vergleich zur [Fig. 5A](#) gedreht. Nun ist die Dichte des elektrischen Felds **92** parallel zu Schichten **14** des

Moduls **10**. Die [Fig. 5D](#) bis [Fig. 5F](#) zeigen die Auswirkung dieser Verschiebungen in der Richtung der Dichte des elektrischen Felds **92** auf die Dämpfung **96** und die Phasenverschiebung **98** des Antennen-Signals **38** an. In der [Fig. 5D](#) befinden sich sowohl die Dämpfung **96** als auch die Phasenverschiebung **98** des Antennen-Signals **38** im Wesentlichen auf einem Minimum, da die Dichte des elektrischen Felds **92** rechtwinklig zu den Schichten **14** ist, wie in der [Fig. 5A](#) dargestellt. In der [Fig. 5E](#) haben sich sowohl die Dämpfung **96** als auch die Phasenverschiebung **98** des Antennen-Signals **38** auf Grund der Rotation der Dichte des elektrischen Felds **92**, wie in der [Fig. 5B](#) dargestellt, verstärkt. In der [Fig. 5F](#) schließlich befinden sich sowohl die Dämpfung **96** als auch die Phasenverschiebung **98** des Antennen-Signals **38** im Wesentlichen auf einem Maximum, da die Dichte des elektrischen Felds **92** parallel zu den Schichten **14** ist, wie in [Fig. 5C](#) dargestellt.

[0047] Optional kann die Vorrichtung **26** auf einem Lastwagen **100** angebracht werden, wie in der [Fig. 6](#) dargestellt. Sowohl die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** als auch die Empfangsantenne **36** werden auf dem Lastwagen **100** angebracht. Der Lastwagen **100** fährt dann am Modul **10** vorbei, so dass das Modul **10** zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** und der Empfangsantenne **36** hindurch bewegt wird. Auf diese Art können beim Modul **10** mehrere Feuchtigkeitsmessungen durchgeführt und gemittelt werden, wie oben beschrieben.

[0048] Die [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) stellen Vorrichtungen dar, die keine Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind. [Fig. 7A](#) ist eine schematische Darstellung einer anderen Vorrichtung **26**, ähnlich derjenigen, die in der [Fig. 2](#) dargestellt ist, außer dass die Empfangsantenne **36** vorzugsweise eine zirkular polarisierte Antenne ist. Weiterhin befördert ein Fördermittel **102**, wie zum Beispiel ein Förderband, das Modul **10**, hier als Ballen **12** dargestellt, zwischen der Quelle der Mikrowellenstrahlung **28** und der Empfangsantenne **36**, so dass der Quellenstrahl **32** durch einen Abschnitt des Ballens **12** hindurchgeht und als Ausgangsstrahl **34** aus dem Ballen **12** austritt. Da das Fördermittel **102** das Modul **10** befördert, kann der Quellenstrahl **32** durch mehrere Abschnitte des Ballens **12** hindurchgehen. Wenn sich daher entlang des Ballens **12i** solche Abschnitte befinden, können in Feuchtigkeitsmessungen vorgenommen werden. Der Ausgangsstrahl **34** wird von der Empfangsantenne **36** empfangen, die dann ein Antennen-Signal **38** produziert.

[0049] In dieser Vorrichtung wird dann das Antennen-Signal **38** von einem Ballen-Ausrichtungs-Bestimmer **104** untersucht. Der Ballen-Ausrichtungs-Bestimmer **104** bestimmt dann die Ausrichtung des Ballens **12**, im Verhältnis zum Quellenstrahl **32** und zur Empfangsantenne **36**. Der Ballen-Ausrich-

tungs-Bestimmer **104** schließt einen Durchgangs-Bestimmer **106** für die Vorderseite, einen Zeitgeber **108** und einen Durchgangs-Bestimmer **110** für die Rückseite ein. Der Durchgangs-Bestimmer für die Vorderseite **106** ermittelt, wann eine Vorderseite des Ballens **12** die Strahlungsquelle **28** passiert hat, und erzeugt ein Durchgangssignal für die Vorderseite. Der Zeitgeber **108** empfängt das Durchgangssignal für die Vorderseite und erzeugt ein Ausrichtungssignal, so dass das Ausrichtungssignal produziert wird, wenn der Ballen **12** korrekt zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** und der Empfangsantenne **36** ausgerichtet ist. Der Durchgangs-Bestimmer **110** für die Rückseite bestimmt, wann die Rückseite des Ballens **12** die Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** passiert, und produziert ein Durchgangssignal für die Rückseite.

[0050] Ein Feuchtigkeits-Bestimmer **112** bestimmt dann den Feuchtigkeitsgehalt des Ballens **12** aus dem Ausrichtungssignal. Der Feuchtigkeits-Bestimmer **112** schließt einen Hintergrund-Feuchtigkeitsgehaltmesser **114** ein, der den Hintergrund-Feuchtigkeitsgehalt des Antennen-Signals **38** misst, nachdem er das Durchgangssignal für die Rückseite empfangen hat. Dieser Hintergrund-Feuchtigkeitsgehalt schließt sowohl den Umgebungs-Feuchtigkeitsgehalt ein, vom Durchgang des Quellenstrahls **32** durch die Luft, als auch Verfälschungen, die von der Vorrichtung **26** selbst verursacht werden, wie zum Beispiel einen Ausrichtungsfehler des Quellenstrahls **32** im Verhältnis zum Ballen **12** und eine Bewegung der Empfangsantenne **36** aus der korrekten Position gegenüber dem Ballen **12**. Der Feuchtigkeits-Bestimmer **112** beinhaltet auch einen Filter **116** zum Erzeugen eines korrigierten Signals durch Entfernen des Hintergrund-Feuchtigkeitsgehalts aus dem Ausrichtungssignal.

[0051] Vorzugsweise schließt der Feuchtigkeits-Bestimmer **112** auch einen Befestigungsband-Entstörer **118** ein. Wenn der Quellenstrahl **32** auf ein Befestigungsband **16** trifft, während der Quellenstrahl **32** durch den Ballen **12** dringt, kann das Antennen-Signal **38** beeinflusst werden, was zu einer fehlerhaften Feuchtigkeitsmessung führen kann. Der Befestigungsband-Entstörer **118** entfernt alle solchen Effekte aus dem korrigierten Signal und erzeugt ein weiter korrigiertes Signal. Dieses korrigierte Signal geht dann vorzugsweise an einen Normalisierer **120**. Der Normalisierer **120** kompensiert Effekte, die durch Temperatur, Masse und Länge des Ballens **12** verursacht wurden, und normalisiert so das korrigierte Signal. Eine solche Normalisierung wird mit folgenden Gleichungen durchgeführt:

W_{x_i} = die i. Feuchtigkeitsmessung im X-Kanal,
 W_{y_i} = die i. Feuchtigkeitsmessung im Y-Kanal,
 W_0 = die Nominalmasse des Ballens ≈ 250 kg,
 W_c = die tatsächlich gemessene Masse des Ballens,
 L_0 = die Nominallänge der Schichten, gemessen ent-

lang der Breite des Ballens,

L_c = die tatsächliche Länge der Schichten, gemessen entlang der Breite des Ballens,

T_0 = die Grundtemperatur der Baumwollfasern (35°C) und

T_c = die Temperatur der Baumwollfasern in der aktuellen Scheibe; es kann gezeigt werden, dass:

$$W_{x_i}^I = \frac{T_0 - T_c}{10} + W_{x_i}$$

$$W_{y_i}^I = \frac{T_0 - T_c}{10} + W_{y_i}$$

$$W_{x_i}^{II} = W_{x_i} \left(\frac{W_0}{W_c} \right)$$

$$W_{y_i}^{II} = W_{y_i} \left(\frac{W_0}{W_c} \right)$$

$$W_{x_i}^{III} = W_{x_i} \left(\frac{L_0}{L_c} \right)$$

$$W_{y_i}^{III} = W_{y_i} \left(\frac{L_0}{L_c} \right)$$

[0052] Schließlich geht das normalisierte Signal vorzugsweise an eine Durchschnitts-Feuchtigkeits-einheit **122**, die den Feuchtigkeitsgehalt des Ballens **12** bestimmt. Vorzugsweise berechnet die Durchschnitts-Feuchtigkeits-einheit **122** den Durchschnitts-Feuchtigkeitsgehalt des Ballens **12** für alle i Messungen von i Abschnitten des Ballens **12**.

[0053] Die Empfangsantenne **36** kann optional einen Amplituden-Bestimmer **124** und einen Dämpfungs-Bestimmer **126** einschließen. Der Amplituden-Bestimmer **124** bestimmt eine Amplitude des Ausgangsstrahls **34**. Der Dämpfungs-Bestimmer **126** erzeugt dann ein gedämpftes Signal, indem er eine Dämpfung des Ausgangsstrahls **34** anhand der Amplitude des Ausgangsstrahls **34** bestimmt. Das gedämpfte Antennen-Signal wird dann auf ähnliche Art verarbeitet wie das Antennen-Signal **38**.

[0054] In der Vorrichtung, die in der [Fig. 7B](#) dargestellt ist, ist der Quellenstrahl **32** zirkular polarisiert und der Ausgangsstrahl **34** hat zwei Komponenten, die rechtwinklig zueinander angeordnet sind. Eine dieser Komponenten liegt in der Richtung der X-Ach-

se und eine Komponente liegt in der Richtung der Y-Achse. Zur besseren Übersichtlichkeit zeigt [Fig. 7C](#) eine Teildarstellung der Vorrichtung **26** nach [Fig. 7B](#), mit gekennzeichneten X-, Y- und Z-Achsen.

[0055] Wieder unter Bezugnahme auf die [Fig. 7B](#) wird jede Komponente von einer von zwei linear polarisierten Mikrowellen-Empfangsantennen **128** bzw. **130** empfangen. Jede rechtwinklig angeordnete Komponente wird separat verarbeitet, ähnlich der obigen Beschreibung in [Fig. 7A](#), so dass es zwei Ballen-Ausrichtungs-Bestimmer **104** und **132** gibt. Der Feuchtigkeits-Bestimmer **112** hat zwei Filter **116** und **134** zum Entfernen der Hintergrund-Feuchtigkeitskomponente und zum Erzeugen eines korrigierten Signals. Vorzugsweise produzieren zwei digitale Abtaster **136** und **138** dann ein digitales Signal aus jeder Komponente des korrigierten Signals. Es gibt vorzugsweise auch einen Komponentenfeuchtigkeits-Rechner **140**, der dann einen Feuchtigkeitsgehalt jeder rechtwinklig angeordneten Komponente des digitalisierten Signals berechnet.

[0056] Vorzugsweise hat der Feuchtigkeits-Bestimmer **112** auch eine Verhältnis-Bestimmungseinheit **142**, zur Bestimmung eines Verhältnisses jedes Feuchtigkeitsgehalts, der vom Komponentenfeuchtigkeits-Rechner **140** berechnet wird, nach den folgenden Gleichungen:

$$W_{ix(\text{meas})} = W_{ix} \cos \beta + W_{iy} \sin \beta$$

$$W_{iy(\text{meas})} = W_{ix} \sin \beta + W_{iy} \cos \beta$$

$$K = \frac{W_{ix}}{W_{iy}}$$

wobei:

$W_{ix(\text{meas})}$ = gemessener Feuchtigkeitsgehalt in der X-Richtung für die i. Fläche,

$W_{iy(\text{meas})}$ = gemessener Feuchtigkeitsgehalt in der Y-Richtung für die i. Fläche,

W_{ix} = maximaler Feuchtigkeitsgehalt der i. Fläche in der X-Richtung,

W_{iy} = maximaler Feuchtigkeitsgehalt der i. Fläche in der Y-Richtung,

β = der Neigungswinkel der Schichten zur X-Richtung,

K = das Verhältnis der maximalen Feuchtigkeitswerte in der X- und der Y-Richtung und

α_i = das gemessene Verhältnis $W_{ix(\text{meas})} \cdot W_{iy(\text{meas})}$

[0057] Ein Komparator **144** vergleicht dann das Verhältnis mit der vordefinierten Konstante K, die bestimmt wird, wenn Schichten im Ballen **12** im Wesentlichen parallel sind. Wenn das Verhältnis im Wesentlichen gleich K ist, bestimmt ein Feuchtigkeits-Bestimmer für parallele Schichten **146** den Feuchtig-

keitsgehalt des Ballens **12**. Sonst bestimmt ein Feuchtigkeits-Bestimmer für nicht parallele Schichten **148** den Feuchtigkeitsgehalt des Ballens **12**, wenn das Verhältnis im Wesentlichen nicht gleich der vordefinierten Konstante K ist.

[0058] Der Feuchtigkeits-Bestimmer für nicht parallele Schichten **148** bestimmt den Feuchtigkeitsgehalt des Ballens **12** vorzugsweise mit Hilfe einer empirischen Funktion

$$W = W_y + 3.2 \times 10^{-2} \left(\frac{\alpha - 1}{K} \right)$$

wobei W der Feuchtigkeitsgehalt des Signals, W_y der Feuchtigkeitsgehalt einer der rechtwinklig angeordneten Komponenten, die durch den Ballen **12** in einer Richtung senkrecht zu den Schichten durchgegangen sind, α das Verhältnis und K die vordefinierte Konstante ist.

[0059] [Fig. 8](#) stellt das Verhalten des Antennen-Signals der Vorrichtung der [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) dar. Das Antennen-Signal **38** startet bei einem allgemein niedrigen Störrauschpegel **150**, der zu einem Zeitpunkt T_0 , wenn der Ballen **12** (nicht dargestellt) in den Bereich zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** (nicht dargestellt) und der Empfangsantenne **36** (nicht dargestellt) eintritt, zu einem anfänglich höheren Pegel **152** ansteigt. Das Antennen-Signal **38** erreicht dann eine erste Störrauschspitze **154**, während des Zeitintervalls T_1 , auf Grund von Seitendurchgangseffekten, die vom Durchgang der Vorderseite des Ballens **12** zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** (nicht dargestellt) und der Empfangsantenne **36** (nicht dargestellt) verursacht werden. Während dieser Zeit geht ein erster Abschnitt des Quellenstrahls **32** durch den Ballen **12** (nicht dargestellt) hindurch und einer zweiter Abschnitt tut dies nicht, wodurch diese Seitendurchgangseffekte verursacht werden.

[0060] Sobald der Ballen **12** (nicht dargestellt) korrekt zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** (nicht dargestellt) und der Empfangsantenne **36** (nicht dargestellt) ausgerichtet ist, zum Beispiel wie in den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#), geht das Antennen-Signal **38** während des Zeitabschnitts T_2 auf einen stetigen Pegel **156** und bleibt während dieses Zeitabschnitts im Wesentlichen konstant, abgesehen von Fluktuationen auf Grund von lokalen Inhomogenitäten im Feuchtigkeitsgehalt und in der Struktur des Ballens **12**. Während des Zeitabschnitts T_2 wird das Ausrichtungssignal erzeugt, und alle Feuchtigkeitsmessungen des Ballens **12** werden vorgenommen. Zum Zeitpunkt T_3 beginnt sich die Rückseite des Ballens **12** (nicht dargestellt) zwischen der Mikrowellen-Strahlungsquelle **28** (nicht dargestellt) und der Empfangsantenne **36** (nicht dargestellt) hindurch zu bewegen

und verursacht so eine zweite Störrauschspitze **158**, erneut auf Grund von Seitendurchgangseffekten, die von der Rückseite des Ballens **12** verursacht werden.

[0061] Obwohl die Erfindung im Hinblick auf eine begrenzte Anzahl von Ausführungsformen beschrieben wurde, wird erkannt, dass zahlreiche Variationen, Modifikationen und andere Anwendungen der Erfindung innerhalb des Schutzzumfangs der beigefügten Ansprüche durchgeführt werden können.

Patentansprüche

1. Eine Vorrichtung zur Messung des Feuchtigkeitsgehalts eines Moduls (**10**) aus Material, wobei das Modul (**10**) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Ballen und Behältern, wobei die Vorrichtung folgendes umfasst:

(a) eine Quelle (**30, 76**) von Mikrowellenstrahlung für die Erzeugung eines Mikrowellenstrahlung-Quellenstrahls (**32**), wobei mindestens ein Abschnitt der Quelle (**30, 76**) an einer Seite des Moduls (**10**) angeordnet ist, so dass mindestens ein Abschnitt des Quellenstrahls (**32**) in der Lage ist, im Wesentlichen vollständig durch einen Abschnitt des Moduls (**10**) hindurchzuleiten, um einen hindurchgeleiteten Quellenstrahl zu bilden;

(b) mindestens eine Mikrowellen-Empfangsantenne (**36, 78**), die an einer gegenüberliegenden Seite des Moduls (**10**) angeordnet ist, wobei die Empfangsantenne (**36, 78**) räumlich von der Quelle (**30, 76**) getrennt ist, so dass der Quellenstrahl (**32**) auf einem Weg laufen muss, der gewählt ist, aus der Gruppe bestehend aus durch das Modul (**10**) und quer durch das Modul (**10**), wobei die Empfangsantenne (**36, 78**) einen Ausgangsstrahl (**34**) empfängt und wobei die Empfangsantenne (**36, 78**) ein Antennen-Signal (**38**) erzeugt, wobei der Ausgangsstrahl (**34**) der Quellenstrahl (**32**) ist, nach einem Übergang von der Quelle (**30, 76**) zur Empfangsantenne (**36, 78**), so dass mindestens ein Abschnitt des Ausgangsstrahls (**34**) der hindurchgeleitete Quellenstrahl ist;

(c) ein Fördermittel zur Förderung des Moduls (**10**) zwischen der Quelle (**30, 76**) und der Empfangsantenne (**36, 78**), so dass eine Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**), eine Vielzahl von Quellenstrahlen (**32**) und eine Vielzahl von Ausgangsstrahlen (**34**) erzeugt werden;

(d) eine Dämpfungseinheit (**40**) zum Empfangen eines ersten Abschnitts eines jeden der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**) und für die Messung einer Dämpfung eines jeden der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**), wobei die Dämpfungseinheit (**40**) folgendes umfasst:

(i) einen Dämpfungsmesser (**42**) für die Messung einer Amplitude des Antennen-Signals, für den Vergleich der Dämpfung mit einer Amplitude eines Referenzsignals einer konstanten Amplitude, und für die Bestimmung einer Differenz zwischen der konstanten Amplitude des Referenzsignals und der Amplitude

des Antennensignals (**38**); und

(ii) ein Dämpfungsglied (**48**) zur Dämpfung des Antennensignals (**38**) gemäß der Differenz;

(e) einen Phasenverschiebungs-Bestimmer (**44**) für den Empfang eines Abschnitts eines jeden der Vielzahl von Quellenstrahlen (**32**) und eines zweiten Abschnitts eines jeden der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**) und für die Bestimmung einer Phasenverschiebung zwischen jedem der Vielzahl von Quellenstrahlen (**32**) und jedem der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**), wobei der Phasenverschiebungs-Bestimmer (**44**) folgendes umfasst:

(i) einen Anfangsphasenverschiebungsmesser (**62**) zur Bestimmung einer Anfangsphase von jedem der Vielzahl von Quellenstrahlen (**32**) und jedem der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**); und

(ii) einen Phasenbereichs-Bestimmer (**64**) zur Bestimmung eines Phasenbereichs der Anfangsphasenverschiebung von der Dämpfung von jedem der Vielzahl von Antennen-Signalen (**38**) und von einer empirischen Kurve, die für die Struktur des Moduls (**10**) und für die Art von Material bestimmt wird, wobei die empirische Kurve (**90**) eine Beziehung zwischen der Dämpfung und dem Phasenbereich zeigt, wobei der Phasenbereich einen Wert in einem Bereich von $2\pi(n - 1)$ bis $2\pi n$ besitzt, wobei n durch Zählung einer Anzahl von Zyklen der Anfangsphasenverschiebung bestimmt wird, wenn das Modul zwischen der Quellenantenne (**30, 76**) und der Empfangsantenne (**36, 78**) befördert wird, so dass der Phasenbereichs-Bestimmer (**44**) in der Lage ist, eine korrigierte Phasenverschiebung gemäß dem Wert von n zu erzeugen;

(f) einen Feuchtigkeits-Bestimmer (**46**) zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts des Moduls von der korrigierten Phasenverschiebung und der Dämpfung; und

(g) einen Direktor (**86**) für das elektrische Feld für die Bestimmung einer Richtung einer Dichte des elektrischen Felds des Quellenstrahls (**32**) relativ zum Modul (**10**) gemäß zur Rückkopplung vom Dämpfungsmesser (**42**), und für die Änderung der Richtung der Dichte des elektrischen Felds, um die niedrige Dämpfung des Antennen-Signals (**38**) zu kompensieren.

2. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin:

(a) die Mikrowellen-Strahlungsquelle (**30, 76**) weiter folgendes einschließt:

(i) eine erste Quellenantenne (**30**) zur Erzeugung und Bündelung des Quellenstrahls (**32**), so dass der Quellenstrahl (**32**) durch einen unteren Abschnitt des Moduls (**10**) hindurchgeht;

(ii) eine zweite Quellenantenne (**76**) zur Erzeugung und Bündelung des Quellenstrahls (**32**), so dass der Quellenstrahl (**32**) durch einen oberen Abschnitt des Moduls (**10**) hindurchgeht; und

(b) wobei die mindestens eine Empfangsantenne (**36, 78**) eine erste Empfangsantenne (**36**) und eine zweite Empfangsantenne (**78**) ist, und wobei die erste und zweite Empfangsantenne (**36, 78**) einen

Schalter (84) einschließen, so dass die erste Empfangsantenne (36) das Antennen-Signal (38) erzeugt, wenn die erste Quellenantenne (30) den Quellenstrahl (32) erzeugt und bündelt, und wobei die zweite Empfangsantenne (78) das Antennen-Signal (38) erzeugt, wenn die zweite Quellenantenne (76) den Quellenstrahl (32) erzeugt und bündelt.

3. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin der Feuchtigkeits-Bestimmer weiterhin folgendes einschließt:

- (a) einen Temperatursensor (66) zur Bestimmung einer Temperatur des Moduls (10);
- (b) eine Modulareingabe (68) zur Eingabe einer Modulareingabe (10); und
- (c) einen Normalisierer (70) zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts aus der Temperatur, der Art und der korrigierten Phasenverschiebung und der Dämpfung.

4. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, die weiterhin einen Mittelwertgeber (74) zur Mittlung der mehreren Feuchtigkeitsmessungen einschließt.

5. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin das Material in dem Modul eine im Wesentlichen unregelmäßige Struktur besitzt.

6. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin das Modul ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Ballen und Behältern, und die Struktur des Materials im Wesentlichen unregelmäßig ist.

7. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin das Modul der Ballen ist und das Material gewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Tabak, Baumwolle, Papier, verarbeitetes Holz, Tee und synthetischen Fasern.

8. Die Vorrichtung nach Anspruch 1, worin das Modul der Behälter ist und das Material gewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Baumwolle, Tabak, Papier, verarbeitetes Holz, Tee und synthetischen Fasern.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

FIG. 1A

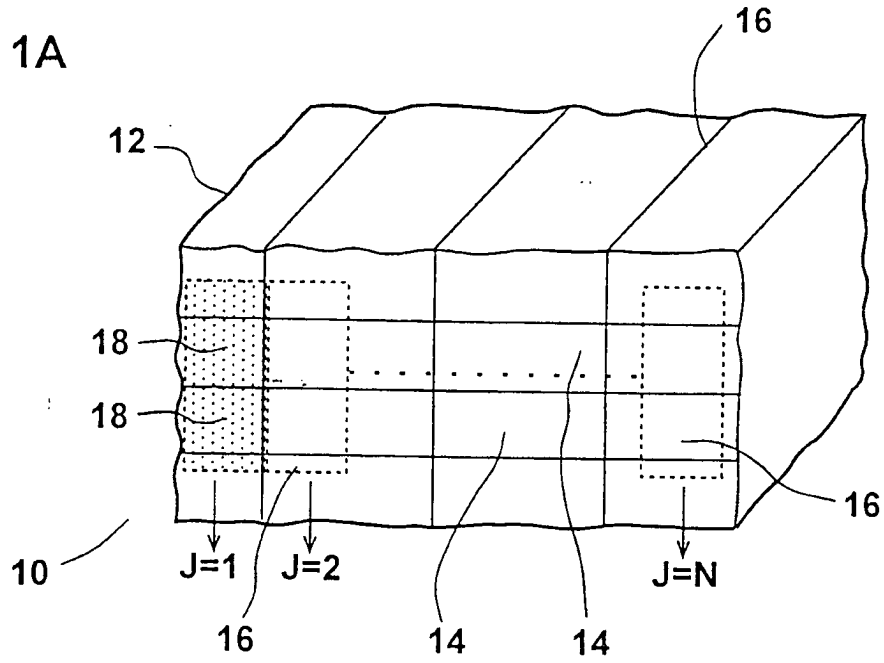
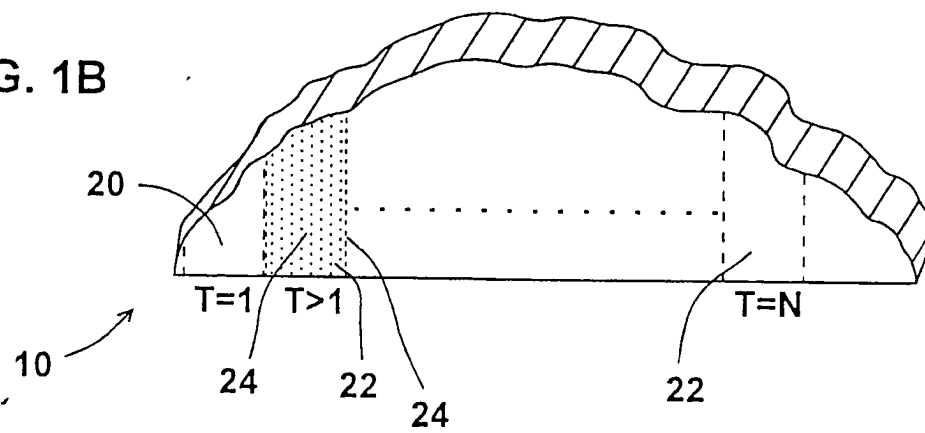


FIG. 1B



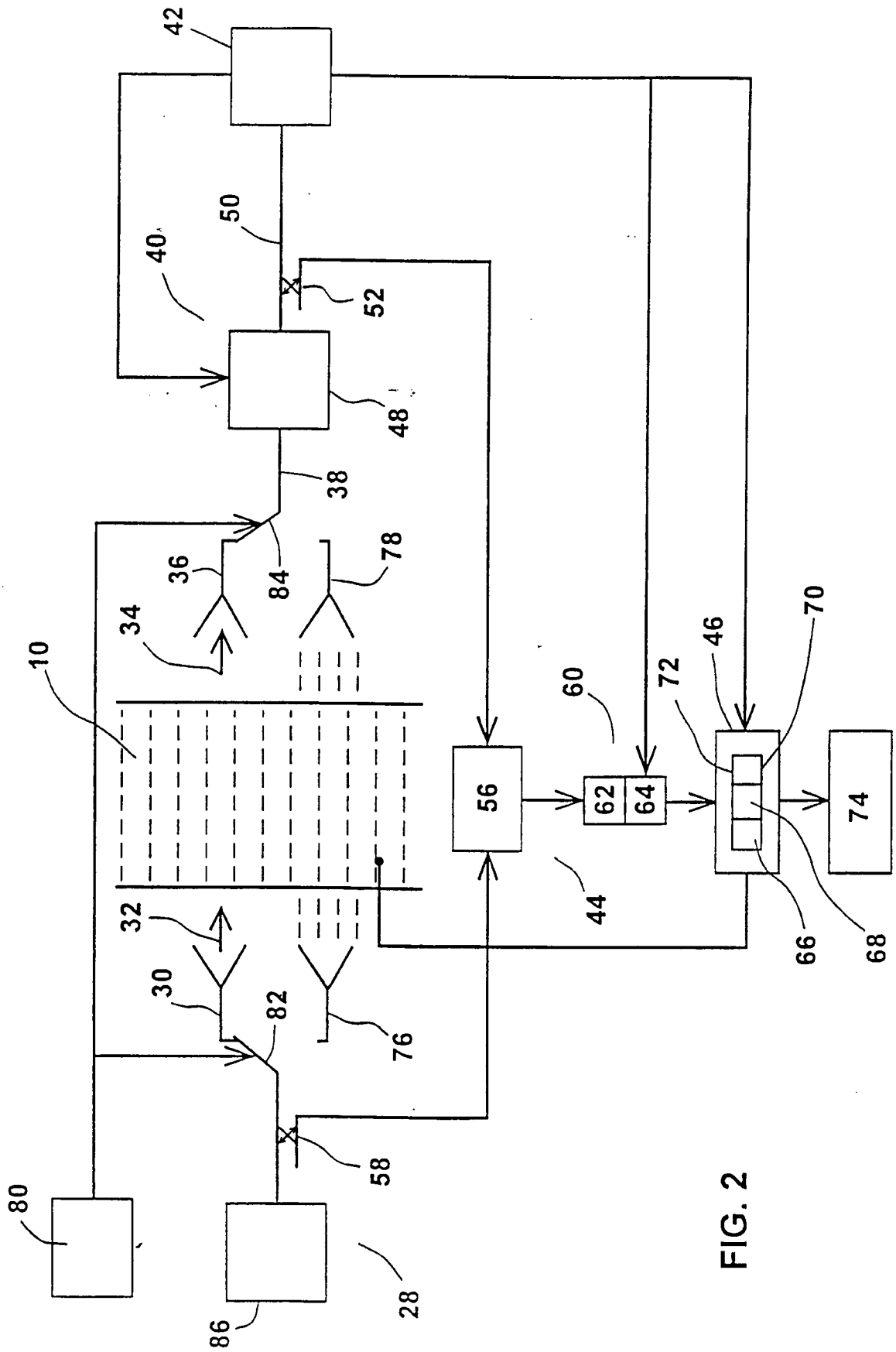


FIG. 2

FIG. 3

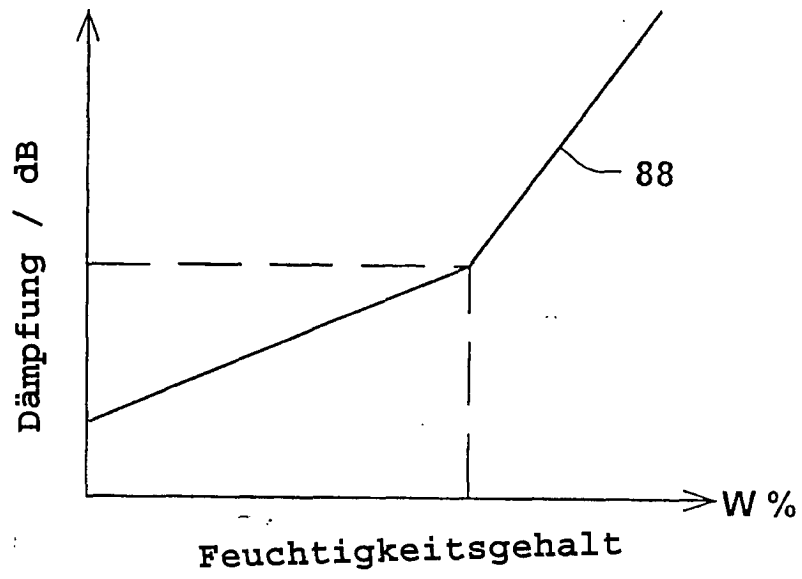


FIG. 4A

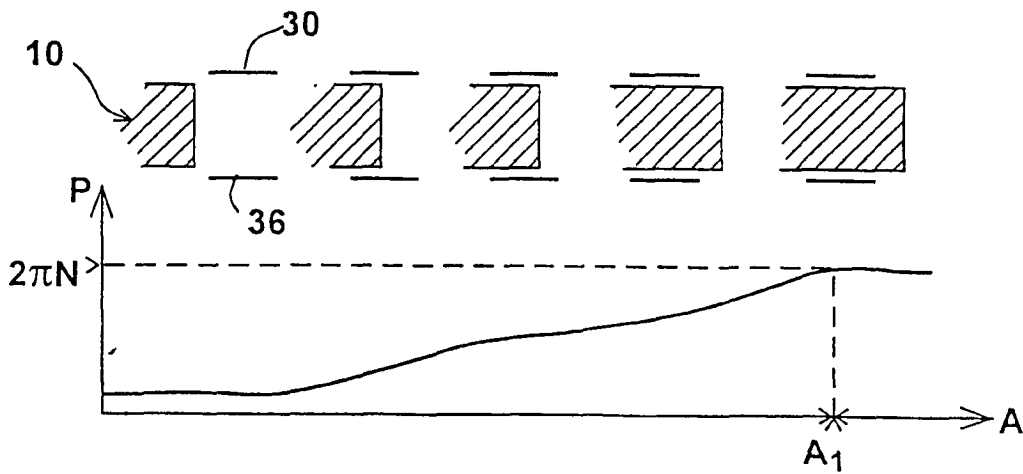
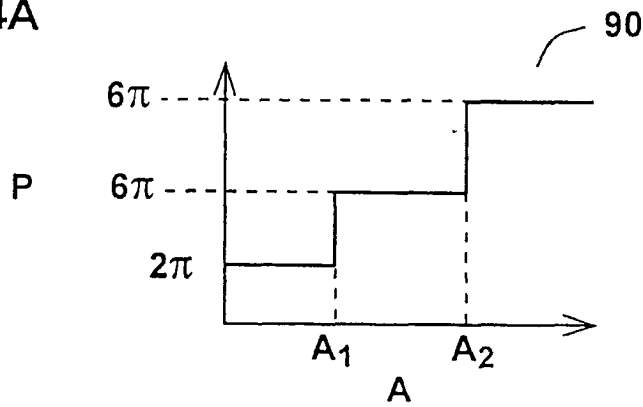


FIG. 4B

FIG. 5C

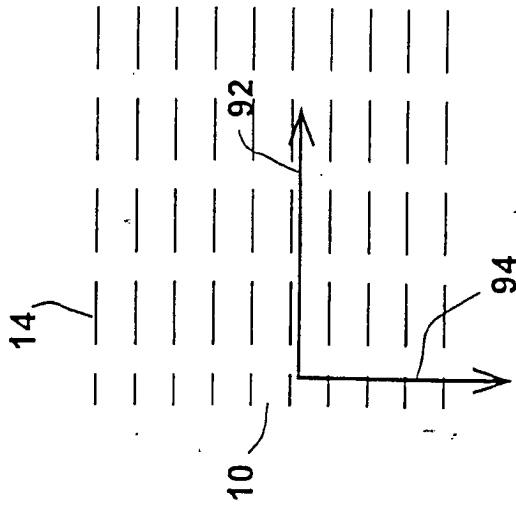


FIG. 5B

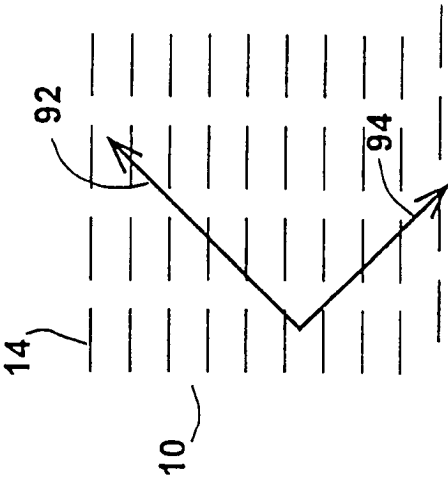


FIG. 5A

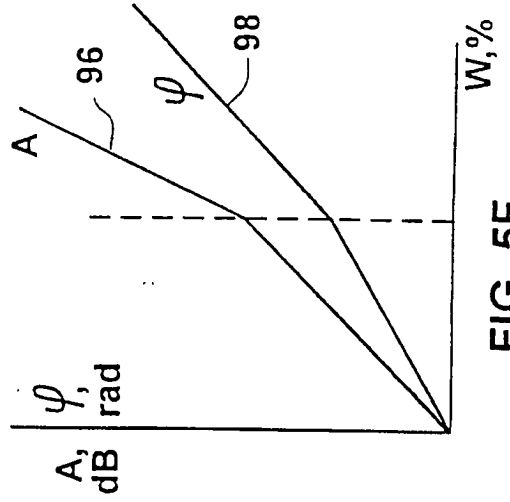
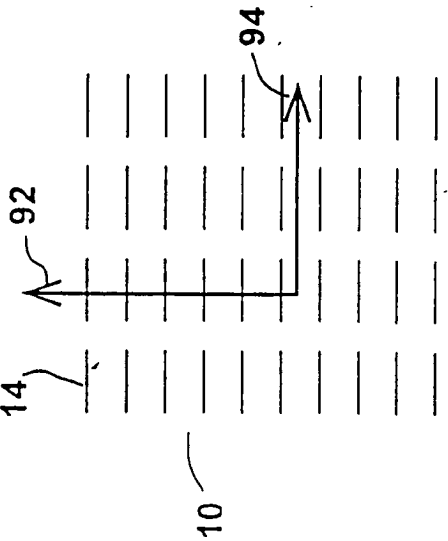


FIG. 5F

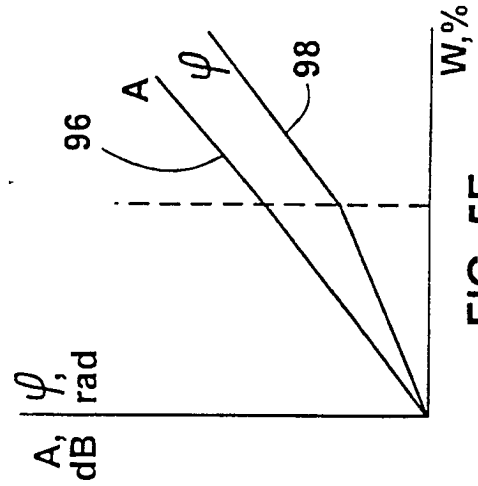


FIG. 5E

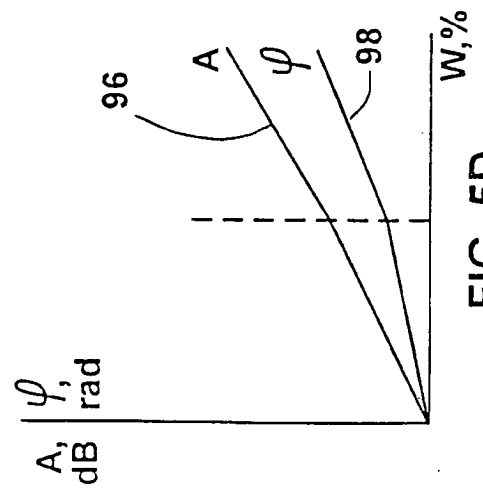


FIG. 5D

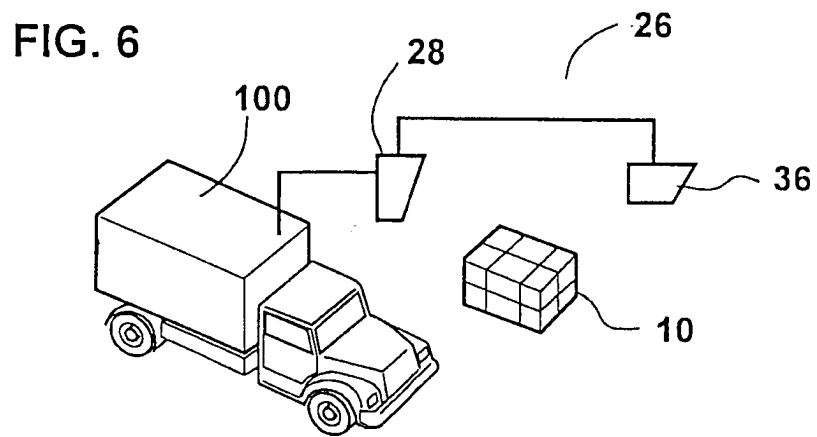
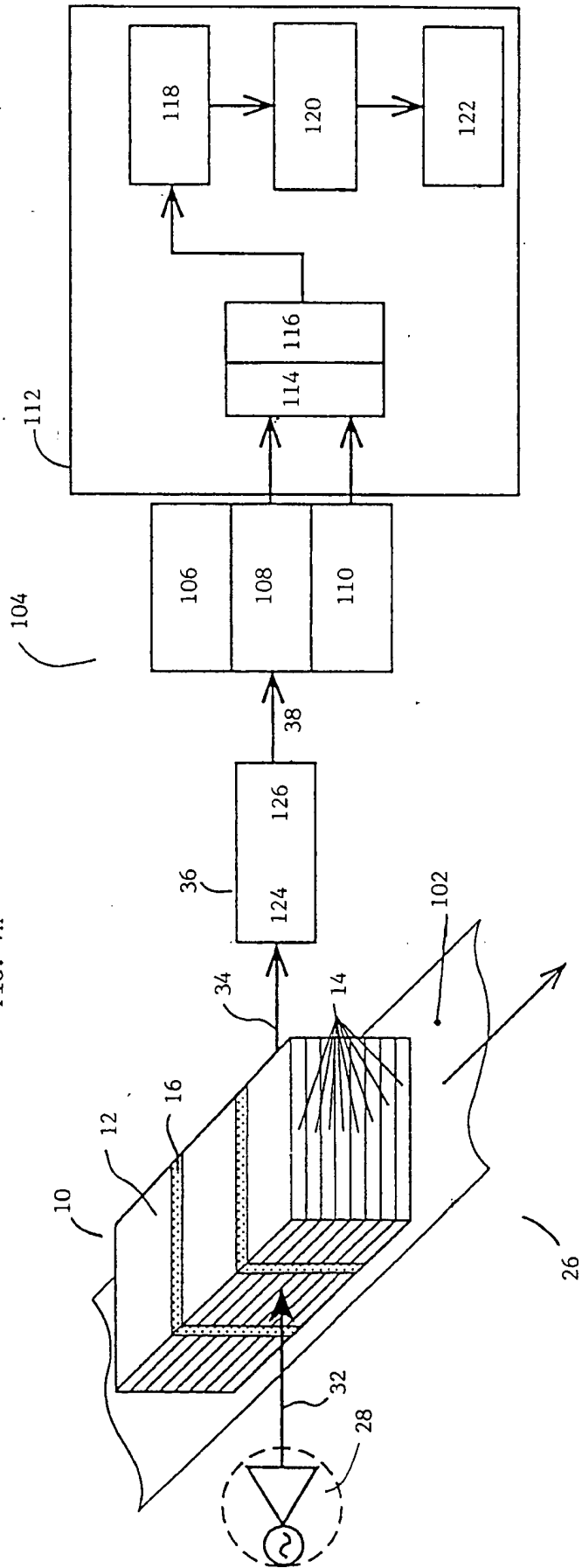


FIG. 7A



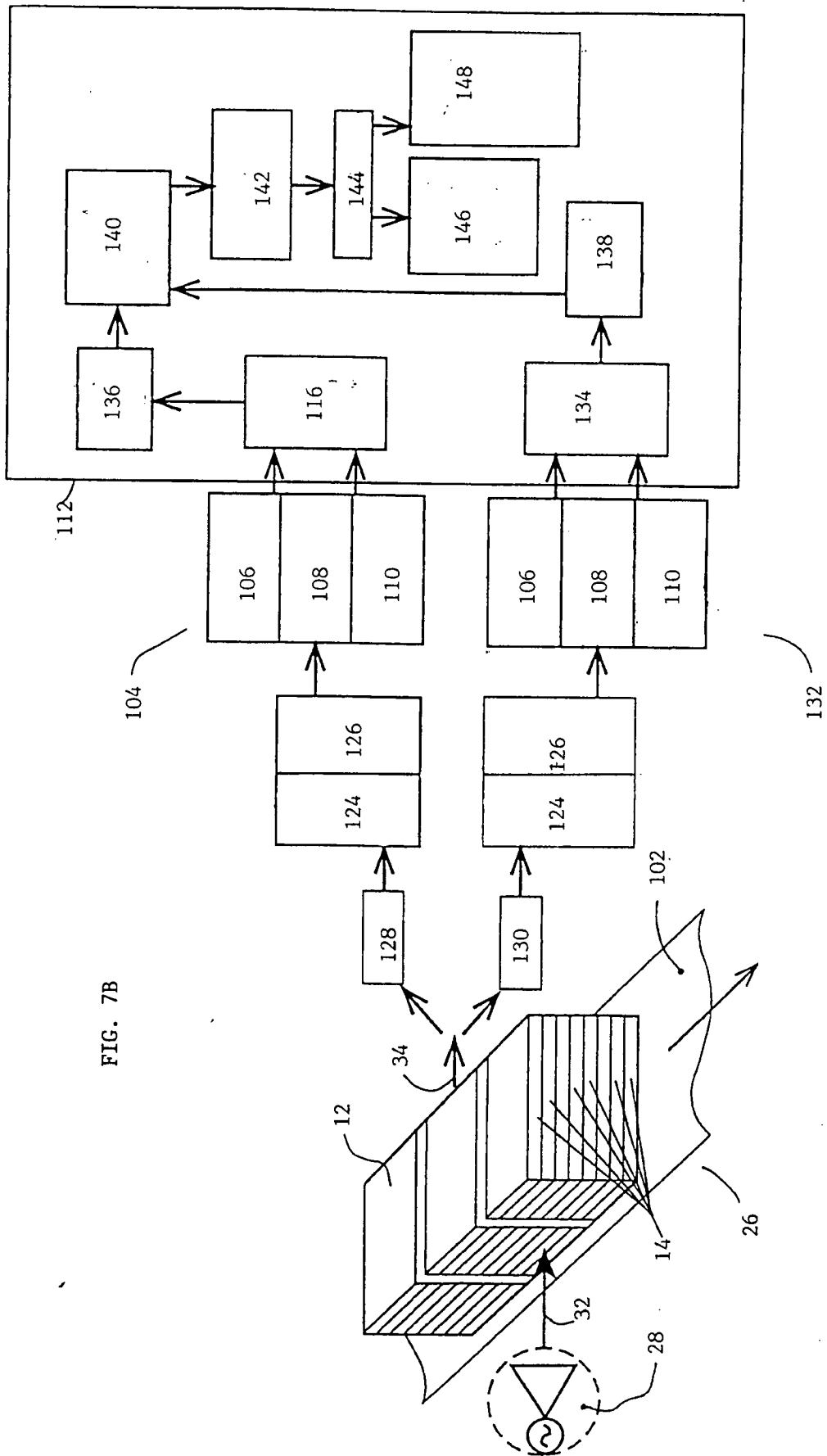
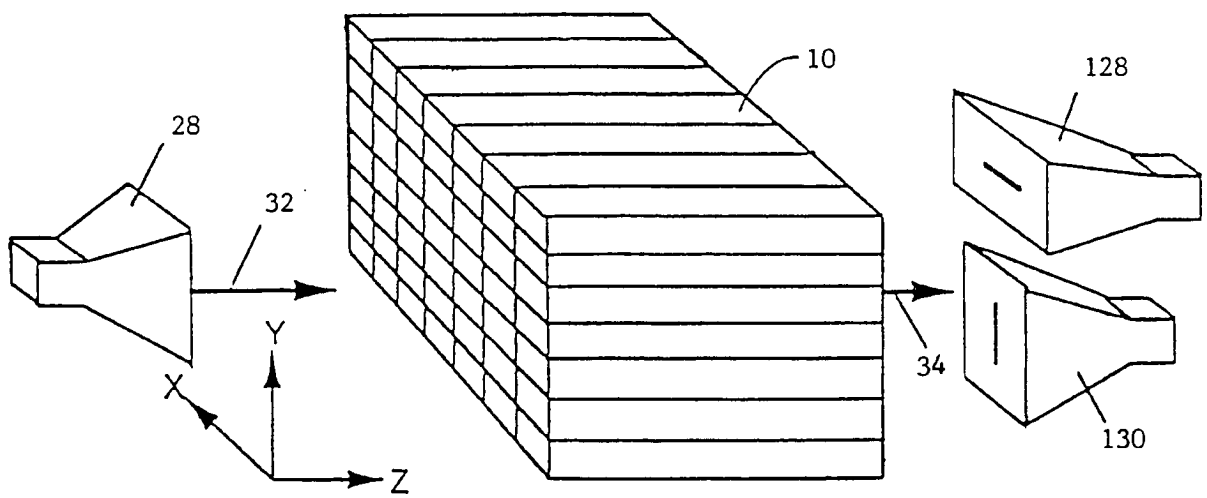


FIG. 7B

FIG. 7C



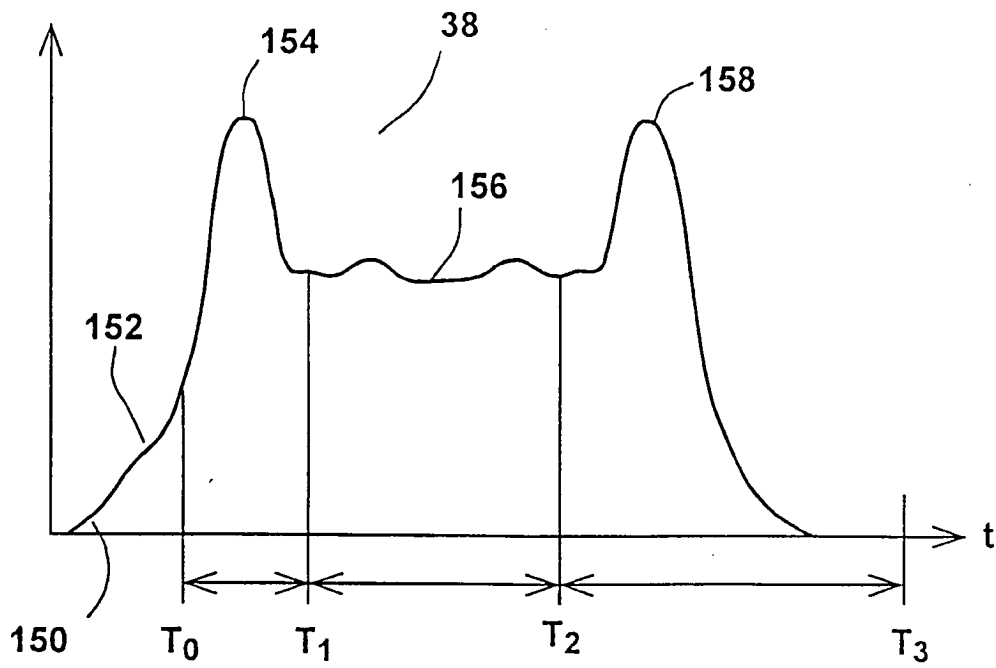


FIG. 8