(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 938 443 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
15.11.2017 Patentblatt 2017/46

(21) Anmeldenummer: **13827001.2**

(22) Anmeldetag: **27.12.2013**

(51) Int Cl.:
B07C 5/344 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2013/003920

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/102011 (03.07.2014 Gazette 2014/27)

(54) VERFAHREN ZUM ERKENNEN UND KLASSIFIZIEREN VON ELEKTROMAGNETISCH DETEKTIERBAREN TEILEN, INSBESONDERE VON FÖRDERGUTTEILEN IN EINEM SCHÜTTGUT

METHOD FOR DETECTING AND CLASSIFYING ELECTROMAGNETICALLY DETECTABLE OBJECTS IN A BULK STREAM

PROCÉDÉ DE TRI ET DE CLASSEMENT DES OBJETS DÉTECTABLES PAR AIMANT ELÉCTRIQUE DANS UN COURANT EN VRAC

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **28.12.2012 DE 102012025209**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.11.2015 Patentblatt 2015/45

(73) Patentinhaber: **D.Evolute Forschungs- Und Entwicklungsgesellschaft**
21339 Lüneburg (DE)

(72) Erfinder:
- **SCHOLZ, Steven**
  21109 Hamburg (DE)
- **BRAUN, Alexander**
  21339 Lüneburg (DE)
- **GUROK, Oliver**
  21339 Lüneburg (DE)

(74) Vertreter: **Hausfeld, Norbert**
Meissner Bolte Patentanwälte
Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
Beselerstraße 6
22607 Hamburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 009 049
WO-A1-2008/101270
DE-A1-102005 048 757
US-A- 5 654 638
US-B1- 7 674 994

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 938 443 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen und Klassifizieren von elektromagnetisch detektierbaren Teilen, insbesondere von Fördergutteilen in einem Schüttgut, mit den Schritten: Annäherung der Sensoranordnung an das elektromagnetisch detektierbare Teil durch Ausführen einer Relativbewegung zwischen der Sensoranordnung und dem elektromagnetisch detektierbaren Teil, bis dieses sich im Sensorbereich der Sensoranordnung befindet, wobei die Sensoranordnung wenigstens einen elektromagnetischen Sensor aufweist, welcher wenigstens eine Erregerspule zur Aussendung eines elektromagnetischen Erregerfeldes und wenigstens eine Detektorspule aufweist; Beaufschlagen der Erregerspule mit einem zeitabhängigen Erregerstrom; Messen eines in der Detektorspule induzierten zeitabhängigen Signales; Auswerten des Signales, um die elektromagnetischen Eigenschaften des elektromagnetisch detektierbaren Teiles zu ermitteln. Dabei wird der Erregerstrom durch eine Überlagerung mehrerer sinusförmiger Verläufe verschiedener Frequenzen erzeugt.

[0002] Bezogen auf das Erkennen und Klassifizieren von Fördergutteilen in einem Schüttgut werden folgende Schritte ausgeführt: Bereitstellen eines Schüttgutstromes; Fördern des Stromes von Schüttgut an einer Sensoranordnung entlang und durch den Sensorbereich der Sensoranordnung hindurch, wobei die Sensoranordnung wenigstens einen elektromagnetischen Sensor aufweist, welcher wenigstens eine Erregerspule zur Aussendung eines elektromagnetischen Erregerfeldes und wenigstens eine Detektorspule aufweist; Beaufschlagen der Erregerspule mit einem zeitabhängigen Erregerstrom; Messen eines in der Detektorspule induzierten zeitabhängigen Signalstroms; Auswerten des Signalstroms, um die elektromagnetischen Eigenschaften eines Abschnitts des Stroms von Schüttgut zu ermitteln, der sich im Sensorbereich der Sensoranordnung befindet.

[0003] Ein solches Verfahren ist zum Beispiel aus der EP 1 940 564 B1 bekannt. In dem dort beschriebenen Verfahren wird die Erregerspule einer speziellen Sensoranordnung, die zusätzlich zu der Erregerspule zwei zueinander versetzt angeordnete und gegensinnig gewundene Detektorspulen aufweist, mit einem Wechselstrom beaufschlagt und erzeugt somit ein elektromagnetisches Erregerfeld. Das durch das Erregerfeld in den Detektorspulen induzierte elektrische Signal wird gemessen und ausgewertet. Durch die gegensinnig gewundenen Detektorspulen und durch geeignete Differenzsignalbildung ergibt sich nur dann ein von Null signifikant abweichendes Gesamtsignal, wenn das Feld der Erregerspule durch einen Teil des Stroms von Schüttgut verzerrt wird, nämlich dann, wenn elektromagnetisch detektierbare Fördergutteile den Sensorbereich des Sensors passieren, also unter anderem solche mit para-, dia-, ferro-, ferri- oder antiferromagnetischen Eigenschaften.

[0004] Durch das bekannte Verfahren ist es möglich, die Anwesenheit und den Ort eines das elektromagnetische Erregerfeld beeinflussenden Fördergutteils im Schüttgut zu ermitteln, wenn das Fördergutteil mit dem Schüttgutstrom am Sensor entlang und durch dessen Sensorbereich hindurch gefördert wird. Es ist auch möglich, aus dem Sensorsignal Materialeigenschaften zu extrahieren. Es ist dazu aber ein hoher mathematischer und rechnerischer Aufwand erforderlich. Es wäre daher wünschenswert, den genannten Sensor dahingehend weiterzuentwickeln, dass die Erkennung und Klassifizierung elektromagnetisch detektierbarer Fördergutteile vereinfacht wird.

[0005] Es ist auch möglich, mit einer solchen Sensoranordnung generell ein Erkennen und eine Klassifizierung von elektromagnetisch detektierbaren Teilen vorzunehmen, die z.B. an die Sensoranordnung herangeführt werden, oder an die die Sensoranordnung herangeführt wird. Die Sensoranordnung ist also nicht auf die Verwendung in einer Sortiereinrichtung beschränkt.

[0006] Eine gattungsgemäße Sensoranordnung ist in der US 5,654,638 offenbart in Form eines portablen Metalldetektors zum Auffinden von metallischen Objekten im Erdboden.

[0007] Demgemäß besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem elektromagnetisch detektierbare Teile, insbesondere Fördergutteile in einem Schüttgutstrom, besonders leicht und genau klassifiziert werden können. Unter dem Begriff Klassifizieren wird im Sinne der Erfindung die Bestimmung von charakteristischen elektromagnetischen Eigenschaften z.B. eines Fördergutteiles in einem Schüttgutstrom verstanden, anhand derer das Fördergutteil anschließend einer bestimmten Stoffklasse zugeordnet wird. So können z.B. in einer Abfall- oder Shreddermaterialsortieranlage metallische Stoffe von nichtmetallischen Stoffen getrennt werden, oder edle Metalle von unedlen Metallen. Ebenso können anhand der elektromagnetischen Eigenschaften bestimmte Edelstahlsorten voneinander getrennt werden. In einer einfachen Ausgestaltung führt diese Klassifizierung zu einer Entscheidung, dass ein Fördergutteil aus dem Schüttgutstrom auszuschleusen ist oder nicht. Generalisiert und unabhängig von einer Anwendung in der Sortiertechnik kann mit dem Verfahren eine charakteristische elektromagnetische Eigenschaft eines Materials erfasst werden.

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruch 1. Der Erregerstrom wird durch eine Überlagerung mehrerer sinusförmiger Verläufe verschiedener Frequenzen erzeugt, wobei die Frequenzen der mehreren sinusförmigen Verläufe jeweils insbesondere ganzzahlige Vielfache einer gemeinsamen Grundfrequenz sind. Der zeitliche Verlauf des Erregerstroms ist dadurch eine Überlagerung mehrerer sinusförmiger Verläufe verschiedener Frequenzen. Entsprechend stellt das von der wenigstens einen Erregerspule erzeugte und emittierte Erregerfeld ebenfalls eine Überlagerung der mehreren sinusförmigen Verläufe ver-

schiedener Frequenzen dar.

[0009] Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass die Klassifizierung der z.B. in einem Schüttgutstrom enthaltenen, auf das Erregerfeld ansprechenden Fördergutteile besonders einfach erfolgen kann, wenn das elektromagnetische Ansprechverhalten nicht nur bei einer Frequenz, sondern bei mehreren verschiedenen Frequenzen ermittelt wird. Während dies durch unterschiedliche Erregerfeldformen erfolgen kann, wie z.B. durch einen Dirac-Impuls, ein weißes Rauschen, oder ein kontinuierliches Durchstimmen der Anregungsfrequenz als Sweep- oder Chirp-Signal, hat sich herausgestellt, dass ein erfindungsgemäß ausgestaltetes Erregerfeld sowohl in der Erzeugung als auch in der Auswertung besonders gut handhabbar ist.

[0010] Die Erfindung wird nachfolgend schwerpunktmäßig in Bezug auf eine Anwendung für die Klassifizierung von Fördergutteilen diskutiert und erläutert, um mittels der Klassifizierung eine Sortierung der Fördergutteile zu ermöglichen. Das Verfahren ist aber genereller einsetzbar, z.B. auch in Messgeräten, z.B. portablen Messgeräten, die lediglich der Gewinnung von Messergebnissen dienen, ohne in eine Sortieranlage integriert zu sein.

[0011] Das Erregerfeld (bzw. der zugrundeliegende Erregerstrom) wird bevorzugt durch die sogenannte direkte digitale Synthese (DDS) erzeugt. Dafür werden z.B. in einem Speicher abgelegte Werte in fester zeitlicher Abfolge ausgelesen und über einen Digital-Analog-Wandler in ein analoges Spannungssignal gewandelt, welches anschließend über eine Verstärkeranordnung als Anregungsstrom den Erregerspulen zugeführt wird. Nach Auslesen einer definierten Anzahl von Werten, wird die Wertefolge erneut von Vorne ausgelesen.

[0012] Dabei entstehen in der Verstärkeranordnung unvermeidbare Leistungsverluste, welche als Abwärme die gesamte Sensoranordnung belasten. Der Wirkungsgrad der Verstärkeranordnung, also das Verhältnis der Nutzleistung zur Verlustleistung, hängt nicht nur von der Qualität der Verstärkeranordnung, sondern auch wesentlich von der Signalform des Erregerstroms ab. Der Wirkungsgrad ist dabei um so höher, je niedriger der Scheitelfaktor (Crest-Faktor) des Signals ist (bzw. des Erregerstroms), wobei der Scheitelfaktor als das Verhältnis des Scheitelwerts zum Effektivwert des Signalverlaufs definiert ist. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass zu der Nutzleistung nur die realen Anteile der komplexen Signalverläufe beitragen, während zur Verlustleistung auch die imaginären Anteile, die sich im zeitlichen Mittel gegenseitig aufheben, einen Beitrag leisten.

[0013] Wenn gemäß der Erfindung die sinusförmigen Verläufe zu den einzelnen Frequenzen gegeneinander phasenverschoben sind, lässt sich der Scheitelfaktor des Gesamtsignals bei gleicher Leistung in den einzelnen Frequenzanteilen vermindern, wodurch der Wirkungsgrad der Verstärkeranordnung erhöht und die Wärmebelastung der Sensoranordnung reduziert wird.

[0014] Erfindungsgemäß entspricht dabei die Phasenverschiebung φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe gegenüber dem Verlauf der Grundfrequenz entweder 0° oder 180°. Durch diese Einschränkung der möglichen Phasenverschiebungen wird die Optimierung des Signals zum Erreichen eines möglichst kleinen Scheitelfaktors vereinfacht. Gleichzeitig ist dadurch sichergestellt, dass der Startwert des Gesamtsignals bei Inbetriebnahme immer Null ist, wodurch störende Signalspitzen beim "Einschalten" vermieden werden können.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Phasenverschiebungen φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe so gewählt, dass das resultierende Gesamtsignal einen Scheitelfaktor von weniger als 3, bevorzugt weniger als 2,5 aufweist. Bei diesen Scheitelfaktoren ist der Wirkungsgrad der Verstärkeranordnung ausreichend hoch, um eine unerwünscht hohe Wärmebelastung der Sensoranordnung zu vermeiden.

[0016] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Phasenverschiebungen φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe nach der Formel $\varphi_n = 90° + (90° \times S(n-1))$ bestimmt, wobei n der Quotient der jeweiligen Frequenz und der Grundfrequenz ist, und S(n) der n-te Wert der Rudin-Shapiro-Reihe ist. Das Produkt (90° x (S(n-1)) ergibt entweder +90° oder -90°, da die Rudin-Shapiro-Reihe nur aus den Zahlenwerten 1 und -1 aufgebaut ist.

[0017] Es hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass diese leicht zu berechnende Formel ein Gesamtsignal mit dem Scheitelfaktor kleiner 3 ergibt.

[0018] Die Anzahl der überlagerten Frequenzen, also der einzelnen sinusförmigen Verläufe unterschiedlicher Frequenz, die zur Bildung des Erregersignals aufsummiert werden, kann im Prinzip frei gewählt werden. Wenn gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung die Anzahl der überlagerten Frequenzen eine ganzzahlige Potenz von 2 ist, so ergibt sich ein maximaler Scheitelfaktor von 2, welcher einen sehr günstigen Wirkungsgrad der Verstärkeranordnung ermöglicht.

[0019] In einer besonders gut handhabbaren Ausgestaltung der Erfindung liegt die gemeinsame Grundfrequenz der Frequenzanteile zwischen 100 Hz und 10 kHz, bevorzugt bei 1 kHz. Dieser Frequenzbereich bietet bei vertretbarem Schaltungs- und Rechenaufwand gute Ergebnisse bei der Erfassung und Klassifizierung der auf elektromagnetische Felder ansprechenden Fördergutteile des Schüttgutes

[0020] Gemäß einer weiter bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die Anzahl der überlagerten Frequenzen 64.

[0021] Zur Auswertung des vom Erregerfeld induzierten elektrischen Signals, also des in der oder in den Detektorspulen induzierten Stroms und/oder der darin induzierten Spannung, werden in einer Frequenzanalyse dessen einzelne Frequenzanteile voneinander separiert, und zu diesen Frequenzanteilen die Amplitude und/oder Phasenlage bestimmt. Gemäß einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung umfasst dazu die Auswertung des induzierten Signals eine schnelle Fou-

rier-Transformation (FFT). Durch Anwendung dieser mathematischen Standardmethode können die genannten Werte besonders einfach ermittelt werden. Denkbar ist auch die Anwendung von Weiterentwicklungen der normalen FFT, wie die sog. "pruned FFT" oder "sparse FFT". Vereinfacht gesagt, werden dort die Fourier-Transformierten interessierender Frequenzanteile berechnet. Das spart Rechenleistung und bringt somit Kosten- und Energieeinsparung.

[0022] Wenn gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung die Abtastrate des Analog-Digital-Wandlers ein ganzzahliges Vielfaches der Ausgaberate des Digital-Analog-Wandlers ist und die Anzahl der Ausgabewerte zu einer ganzen Potenz von 2 gewählt wird, kann die rechnerische Auflösung der schnellen Fourier-Transformation besonders gut ausgenutzt werden

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger Zeichnungen und anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Darstellung einer Anlage zur Sortierung von Schüttgut;

Fig. 2: ein Ausführungsbeispiel für eine Sensoranordnung zur Anwendung in einem erfindungsgemäßen Verfahren;

Fig. 3: eine beispielhafte Schaltungsanordnung zur Anwendung in einem erfindungsgemäßen Verfahren;

Fig. 4: den zeitlichen Verlauf des Erregerstroms in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 5: das Phasen- und Amplitudenspektrum des Erregerstroms in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0024] Ohne Beschränkung der allgemeinen Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt nachfolgend eine detaillierte Beschreibung eines Anwendungsbeispiels, nämlich der Einsatz des Verfahrens bei der Klassifizierung von Fördergutteilen in einem Fördergutstrom zum Zwecke der gezielten Erfassung und Ausschleusung gewünschter Fraktionen aus dem Fördergutstrom anhand der mit dem Verfahren möglichen Klassifizierung.

[0025] In Figur 1 ist eine Anlage 10 zur Sortierung von Schüttgut 15, 15', 15", 16, 16', 16" dargestellt, welches in Form eines Schüttgutstromes 13 auf einem ersten Förderband 12 in eine Förderrichtung transportiert wird. Das erste Förderband 12 wird um eine Rolle 27 umgelenkt. An der Rolle 27 fällt das Schüttgut 15, 15', 15", 16, 16', 16" von dem ersten Förderband 12 herunter und fällt unter Einfluss seiner Trägheit auf ein zweites Förderband 42, welches das Schüttgut 16, 16', 16" abfördert.

[0026] Wie durch unterschiedliche Schraffuren schematisch dargestellt ist, besteht das Schüttgut aus unterschiedlichen Materialien 15,15',15" und 16,16',16", welche in der Sortieranlage auseinandersortiert werden sollen. Dazu ist in der Fallstrecke des Schüttguts eine Blasdüse 24 angeordnet, welche von einem Ventil 26 beherrscht aus einer Druckluftquelle 34 versorgt wird, und bei Öffnen des Ventils 26 ein herunterfallendes Schüttgutteil 15' so ablenkt, dass es über einen Trennscheitel 36 hinweg auf ein drittes Förderband 40 abgelenkt wird, welches das Schüttgutteil 15" separat abfördert.

[0027] Um eine saubere Trennung der unterschiedlichen Schüttgutteile 15,15',15",16,16',16" zu gewährleisten wir der Schüttgutstrom 13 bevorzugt als vereinzelter, einlagiger Strom zugeführt. Dies kann über übliche Mittel wie Rüttler, Rutschen, Bänderkaskaden oder dergleichen erfolgen, die nicht dargestellt sind. Bei faserigem Schüttgut können zusätzliche Vereinzelungsmittel wie Kammwalzen o.ä. erforderlich sein.

[0028] Die Ansteuerung des Ventils 26 erfolgt durch eine Steuerung 20, welche Signale von einer Sensoranordnung 14 erhält, die im Bereich des ersten Förderbands 12 angeordnet ist, und zwar unterhalb des Förderbandes und in Förderrichtung vor der Umlenkrolle 27. Um die Ansteuerung des Ventils 26 mit der Fördergeschwindigkeit der Schüttgutteile 15,15', 15", 16,16', 16" zu synchronisieren, ist zusätzlich ein Geschwindigkeitsmesser 29 an der Rolle 27 vorgesehen, z.B. ein Winkelmesser. In der Steuerung 20 wird ein Ansteuersignal für das Ventil 26 erzeugt, wenn die Sensoranordnung 14 die Anwesenheit eines auszusondernden Schüttgutteils 15' feststellt. Dieses Signal berücksichtigt eine gewisse Verzögerungszeit zur Berücksichtigung der Laufzeit des Schüttgutteils 15' vom Sensorbereich über die Umlenkrolle 27 bis vor die Blasdüse 24. Die Dauer der Verzögerung hängt dabei von der Geschwindigkeit des Förderbandes 12 und unter Umständen auch von der Art des Schüttgutteils 15' ab. So muss z.B. bei leichten Schüttgutteilen 15' eine höhere Verzögerung abgewartet werden als bei schweren Schüttgutteilen.

[0029] Die Sensoranordnung 14 dient der Erkennung und Unterscheidung der unterschiedlichen Materialien, aus denen das Schüttgut besteht und ist in Figur 2 schematisch dargestellt. Parallel zur Förderebene des Förderbandes 12 ist eine Erregerspule 102 angeordnet, welche bei Beaufschlagung mit einem zeitabhängigen Erregerstrom über Anschlüsse 112 ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt. In der gleichen Ebene ist eine Detektorspule 104 angeordnet, die sich von der Erregerspule 102 umgeben ist. Das von der Erregerspule 102 erzeugte elektromagnetische Wechselfeld induziert in der Detektorspule 104 ein elektrisches Signal, das über Anschlüsse 114 abgegriffen werden kann, z.B. als Signalspannung oder als Signalstrom. Die Erzeugung des Erregerstroms für die Beaufschlagung der Erregerspule 102 sowie die Auswertung des Signals der Detektorspule 104 erfolgt durch eine Schaltungsanordnung 106, welche das Ergebnis der Auswertung an die Steuerung 20 kommuniziert. Eine geeignete Sensoranordnung ist bei-

spielsweise in der EP 1 940 546 B1 beschrieben, auf die und deren Inhalt hiermit Bezug genommen wird.

[0030] Um einen breiten Schüttgutstrom zu sortieren können mehrere quer zur Förderrichtung des Schüttguts nebeneinander angeordnete Sensoranordnungen vorgesehen sein.

[0031] In Figur 3 ist die Schaltungsanordnung 106 genauer dargestellt. In einem Wertespeicher 201 sind aufeinanderfolgende Werte eines Signalverlaufs des Erregerstroms abgespeichert und werden nacheinander von einem Prozessor 202 ausgelesen und an einen Digital-Analog-Wandler 203 geleitet, welcher eine zu dem jeweiligen Wert proportionale elektrische Spannung ausgibt. Diese Spannung wird durch eine Verstärkeranordnung 204 in einen Strom umgewandelt, welcher über die Anschlüsse 112 als Erregerstrom der Erregerspule 102 zugeführt wird. Dieses Verfahren der Signalerzeugung wird auch als Direkte Digitale Synthese (DDS) bezeichnet.

[0032] Das in der Detektorspule 104 induzierte elektrische Signal wird wiederum über die Anschlüsse 114 einem Messverstärker 205 zugeführt, welcher das Signal in eine Spannung umsetzt und einem Analog-Digital-Wandler 206 zugeführt. Dieser wandelt die Spannung in ein digitales Signal um, welches durch den Prozessor 202 ausgewertet wird.

[0033] Die Anordnung der Spulen 102,104 wirkt wie ein Transformator, so dass sich der zeitliche Verlauf des Erregerstroms und des induzierten Signals gleichen. Erst wenn das von der Erregerspule 102 erzeugte Feld durch ein Schüttgutteil 15, 15', 15", 16, 16', 16" beeinflusst wird ergibt sich eine signifikante Abweichung der zeitlichen Verläufe von Erregerstrom und induziertem Signal, welche sowohl in einer Phasenverschiebung als auch in einer Amplitudenänderung bestehen kann. Diese werden durch den Prozessor 202 zur Erkennung und Klassifizierung der Schüttgutteile des Schüttguts ausgewertet.

[0034] Die Werte des Signalverlaufes können bevorzugt in einem FPGA gespeichert sein und dieser direkt den Analog-Digital-Wandler ansteuern. Ein Prozessor im engeren Sinne wird dann nicht benötigt. Auch die Vorverarbeitung und erste Auswertung des digitalen Signals vom Analog-Digital-Wandler (also die FFT und andere Berechnungen) können im FPGA ausgeführt werden, um den Prozessor rechentechnisch zu entlasten.

[0035] In einer nicht dargestellten Variante der Sensoranordnung 14 können an Stelle einer Detektorspule 104 (oder eines Detektorspulenpaares) zwei oder mehr Detektorspulen oder Detektorspulenpaare vorgesehen sein, um das Auflösungsvermögen zu erhöhen. Eine entsprechende Sensoranordnung ist in der EP1 940 546B1 beschrieben, auf die und deren Inhalt diesbezüglich ausdrücklich verwiesen wird.

[0036] Um das Schüttgut 15, 15', 15", 16, 16', 16" einfacher klassifizieren zu können entspricht der zeitliche Verlauf des Erregerstroms einer Überlagerung sinusförmiger Verläufe verschiedener Frequenzen, wobei die Frequenzen jeweils ganzzahligen Vielfachen einer gemeinsamen Grundfrequenz entsprechen. Dadurch werden gleichzeitig elektromagnetische Felder dieser Frequenzen erzeugt, deren Beeinflussung durch das Schüttgut getrennt voneinander ausgewertet werden kann und so z.B. Aussagen über Leitfähigkeit, Größe, Feuchte etc. des Schüttguts erlauben. Um die Frequenzanteile im induzierten Signal voneinander zu trennen wird dieses einer schnellen Fourier-Transformation (FFT) unterzogen, aus welcher sich für jede einzelne Frequenz die Amplitude und Phasenlage des frequenzaufgeteilten Signals bzw. deren Differenz ermitteln läßt.

[0037] Ein exemplarischer Verlauf des Erregerstroms gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Figur 4 dargestellt. Dabei ist auf der Abszisse die Zeit und auf der Ordinate die Ausgangsspannung des Digital-Analog-Wandlers 203 in Volt aufgetragen. Um die Auflösung der FFT-Analyse optimal zu nutzen, sollte der Signalverlauf eine Anzahl von Werten umfassen, die einer ganzen Potenz von 2 entspricht, der dargestellte Verlauf umfasst 1024 ($=2^{10}$) Werte. Ebenso sollte auch die Anzahl der Frequenzanteile einer ganzen Potenz von 2 entsprechen, im vorliegenden Beispiel wurden 64 Sinussignale unterschiedlicher Frequenz überlagert. Es ergeben sich so bei einer Grundfrequenz von 1 kHz Frequenzanteile von 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz ... bis 64 kHz, die sich mit einfacher Elektronik problemlos verarbeiten lassen.

[0038] Praktisch können z.B. 1024 abgespeicherte Werte für den DAC verwendet und diese - der Einfachheit halber - mit 1 MHz ausgegeben werden Es ergibt sich dann eine Grundfrequenz von 1000000/1024 = 976,5625Hz - also ca. 1 kHz.

[0039] Die Abtastung des induzierten Signals kann z.B. bei einer problemlos handhabbaren Tastfrequenz von ca. 1 MHz erfolgen. Das entspricht einem 16-fachen Überabtasten des höchsten Frequenzanteils, so dass störende Aliasing-Effekte nahezu ausgeschlossen sind.

[0040] Es ist leicht zu erkennen, dass der Signalverlauf mit Null beginnt und endet. Dies ist für die elektronischen Komponenten vorteilhaft, da Signalsprünge und somit Stromspitzen vermieden werden. Um dies zu erreichen ist die Phasenlage für alle überlagerten Frequenzanteile relativ zueinander entweder zu 0° oder zu 180° gewählt. Diese Phasenlage bringt einen weiteren Vorteil bei der FFT-Analyse. Da diese in der Regel mit einer Kosinus-Funktion arbeitet, liefert sie als Ergebnis jeweils Phasen von etwa +90° oder -90°, abhängig von der jeweiligen Phasenverschiebung des induzierten Signals gegenüber dem Erregerstrom. Bei diesen Phasen können sich unvermeidliche Rundungsfehler der FFT-Analyse im Mittel auslöschen, während z.B. bei einer Phase von 0° ein Rundungsfehler von 0,1° entweder zu 0,1° oder zu 359,9° führt, so dass sich im Mittel ein falscher Phasenwert von 180° ergäbe. Diese Gefahr besteht bei der beschriebenen Wahl der Phasenlagen also gerade nicht. Die errechneten Phasen können z.B. nachfolgend durch einen Offset wieder zu den ursprünglichen Phasen 0° bzw. 180° verschoben werden.

[0041] Um eine störende Erwärmung der Schaltungs-

anordnung zu vermeiden ist es hilfreich, wenn der zeitliche Verlauf des Erregerstroms einen niedrigen Scheitelfaktor (Crest-Faktor) hat. Dadurch werden Blindströme reduziert, welche nur zur Verlustleistung, nicht jedoch zur Signalleistung beitragen. Gleichzeitig kann bei relativ niedrigem Maximalwert des Signals eine große Signalenergie transportiert werden. Es hat sich herausgestellt, dass der Crest-Faktor unter 3 liegen sollte, bevorzugt unter 2,5.

[0042] Um den Crest-Faktor des Erregerstroms zu optimieren, können Amplituden und Phasenlagen der einzelnen Frequenzanteile variiert werden. Um bei allen Frequenzen die gleiche Empfindlichkeit der Sensoranordnung 14 zu erreichen ist es jedoch vorteilhaft, alle Frequenzanteile mit der gleichen Amplitude zu versehen, so dass zur Optimierung nur noch die Phasenlagen variiert werden. Ein überraschend guter Crest-Faktor von 2 wird im dargestellten Beispiel dadurch erreicht, dass die Phasen der Frequenzanteile auf Basis der Rudin-Shapiro-Reihe bestimmt werden und die Anzahl der Frequenzanteile eine Potenz von 2 ist. Die Rudin-Shapiro-Reihe ist eine Reihe aus den Zahlen +1 und -1, wobei sich der n-te Wert S(n) der Reihe danach bestimmt, wie oft die Bit-Folge 11 in der Binärdarstellung der Zahl n auftritt. Ist diese Anzahl gerade, so ist der Wert der Reihe +1; ist die Anzahl ungerade, so ist der Wert -1. So ergibt sich z.B. für das 14. Element der Reihe eine +1, da in der Binärdarstellung der Zahl 14 (1110) zweimal die Bit-Folge 11 vorkommt. Die ersten Werte der Rudin-Shapiro-Reihe lauten:

n	Binärdarstellung	S(n)
0	0	+1
1	1	+1
2	10	+1
3	11	-1
4	100	+1
5	101	+1
6	110	-1
7	111	+1
8	1000	+1
9	1001	+1

[0043] Die Phasenverschiebungen φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe werden nach der Formel $\varphi_n = 90° + (90° \times S(n-1))$ bestimmt. Das resultierende Amplituden- und Phasenspektrum des Erregerstroms ist in den beiden Diagrammen der Fig. 5 dargestellt. In der Darstellung sind entlang der Abszisse die Frequenzen der das Erregersignal aufbauenden Sinusschwingungen in kHz angegeben, während entlang der Ordinate des unteren Diagramms die jeweilige Phasenlage in Grad [°] dargestellt ist (+90° oder -90°). Das Diagramm zeigt bereits die Phasenlagen, die sich bei Anwendung einer auf der Kosinus-Funktion beruhenden FFT-Analyse ergeben, also entweder -90° oder +90°. Entlang der Ordinate des oberen Diagramms in Figur 5 sind die Amplituden der einzelnen Frequenzanteile in mV aufgetragen. Die Amplituden sind in dem dargestellten Beispiel so gewählt, dass alle 64 Sinussignale der 64 verschiedenen Frequenzen in dem Erregersignal mit gleicher Signalamplitude auftreten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen und Klassifizieren von elektromagnetisch detektierbaren Teilen mittels einer Sensoranordnung (14) mit den Schritten: Annäherung der Sensoranordnung (14) an das elektromagnetisch detektierbare Teil, bis dieses sich im Sensorbereich der Sensoranordnung befindet, wobei die Sensoranordnung (14) wenigstens einen elektromagnetischen Sensor aufweist, welcher wenigstens eine Erregerspule (102) zur Aussendung eines elektromagnetischen Erregerfeldes und wenigstens eine Detektorspule (104) aufweist;
   Beaufschlagen der Erregerspule (102) mit einem zeitabhängigen Erregerstrom; Messen eines in der Detektorspule (104) induzierten zeitabhängigen Signales; Auswerten des Signales, um die elektromagnetischen Eigenschaften des elektromagnetisch detektierbaren Teiles zu ermitteln, wobei der Erregerstrom durch eine Überlagerung mehrerer sinusförmiger Verläufe verschiedener Frequenzen erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die sinusförmigen Verläufe der einzelnen Frequenzen gegeneinander phasenverschoben sind, wobei die Phasenverschiebung φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe gegenüber dem sinusförmigen Verlauf der Grundfrequenz entweder 0° oder 180° entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1 zum Erkennen und Klassifizieren von elektromagnetisch detektierbaren Fördergutteilen in einem Schüttgut, wobei ein Strom (13) von Schüttgut (15,15',15",16,16',16") bereitgestellt wird, und wobei der der Strom (13) von Schüttgut an der Sensoranordnung (14) entlanggeführt wird,
   und wobei das Signal ausgewertet wird, um die elektromagnetischen Eigenschaften eines Abschnitts des Stroms (13) von Schüttgut zu ermitteln, der sich im Sensorbereich der Sensoranordnung (14) befindet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenverschiebungen φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe so gewählt sind, dass das resultierende Gesamtsignal einen Scheitelfaktor von weniger als 3, bevorzugt weniger als 2,5 aufweist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Phasenverschiebungen φ der einzelnen sinusförmigen Verläufe nach der Formel $\varphi_n = 90° + (90° \times S(n-1))$ bestimmt werden, wobei n der Quotient aus der jeweiligen Frequenz und der Grundfrequenz ist, und S(n) der n-te Wert einer Rudin-Shapiro-Reihe ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswertung des Signalstroms eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) oder eine "pruned FFT"-Variante umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der überlagerten sinusförmigen Verläufe eine ganzzahlige Potenz von 2 ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der überlagerten sinusförmigen Verläufe 64 ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gemeinsame Grundfrequenz der überlagerten sinusförmigen Verläufe zwischen 100 Hz und 10 kHz liegt, bevorzugt bei 1 kHz.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenzen der mehreren sinusförmigen Verläufe jeweils ganzzahlige Vielfache einer gemeinsamen Grundfrequenz sind.

Claims

1. A method for identifying and classifying electromagnetically detectable parts by means of a sensor assembly (14) comprising the steps: moving the sensor assembly (14) closer towards the electromagnetically detectable part, until the latter is located in the sensor range of the sensor assembly, wherein the sensor assembly (14) has at least one electromagnetic sensor, which has at least one field coil (102) for emitting an electromagnetic excitation field and at least one detector coil (104);
supplying the field coil (102) with a time-dependent excitation current;
measuring a time-dependent signal induced in the detector coil (104);
evaluating the signal in order to determine the electromagnetic characteristics of the electromagnetically detectable part, wherein the excitation current is generated by a superposition of multiple sinusoidal curves of different frequencies, **characterised in that** the sinusoidal curves of the individual frequencies are phase-shifted relative to one another, wherein the phase shift φ of the individual sinusoidal curves as compared to the sinusoidal curve of the fundamental frequency corresponds to either 0° or 180°.

2. The method according to claim 1 for identifying and classifying electromagnetically detectable conveyed material parts in a bulk material, wherein a stream (13) of bulk material (15, 15', 15", 16, 16', 16") is provided, and wherein the stream (13) of bulk material is guided along the sensor assembly (14),
and wherein the signal is evaluated in order to determine the electromagnetic characteristics of a section of the stream (13) of bulk material, which is located in the sensor range of the sensor assembly (14).

3. The method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the phase shifts φ of the individual sinusoidal curves are chosen in such a way that the resulting total signal has a crest factor of less than 3, preferably of less than 2.5.

4. The method according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the phase shifts φ of the individual sinusoidal curves are determined according to the formula $\varphi_n = 90° + (90° \times S(n-1))$, wherein n is the quotient from the respective frequency and the fundamental frequency, and S(n) is the n^{th} value of a Rudin-Shapiro sequence.

5. The method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the evaluation of the signal current comprises a fast Fourier transformation (FFT) or a "pruned FFT" alternative.

6. The method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the number of the superimposed sinusoidal curves is an integral power of 2.

7. The method according to claim 6, **characterised in that** the number of the superimposed sinusoidal curves is 64.

8. The method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the common fundamental frequency of the superimposed sinusoidal curves is between 100 Hz and 10 kHz preferably 1 kHz.

9. The method according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the frequencies of the plurality of sunusoidal curves are in each case integral multiples of a common fundamental frequency.

Revendications

1. Procédé de tri et de classement d'objets détectables électromagnétiquement au moyen d'un agencement de détecteurs (14) opérant avec les étapes suivantes : rapprochement de l'agencement de détecteurs (14) de l'objet détectable électromagnétiquement jusqu'à ce que celui-ci se trouve dans la zone de détection de l'agencement de détecteurs (14), cet agencement présentant au moins un détecteur électromagnétique, lequel présente au moins une bobine d'excitation (102) pour l'émission d'un champ d'excitation électromagnétique et au moins une bobine de détection (104) ;
application à la bobine d'excitation (102) d'un courant d'excitation dépendant du temps ; mesure d'un signal dépendant du temps induit dans la bobine de détection (104) ; évaluation du signal pour déterminer les caractéristiques électromagnétiques de l'objet détectable électromagnétiquement, le courant d'excitation étant généré par la superposition de plusieurs profils sinusoïdaux de différentes fréquences, **caractérisé en ce que** les profils sinusoïdaux des différentes fréquences sont déphasés les uns par rapport aux autres, le déphasage φ de chacun des profils sinusoïdaux par rapport au profil sinusoïdal de la fréquence de base étant soit de 0° soit de 180°.

2. Procédé selon la revendication 1 de tri et de classement de matières transportées détectables électromagnétiquement dans des matières en vrac, un courant (13) de matières en vrac (15, 15', 15", 16, 16', 16") étant tenu à disposition et le courant (13) de matières en vrac étant conduit le long de l'agencement de détecteurs (14), le signal étant évalué pour déterminer les caractéristiques électromagnétiques d'une section du courant (13) de matières en vrac qui se trouve dans la zone de détection de l'agencement de détecteurs (14).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les déphasages φ des différents profils sinusoïdaux sont choisis de façon telle que le signal total résultant présente un facteur de crête inférieur à 3 et de préférence inférieur à 2,5.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les déphasages φ des différents profils sinusoïdaux sont déterminés selon la formule $\varphi_n = 90° + (90° \times S(n-1))$, n étant le quotient de la fréquence respective et de la fréquence de base et S(n) étant la n-ième valeur d'une suite de Rudin-Shapiro.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'évaluation du courant de signaux comporte une transformation de Fourier rapide ou une variante « pruned FFT ».

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le nombre de profils sinusoïdaux superposés est une puissance entière de 2.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le nombre de profils sinusoïdaux superposés est de 64.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la fréquence de base commune des profils sinusoïdaux superposés est comprise entre 100 Hz et 10 kHz, de préférence d'environ 1 kHz.

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les fréquences des différents profils sinusoïdaux sont respectivement des multiples entiers d'une fréquence de base commune.

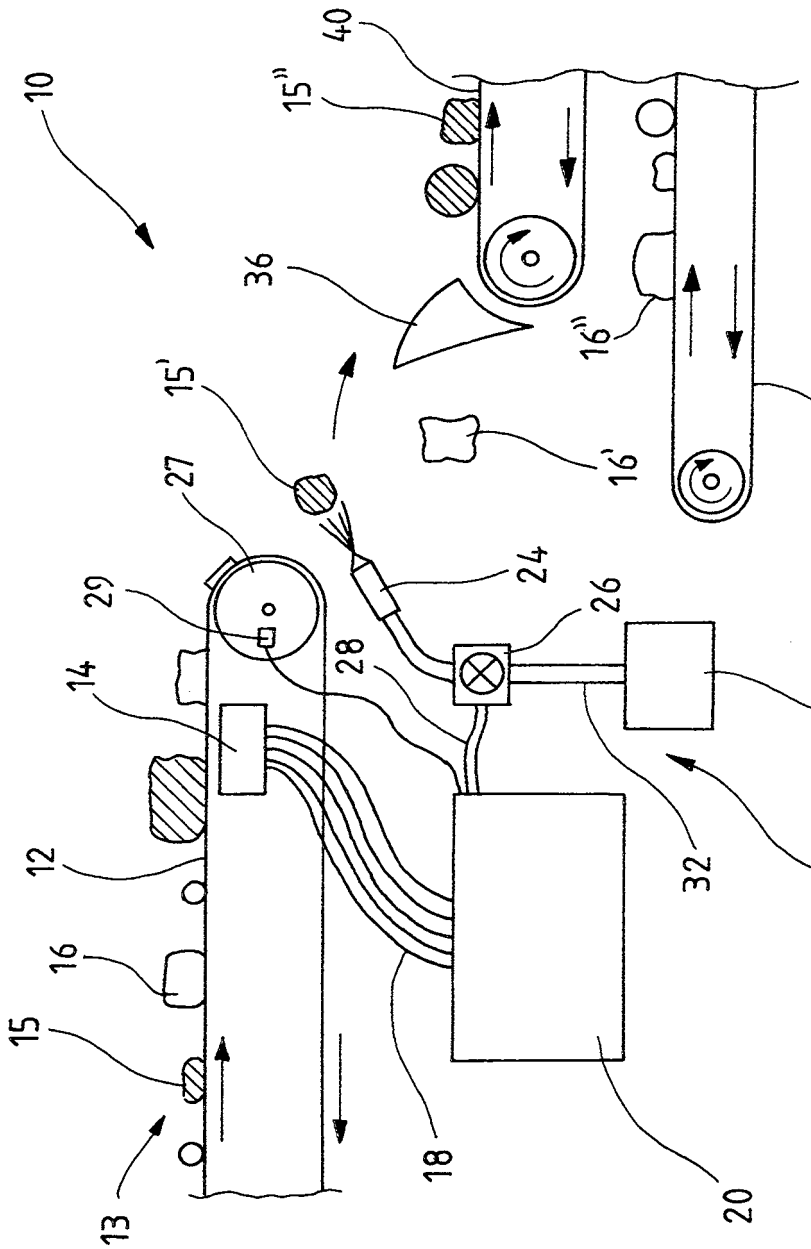


Fig. 1

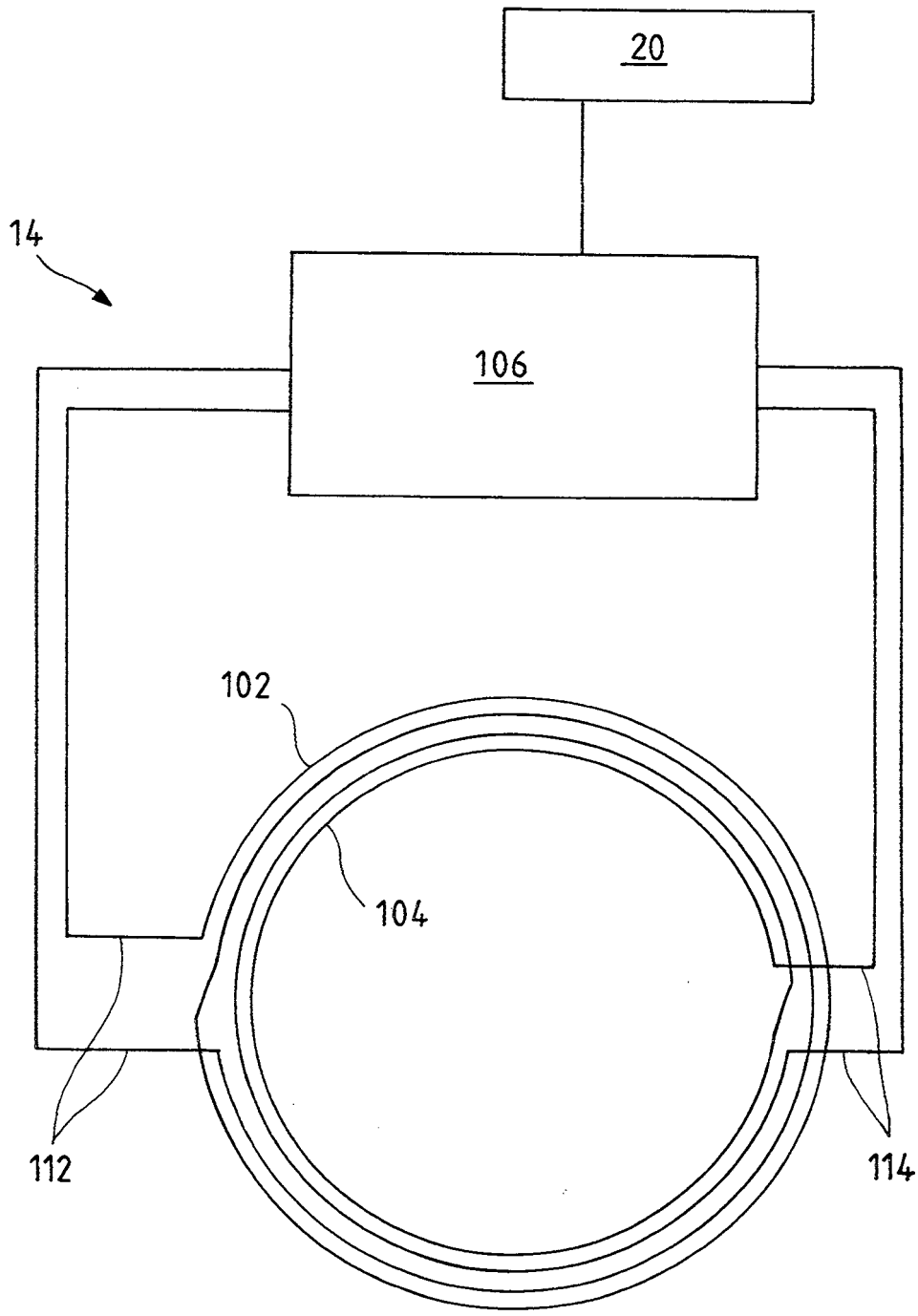


Fig. 2

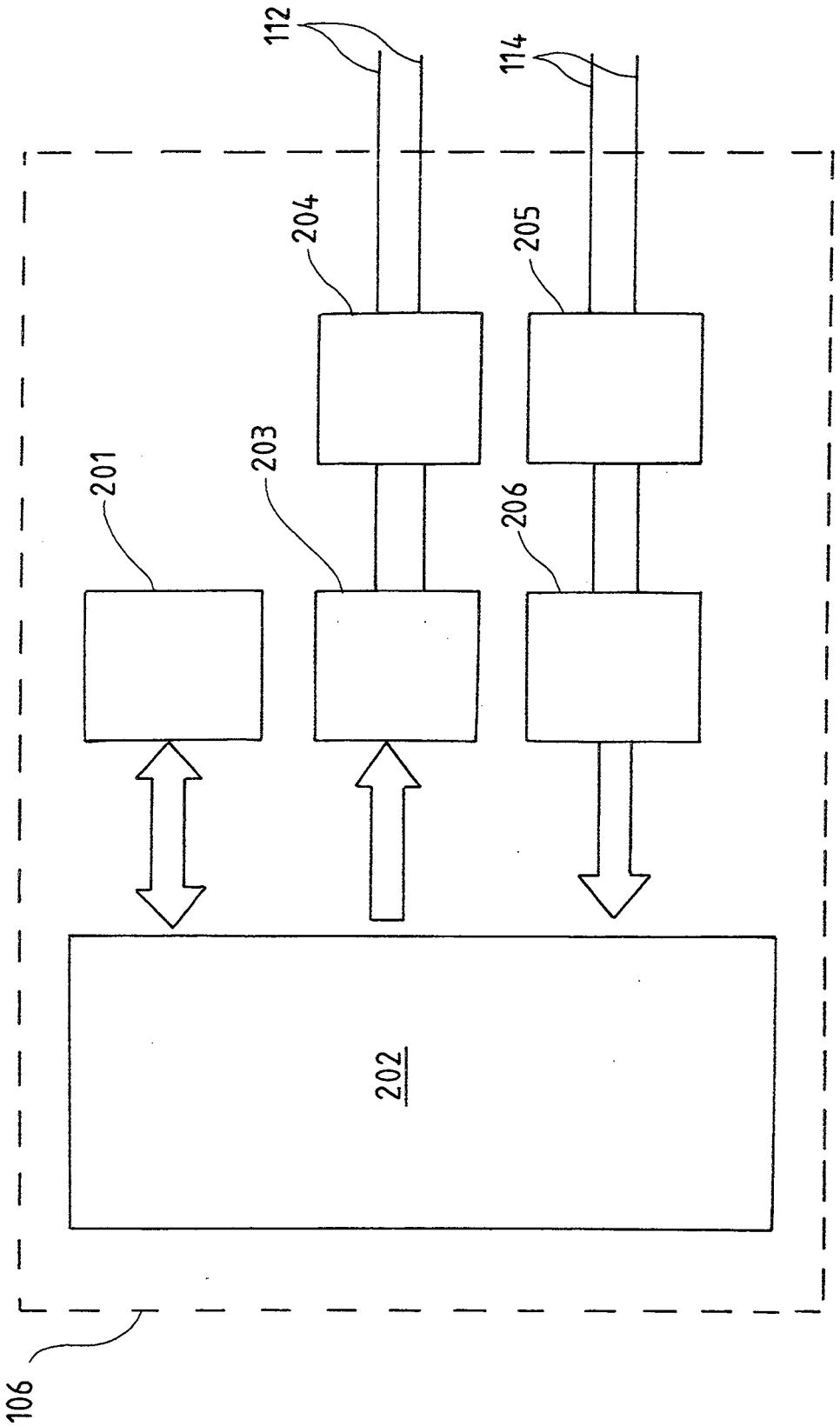


Fig. 3

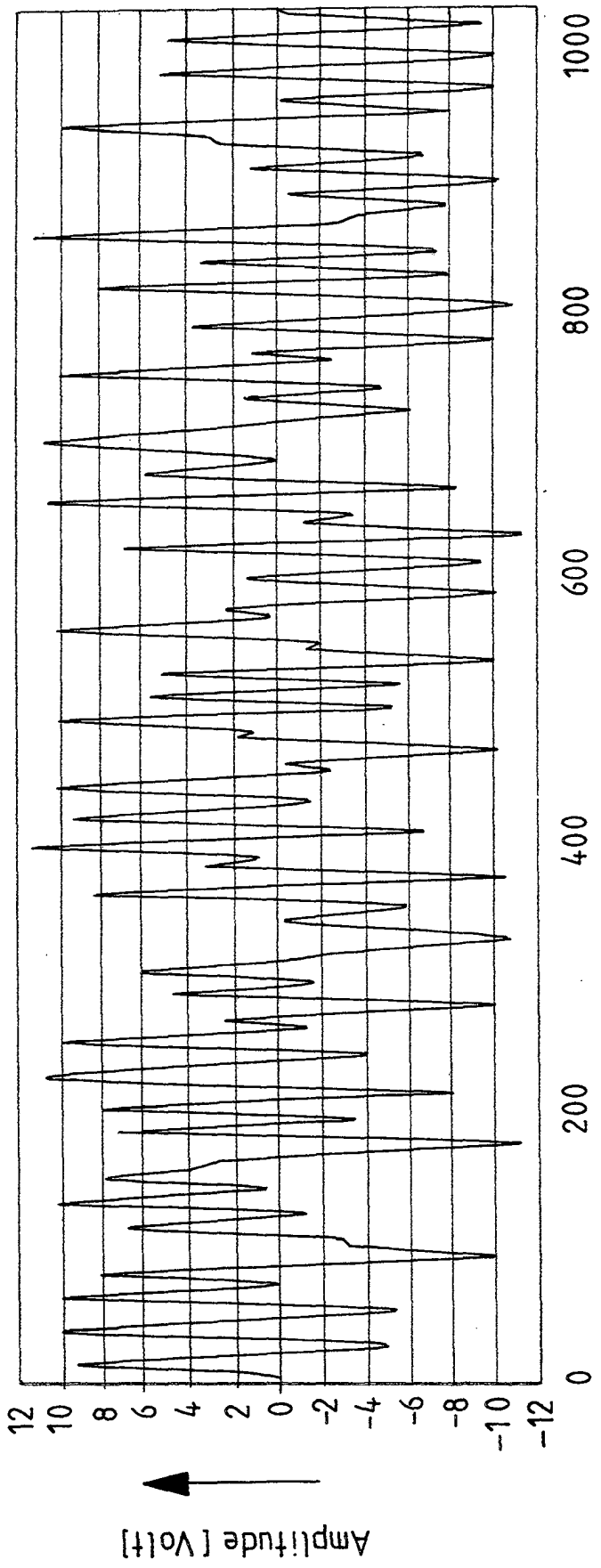

Amplitude [Volt]
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
Zeit [ms]
0
200
400
600
800
1000

Fig. 4

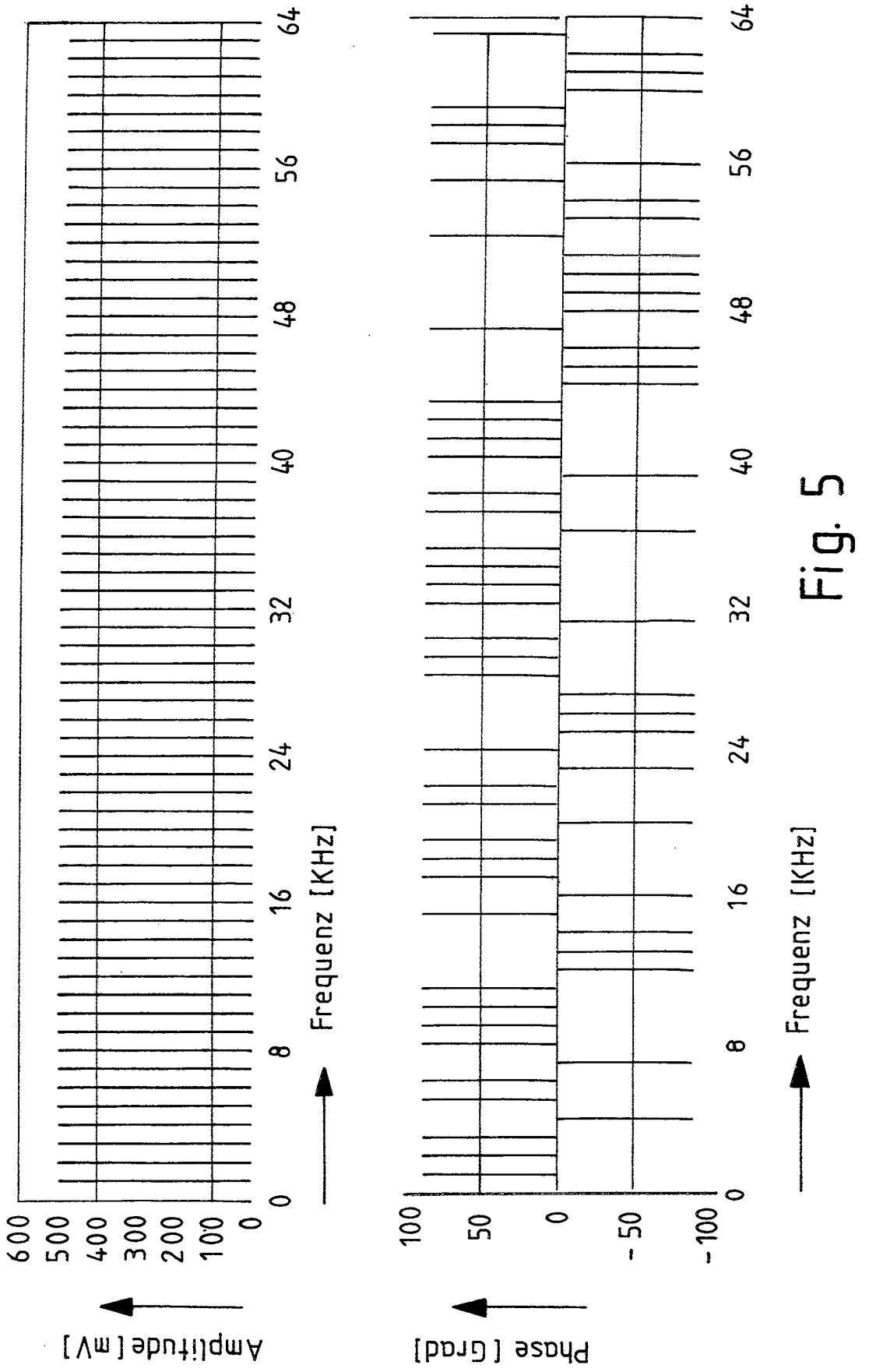

Amplitude [mV]
600
500
400
300
200
100
0
0
8
16
24
32
40
48
56
64
Frequenz [KHz]
Phase [Grad]
100
50
0
- 50
- 100
0
8
16
24
32
40
48
56
64
Frequenz [KHz]

Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1940564 B1 **[0003]**
- US 5654638 A **[0006]**
- EP 1940546 B1 **[0029] [0035]**