

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

(19) Weltorganisation für geistiges

Eigentum

Internationales Büro



(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum

14. Februar 2013 (14.02.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/020686 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01V 3/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/003323

(22) Internationales Anmelddatum:

3. August 2012 (03.08.2012)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2011 109 870.8

10. August 2011 (10.08.2011)

DE

10 2012 001 202.0

24. Januar 2012 (24.01.2012)

DE

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : REIME, Gerd [DE/DE]; Klotzbergstr. 60i,
77815 Bühl (DE).

(74) Anwalt: REINHARDT, Harry; Patentanwälte Reinhardt
& Pohlmann Partnerschaft, Grünstrasse 1, 75172
Pforzheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: SENSOR FOR LOCATING METAL OBJECTS AND ASSOCIATED COIL

(54) Bezeichnung : SENSOR ZUR ORTUNG METALLISCHER OBJEKTE SOWIE ZUGEHÖRIGE SPULE

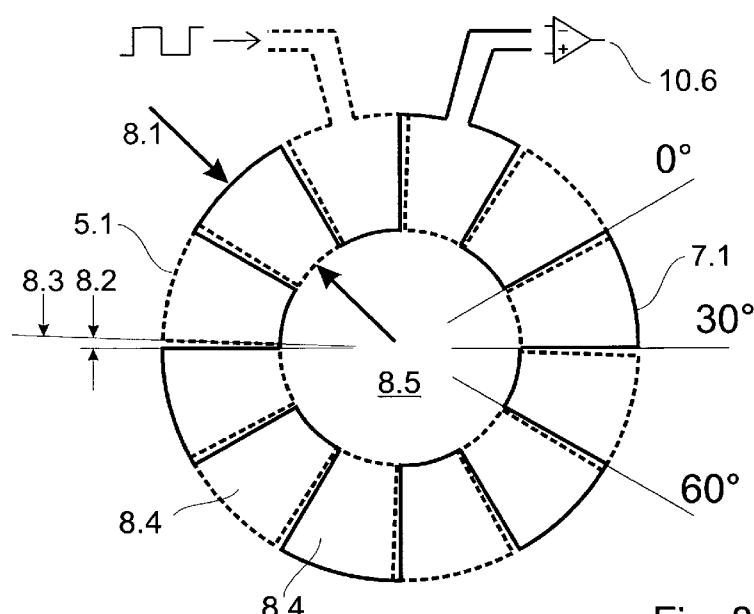


Fig. 8

(57) Abstract: A sensor for locating metal objects has coils or coil parts which form at least one transmitting coil (5.1) and at least one receiving coil (7.1) which are inductively coupled to one another and are arranged such that said coils partially overlap for the purpose of interaction decoupling, wherein optimum cancellation of the interaction can be achieved. Sensor electronics are provided for energizing the transmitting coil and for evaluating a reception signal (10.6) from the receiving coil. As a result of the fact that the transmitting coil (5.1) and the receiving coil (7.1) substantially have an identical coil shape and are arranged such that said coils are rotated and/or offset with respect to one another, wherein a plurality of symmetrically arranged, overlapping regions (8.4) are formed, a sensor which provides a greater range and extended possibilities for installation in conventional industrial sensor housings is provided.

(57) Zusammenfassung: Ein Sensor zur Ortung metallischer Objekte weist

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

Spulen bzw. Spulenteile auf, die wenigstens eine Sendespule (5.1) und wenigstens eine Empfangsspule (7.1) ausbilden, welche induktiv miteinander gekoppelt und zur Wechselwirkungsentkopplung teilweise überlappend angeordnet sind, wobei eine optimale Auslöschung der Wechselwirkung erreichbar ist. Eine Sensorelektronik ist zur Bestromung der Sendespule und zur Auswertung eines Empfangssignals (10.6) der Empfangsspule vorgesehen. Dadurch, dass Sendespule (5.1) und Empfangsspule (7.1) im Wesentlichen eine identische Spulenform aufweisen und zueinander verdreht und/oder versetzt angeordnet sind, wobei sich mehrere symmetrisch angeordnete, überlappende Bereiche (8.4) ausbilden, wird ein Sensor geschaffen, der eine höhere Reichweite bzw. erweiterte Einbaumöglichkeiten in übliche Industriesensorgehäuse bietet.

- 1 -

Sensor zur Ortung metallischer Objekte sowie zugehörige Spule

Beschreibung

5 Bezug zu verwandten Anmeldungen

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldungen 10
2011 109 870.8, hinterlegt am 10. August 2011, und 10 2012 001 202.0, hinterlegt am 24.
Januar 2012, deren Offenbarungsgehalt hiermit ausdrücklich auch zum Gegenstand der
10 vorliegenden Anmeldung gemacht wird.

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Sensor zur Ortung metallischer Objekte nach dem Oberbegriff
15 des Anspruches 1 sowie eine zugehörige Spule nach dem Oberbegriff des Anspruches 13.

Stand der Technik

Metalldetektoren arbeiten nach verschiedenen Prinzipien. Bei einigen Ausführungen wird nur
20 eine Spule verwendet, die z.B. Teil eines Oszillators ist. Bei Metallannäherung ändert sich
die Spannung am Schwingkreis des Oszillators. Diese Veränderung der Spannung wird
dann entsprechend ausgewertet und zur Bestimmung des Metalls verwendet.

Andere Messprinzipien senden mit einer Spule einen elektromagnetischen Puls aus, der in
25 dem zu detektierenden Metallteil einen Wirbelstrom erzeugt. Dieser Wirbelstrom wird in der
Regel mit einer zweiten Spule empfangen und entsprechend ausgewertet.

Gemäß einem anderen Verfahren wird mit einer Sendespule ein kontinuierliches Wechsel-
feld ausgesendet, das mit einer zweiten Spule empfangen wird. Diese zweite Spule ist so
30 gegenüber der ersten Sendespule angeordnet, dass sich ohne den Metalleinfluss eines zu
detektierenden Objekts die magnetische Wirkung der Sendespule in der Empfangsspule
aufhebt. Die mechanische Anordnung der Sende- und Empfangsspule muss sehr stabil ge-
wählt werden, da jede kleine Verschiebung oder Verformung sofort zu einem Ausgangssig-
nal in der Empfangsspule führt.

- 2 -

Die dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche zu Grunde liegenden, in der WO 2010/084000 A1 und die WO 2010/133328 A1 gezeigten Anordnungen verwenden in einem weiteren Verfahren zwei gegeneinander versetzte Sendespulen und regeln mit den Stroman- teilen ein Empfangssignal ständig, also auch mit oder ohne Metall, zu „Null“. In diesem Sys-
5 tem haben Temperatureinflüsse auf die Empfangsspule und den Vorverstärker keine Ein- flüsse auf den gemessenen Detektionswert. Der Detektionswert wird aus dem Verhältnis der geregelten Sendeströme abgeleitet, so dass auch bei nahezu gleichen Sendeströmen eine Beeinflussung des Detektionswerts durch Temperatureinfluss auf die Sendespulen ausge- schlossen werden kann. Mechanische Verformungen der Spulenanordnungen führen ledig-
10 lich zu einem „Offset“ im Detektionswert, da das Empfangssignal weiterhin „Null“ bleibt.

Bei den letztgenannten Verfahren wird eine Spulenanordnung eingesetzt, bei der sich das oder die Magnetfelder der Sendespule/n in der oder den Empfangsspulen aufheben. Nur der vom zu detektierenden Metallgegenstand ausgehende Anteil wird gemessen. Dazu werden
15 die Spulen so überlappt angeordnet, dass sich ohne Metalleinfluss das ausgesendete Mag- netfeld in der Empfangsspule aufhebt. Die Überlappung der Spulen zueinander beträgt nur einen geringen Teil der Spulenfläche. Dieser Teil ist für die Detektion der empfindlichste Be- reich. Der größte Teil der Spulenflächen überlappt sich jedoch nicht, und das führt daher zu großen Spulensystemen mit nur kleinem empfindlichen Bereich, der in der Regel auch noch
20 zum gesamten Spulensystem unsymmetrisch ist.

Bei sogenannten „Schatz- oder Minensuchgeräten“, wie aus der DE 43 39 419 C2 bekannt, wird häufig eine Spulenanordnung in einer Doppel-D Anordnung eingesetzt. Sendespule und Empfangsspule überlagern sich teilweise so, dass der Wechselinduktionskoeffizient minimal
25 ist. Die Spulen werden wechselweise als Sende- und Empfangsspule betrieben. Dabei sind die beiden „D“ spiegelbildlich und überlappend angeordnet. Warum sich nur ein kleiner Teil der Spulen überlappen darf, geht aus Fig. 1 hervor. Sie zeigt eine Spulenanordnung von der Seite. Die Feldlinien 1.3, die von einer Sendespule 1.2 ausgehen, sind im Mittelpunkt der Spule stärker konzentriert als im den die Spule umgebenden Außenbereich. Da die Emp-
30 fangsspule 1.1 von einer gleich großen Zahl Feldlinien im Innen- und im Außenbereich der Sendespule durchflutet werden muss, ergibt sich zwangsläufig die Anordnung in Fig. 1.

Ein im Pulsinduktionsverfahren(PI-)Modus betriebener Metalldetektor ist aus der DE 103 01 951 A9 bekannt. Die Wechselwirkung der primären und sekundären Spulen wird durch teil-
35 weise Überlappung der co-planaren Spulensysteme entkoppelt. Eine Einstellung der Ent- kopplung erfolgt mittels mechanisch verschiebbarer Massen im Bereich der Überlappung

- 3 -

oder durch elektrische Kompensationshilfsmittel z.B. in der Form zusätzlicher Kompensationssignale vom Generator in den Empfangskreis. Sie kompensieren den nicht vollständig entkoppelten Anteil der Sendeenergie in die Empfangsspule. Eine „Rückkoppelung“ zwischen detektiertem Signal der Empfangsspule und Kompensationswirkung, also eine geschlossene Regelung, liegt nicht vor.

Aus der DE 103 18 350 B3 ist eine vergleichbare Anordnung bekannt, bei der mehrere Spulen hinsichtlich ihres magnetischen Wechselfelds überlappend, benachbart versetzt zueinander geschachtelt sind. Eine größte Spule vorzugsweise die Empfangsspule bestimmt die Peripherie der Spulenanordnung.

Aus der DE 36 19 308 C1 ist eine Umkehrung des oben genannten Prinzips, d.h., eine umliegende Sendespule mit zwei als „Acht“ ausgebildeten Empfangsspulen, in denen gegenseitig das ausgesandte Feld ausgelöscht wird.

Aus der DE 10 2010 005 399 A1 ist an einem Positionssensor oder genauer einem Kurbelwinkelsensor, der den Winkel der Kurbelwelle an einem Fahrzeugmotor misst, die Verwendung von gegeneinander drehbaren Mäandern und Spulen. Das Mäandern wird dort, Absatz (0029) so erläutert, dass die Spule ein „Mäander Zacken Spulenmuster“ ausbildet, dass in einer rechteckigen Form mäandert. Dadurch bilden sich rechteckige Abschnitte, die jeweils in Richtung zum Außenrand der Regelleiterplatte vorstehen und Verbindungsabschnitte aufweisen, die jeweils benachbarte rechteckige Abschnitte verbinden. Werden die Spulen zueinander mit der Geschwindigkeit der Kurbelwelle des Fahrzeugmotors gedreht, ergibt sich eine periodische Schwankung, die in den verschiedenen Ausführungsformen erfasst werden kann, um eine exakte Motorsteuerung zu ermöglichen. Dadurch ergibt sich eine relativ große induzierte elektrische Leistung, jedoch wird dies nur zur Vereinfachung des Drehgebers genutzt.

Die DE 10 2004 047 189 A1 betrifft einen Balkensensor oder Stud Finder, der dazu bestimmt ist beispielsweise in Bauwerkstoffen verborgene metallische Objekte zu orten. Hierbei kann es sich um Bewehrungsstäbe oder Leitungen und Rohre handeln, die hinter einer Wand verdeckt sind. Um die Offset-Probleme des Standes der Technik zu verringern, die durch die sonst üblichen Spulentoleranzen auftreten, werden Leiterschleifensysteme durch Leiterstrukturen auf einer Leiterplatte ausgebildet. Sendespulen, Kompensations- und Empfangsleiter-schleifen sind zueinander höhenversetzt auf den Leiterplatten angeordnet.

- 4 -

Die ebenfalls auf einen Stud Finder gerichtete DE 10 2004 047 188 A1 zielt auf die Änderung der effektiven Windungszahl eines Empfangswindungssystems unter Einsatz von Schaltmitteln ab, um durch alternative Mittel die Empfindlichkeit zu steigern. Die Lösung ist weitestgehend ähnlich zur DE 10 2004 047 189 A1 aufgebaut.

5

Die DE 10 2009 042 940 A1 betrifft eine Positionsmesseinrichtung, die gemäß den Figuren 3, 4 mit mäandernden Leiterbahnen arbeitet. Die Leiterbahnen einer ersten Gruppe von schlängenförmigen Leiterbahnen und die Leiterbahnen einer zweiten Gruppe von schlängenförmigen Leiterbahnen sind über eine Durchkontaktierung elektrisch leitend miteinander verbunden sind. Dadurch ergeben sich Kreuzungsstellen der sich selbst kreuzenden Senderleiterbahnen, es erfolgt also keine Überlagerung einer Senderspule mit einer Empfangsspule.

Die WO 02/091021 A1 versucht bei einem Stud Finder ein möglichst geringes Offset-Signal zu erreichen, indem Sendespule und Empfangsspule induktiv gekoppelt werden und bei 15 konzentrischer Anordnung so hinsichtlich Windungszahl und Abmessungen dimensioniert werden oder die Sendeströme hinsichtlich Phasenlage und Amplitude so bemessen werden, dass eine gegenseitige Kompensierung stattfindet. Mit anderen Worten soll erreicht werden, dass ohne die Nähe eines Gegenstandes sich möglichst kein Signal ausbildet, sodass bei der Ortung eines Gegenstandes sich ein eindeutiges Signal ergibt.

20

Die DE 197 38 841 A1 zeigt periodische mäanderförmige, dreieckförmige Strukturen bei einem induktiven Winkelsensor, um eine detektierbare Änderung bei Verstellung des Winkels zu erreichen.

25 Die US 5,804,963 A1 zeigt das grundsätzliche Prinzip der Verwendung von mäandernder Strukturen, um dadurch bei einem Positionssensor periodisch sich ändernde elektromagnetische Änderungen einzuführen, die bei einem Positionssensor dazu beitragen, Änderungen messbar zu machen. Die Mäander werden allerdings nur teilweise vorgesehen und sind über die genannte Messgrößenverfeinerung nicht dazu bestimmt, die Reichweite zu erhöhen.

30

Dass der Begriff „Feldlinien“ nicht wörtlich zu nehmen ist, ist jedem Fachmann bekannt, da sie in etwa nur Bereiche gleicher magnetischer Stärke und Polung leichter veranschaulichen. Daher wird in der weiteren Beschreibung der Erfindung diese Darstellung zur Darstellung der magnetischen Dichte verwendet. Spulen werden der besseren Darstellbarkeit mit nur einer 35 Windung dargestellt. Die Erfindung geht selbstverständlich von Spulen mit mehreren Win-

- 5 -

dungen aus, bzw. von „gedruckten“ Spulen auf einer Platine. In den Spulen wirkt ein Wechselsignal; die Darstellung der Feldlinien wird nur während einer Taktphase dargestellt.

Offenbarung der Erfindung

5

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Sensor zur Ortung metallischer Objekte bzw. eine Spule zu schaffen, der bzw. die eine höhere Reichweite des Sensors bzw. erweiterte Einbaumöglichkeiten in übliche Industriesensorgehäuse bietet.

10

Diese Aufgabe wird durch einen Sensor mit den Merkmalen des Anspruches 1 bzw. durch eine Spule mit den Merkmalen des Anspruches 13 gelöst.

Durch den Sensor mit einem Spulensystem oder einer Spule wird für Metalldetektoren oder 15 Annäherungssensoren eine verbesserte Reichweite erreicht, indem die Größe der überlappenden Bereiche zwischen Sendespule(n) und Empfangsspule(n) und somit auch die Detektionsempfindlichkeit bei gleichzeitig rotationssymmetrischen Detektionseigenschaften deutlich vergrößert wird. Der Empfindlichkeitsbereich ist bei geringer Außenrandempfindlichkeit nahezu rotationssymmetrisch und weist keinen Nahfeldfehler auf. Unter einem Spulensys- 20 tem mit rotationssymmetrischen Detektionseigenschaften wird dabei ein Spulensystem verstanden, bei dem unabhängig davon, in welcher Richtung ein metallischer Gegenstand mit gleich bleibendem Abstand über das Spulensystem geführt wird, sich nahezu deckungsgleiche Kurven der dabei auftretenden Ausgangsspannung ergeben. Das Spulensystem nimmt also den Gegenstand, gleichgültig aus welcher Richtung er kommt, nahezu gleich wahr. Da- 25 zu werden vorzugsweise mäandernde Schleifenabschnitte der Windungen von Sende- und Empfangsspule ausgebildet. Unter mäandernden Schleifenabschnitten eines Leiters, der eine Windung einer Spule bildet, wird dabei verstanden, dass ein Leiter, der entlang seiner Längsrichtung vorzugsweise in gleicher Breite hin und her wandert, sprich mäandert, in Spulenform gebracht ist, d.h. der Mäander wird sozusagen wie bei einer Spule gebogen. Hieraus 30 bilden sich dann die Schleifenabschnitte einer Windung der Spule vorzugsweise so aus, dass die Schleifenabschnitte aus vorzugsweise kreisförmigen Abschnitten bestehen, die mit unterschiedlichem radialen Abstand zum Mittelpunkt einer vorzugsweise kreisförmigen Spule angeordnet sind und unter Bildung eines elektrischen Leiters über vorzugsweise radial angeordnete Abschnitte abwechselnd miteinander verbunden sind. So ergeben sich wechselseitig 35 in Richtung auf den Mittelpunkt der Spule oder nach außen hin offene oder geschlossene

- 6 -

sene Abschnitte der mäanderförmigen Windung der Spule, was zu der gewünschten Steigerung der sich überlappenden Bereiche führt.

- Die Sende- und Empfangsspule können zur Wechselwirkungsentkopplung verdreht und/oder
- 5 versetzt vorzugsweise so zueinander angeordnet werden, dass sich innerhalb der nach innen offenen, entlang des Umfangs der Spule mäandernden Schleifenabschnitte der Empfangsspule Feldlinien eines zu den von der Bestromung der Sendespule hervorgerufenen Feldlinien invertierten Felds ausbilden, während sich im Innern der Empfangsspule ein mit den Feldlinien der Sendespule gleichsinniges Feld ausbildet, das damit die Wirkung der
- 10 Sendespule unterstützt und die Reichweite vergrößert.

Weitere Vorteile ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele.

15 Kurzbeschreibung der Figuren

Im Folgenden wird die Erfindung an Hand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

- 20 Fig. 1 eine Darstellung der Magnetfeldlinien einer Sendespule,
Fig. 2 eine Draufsicht auf das Spulensystem gemäß Fig. 1,
Fig. 3 die Feldlinien um einen geraden Strom durchflossenen Leiter,
Fig. 4 die Feldlinien um einen mäanderförmigen Strom durchflossenen Leiter,
Fig. 5 eine Windung einer erfindungsgemäßen mäanderförmigen Sendespule,
- 25 Fig. 6 die dazu entstehenden Feldlinien der Sendespule,
Fig. 7 die Empfangsspule mit den zugehörigen Feldlinien,
Fig. 8 ein Spulensystem mit Sendespule und Empfangsspule,
Fig. 9 die bei Verdrehung gegenüber der Sendespule entstehende Spannung an der
Empfangsspule bei einem getakteten Sendestrom in der Sendespule über
30 dem Verdrehwinkel,
- Fig. 10 eine Spulenanordnung in einem weiteren erfindungsgemäßen Ausführungs-
beispiel mit zwei um einen kleinen Winkelbereich unterschiedlichen Sen-
despulen,
Fig. 11 die Wirkungsweise der Anordnung gemäß Fig. 10 an Hand einer Ausgangs-
35 spannung der Empfangsspule bei Verschieben der Bestromung von einer
Sendespule zur anderen,

- 7 -

- Fig. 12, 13 die Detektionsempfindlichkeit einer Spulenanordnung nach dem klassischen „Doppel-D“ Prinzip und einer erfindungsgemäßen Spulenanordnung,
Fig. 14 ein in eine metallische Umgebung eingebundenes Spulensystem und
Fig. 15 die erfindungsgemäße Spulenanordnung mit einer mittigen Öffnung für eine
5 Rohrleitung.

Ausführliche Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

- Die Erfindung wird jetzt beispielhaft unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Allerdings handelt es sich bei den Ausführungsbeispielen nur um Beispiele, die nicht das erforderliche Konzept auf eine bestimmte Anordnung beschränken sollen. Bevor die Erfindung im Detail beschrieben wird, ist darauf hinzuweisen, dass sie nicht auf die jeweiligen Bauteile der Vorrichtung sowie die jeweiligen Verfahrensschritte beschränkt ist, da diese Bauteile und Verfahren variieren können. Die hier verwendeten Begriffe sind lediglich dafür bestimmt, besondere Ausführungsformen zu beschreiben und werden nicht einschränkend verwendet. Wenn zudem in der Beschreibung oder in den Ansprüchen die Einzahl oder unbestimmte Artikel verwendet werden, bezieht sich dies auch auf die Mehrzahl dieser Elemente, solange nicht der Gesamtzusammenhang eindeutig etwas Anderes deutlich macht.
- 20 Für die im Folgenden verwendete Darstellung der Feldlinien zeigt Fig. 1 symbolisch die Richtung der Feldlinien in der Draufsicht des Spulensystems. Punkte symbolisieren demnach auf den Betrachter zulaufende Feldlinien, während Kreise die vom Betrachter wegführenden Feldlinien darstellen.
- 25 Fig. 1 zeigt eine bekannte Spulenanordnung mit sich überlappender Sendespule 1.2 und Empfangsspule 1.1 von der Seite. Feldlinien 1.3, die von der Sendespule 1.2 ausgehen, sind im Mittelpunkt der Spule stärker konzentriert als in dem die Spule umgebenden Außenbereich. Da die Empfangsspule 1.1 zur Wechselwirkungsentkopplung von einer gleich großen Zahl Feldlinien im Innen- und im Außenbereich der Sendespule durchflutet werden muss, ergibt sich zwangsläufig die Anordnung in Fig. 1. Fig. 2 zeigt die Wirkung des bekannten Spulensystems gemäß Fig. 1, bei dem die Sendespule 1.2 ein Feld aussendet. Die auf den Betrachter zulaufenden Feldlinien 2.1 konzentrieren sich innerhalb der Sendespule 1.2, die wegführenden Feldlinien 2.2 verteilen sich in einem größeren Bereich um die Spule herum. Um mit der Empfangsspule 1.1 ein „Null“-Signal zu erreichen, muss sie so angeordnet werden, dass in etwa die gleiche Anzahl „punktähnlicher“ Feldlinien sowie „kreisförmiger“ Feldlinien die Spule durchdringen. Somit hebt sich die Wirkung des Magnetfeldes in der Spule auf

- 8 -

und sie wird ausschließlich die vom zu detektierenden Gegenstand ausgehenden, durch die Sendespule 1.2 angeregten magnetischen Felder empfangen. Dies ist am wirksamsten in dem Bereich, in dem sich die Spulen überlappen.

- 5 Um die Effektivität eines Spulensystems deutlich zu erhöhen, wurde von folgender Überlegung ausgegangen: ein gerader Strom durchflossener Leiter 3.1 bildet gemäß Fig. 3 um sich herum Feldlinien, deren Anzahl mit der Entfernung vom Leiter abnimmt. Fig. 4 zeigt dagegen die Feldlinien um einen mäanderförmigen Strom durchflossenen Leiter 4.1. Die Feldlinien konzentrieren sich hauptsächlich innerhalb der „Spulenabschnitte“ 4.2, die aus je einer halben Windung des Mäanders bestehen.

- 10 Um diesen Effekt in einer mehrwindigen Spule zu nutzen, wird der mäanderförmige Leiter in Spulenform gebracht, d.h. der Mäander wird sozusagen wie bei einer Spule gebogen. In Fig. 5 wird daraus nur eine mäanderförmige Windung der Spule, einer Sendespule 5.1 dargestellt, wobei die Empfangsspule 7.1 gemäß Fig. 7 im Wesentlichen eine identische Spulenform aufweist.

- 15 Mit diesen Spulen wird ein Sensor zur Ortung metallischer Objekte mit Spulen bzw. Spulenteilen gebildet, die wenigstens eine Sendespule 5.1 und wenigstens eine Empfangsspule 7.1 ausbilden, welche induktiv miteinander gekoppelt und zur Wechselwirkungsentkopplung teilweise überlappend angeordnet sind, wobei eine optimale Auslöschung der Wechselwirkung erreichbar ist.

- 20 Eine Sensorelektronik ist zur Bestromung der Sendespule und zur Auswertung eines Empfangssignals 10.6 der Empfangsspule vorgesehen. Sendespule 5.1 und Empfangsspule 7.1 sind gemäß Fig. 8 zueinander verdreht und/oder versetzt angeordnet sind, wobei sich mehrere symmetrisch angeordnete, überlappende Bereiche 8.4 ausbilden. Diese überlappenden Bereiche 8.4 sind vorzugsweise punktsymmetrisch zur Mitte der Spulen angeordnet sind.

- 25 Gemäß Fig. 5 und 7 weist die Spulenform entlang des Umfangs der ebenen Spule bzw. Spulenteile angeordnete, mäandernde Schleifenabschnitte 5.2, 7.2 auf. Die vorzugsweise kreisförmige Spule weist n Schleifenabschnitte 5.2, 7.2 mit n z.B. ≥ 6 auf, wobei die Schleifenabschnitte von Sendespule 5.1 und Empfangsspule 7.1 um einen Winkel von etwa $360^\circ / (n * 2)$ verdreht angeordnet sind. Dies bedeutet dass sich bei $n = 6$ ein Verdrehwinkel von etwa $360^\circ / (6 * 2) \approx 30^\circ$, was etwa der Winkelhalbierenden des Winkels von 60° des jeweiligen Schleifenabschnitts bei sechs Schleifenabschnitten entspricht. Warum nur ungefähr 30° , wird im Folgenden noch erläutert.

- 9 -

Die Schleifenabschnitte 5.2, 7.2 bauen sich aus vorzugsweise kreisförmigen Abschnitten 5.3, 5.4 auf, die mit unterschiedlichem radialen Abstand zum Mittelpunkt der kreisförmigen Spule angeordnet sind und unter Bildung eines elektrischen Leiters über vorzugsweise radial 5 angeordnete Abschnitte 5.5 abwechselnd miteinander verbunden sind. So ergeben sich wechselweise in Richtung auf den Mittelpunkt der Spule oder nach außen hin offene oder geschlossene Abschnitte der mäanderförmigen Windung der Spule. Andere Formen als kreisförmige oder radial angeordnete Abschnitte sind denkbar. So können z.B. die Abschnitte 5.3, 5.4 auch geradlinig sein oder die Abschnitte 5.5 nicht radial zur Mitte verlaufen. We- 10 sentlich ist die Bildung der Schleifenabschnitte 5.2, 7.2.

Fig. 6 zeigt die zugehörigen, dabei entstehenden Feldlinien der Sendespule 5.1, wenn ein Strom durch diese Spule fließt. Für den weiteren Verlauf der Darstellung der Erfindung werden die Sendespule/n zur Unterscheidung von den Empfangsspulen jeweils gestrichelt dar- 15 gestellt.

Die Anzahl n der Mäander bzw. Schleifenabschnitte 5.2, 7.2 ist beliebig und richtet sich nach der verwendeten Spulenausführung. Je höher die Anzahl ist, umso rotationssymmetrischer wird sich die Spule verhalten. In der Praxis hat sich eine Anzahl von sechs bis zehn mäan- 20 dernden Schleifenabschnitten auf dem Kreisumfang, so wie in Fig. 5 dargestellt, z.B. für eine gedruckte Spule als allgemein ausreichend erwiesen. Die weitere Beschreibung geschieht auf Basis einer Spule mit sechs Schleifenabschnitten.

Die Empfangsspule 7.1 kann im Wesentlichen gleich der Sendespule 5.1 aufgebaut sein. Sie 25 wird mit „etwa“ 30 Grad Versatz deckungsgleich auf (oder unter) der Sendespule ange- bracht. Dadurch „empfängt“ sie gleich viele Feldlinien der unterschiedlichen Richtung, so dass die Sendespule keine induktive Wirkung auf die Empfangsspule ausübt. Ein metalli- scher Gegenstand vor diesem Spulensystem wird von der Sendespule 5.1 angeregt, wäh- rend die im Mittelpunkt zu einem großen Teil deckungsgleichen Empfangsspulenbereiche 30 das vom Metallgegenstand ausgesendete Feld ungestört empfangen. Innerhalb der nach innen offenen Schleifenabschnitte 7.2 der Empfangsspule 7.1 entstehen Feldlinien eines zu den von der Bestromung der Sendespule hervorgerufenen Feldlinien invertierten Felds, wäh- rend sich im Innern 7.6 der Empfangsspule ein mit den Feldlinien der Sendespule gleichsin- niges Feld ausbildet, das die Funktion und damit die Reichweite der Sendespule unterstützt.

- 10 -

Fig. 8 zeigt ein Spulensystem mit der Sendespule 5.1 und der Empfangsspule 7.1. Beide Spulen haben einen Winkelversatz von fast 30°.

Im Stand der Technik - „Doppel-D“ wird die Auslöschung der induktiven Wirkung der Sendespule auf die Empfangsspule durch Verschieben der Spulen zueinander erreicht. Erfahrungsgemäß hingegen geschieht die für diese Auslöschung erforderliche Einstellung meist nur beim Kalibrieren des Spulensystems durch Verändern der Tiefe 8.1 der Mäander, d.h. durch Verändern des radialen Abstands der Abschnitte 5.3, 5.4 oder bei festgelegter Tiefe durch Verdrehung des Spulenwinkels 8.3 zwischen Sendespule 5.1 und Empfangsspule 7.1.

10

Fig. 9 zeigt die bei der Verdrehung entstehende Spannung 9.5 an der Empfangsspule bei einem getakteten Sendestrom in der Sendespule 5.1. (Die Spannungswerte sind nur Beispieldaten). Angefangen bei 0 Grad ergibt sich nur eine Erfassung der Feldlinien 2.1, die im Innenbereich der Sendespule 5.1 entstehen. Bei 30 Grad Verdrehung werden zusätzlich die invertierten äußeren Feldlinien 2.2 erfasst, während die Erfassung der Feldlinien 2.1 entsprechend abnimmt. Eine optimale Anordnung der Spulen ist gegeben, wenn sich genau bei 30 ° oder bereits bei einem kleinen Winkelbereich 8.2 vor Erreichen des 30° Versatzes zwischen Sende- und Empfangsspule das Sendesignal in der Empfangsspule 7.1 auslöscht, sich also ein „Null“-Wert ergibt. Die dazu gehörige Kurve 9.2 zeigt eine Unterschreitung des „Null“-Wertes an der Position 9.4, also einen kleinen Winkelbereich 8.2 (Fig.8) vor Erreichen der 30°. Die dazu gehörige Position der Sendespule ist mit 8.3 bezeichnet. Auf sie wird später noch zurückgegriffen. In der Position, welche dem Verlauf der Kurve 9.4 entspricht, lösen sich also die Magnetfelder der Sendespule 5.1 in der Empfangsspule 7.1 vollständig aus. Die Größe des Winkelbereichs 8.2 kann durch die radiale Tiefe 8.1 (Fig.8) der mäandernden Schleifenabschnitte 5.2, 7.2 bestimmt werden.

Bei einer zu kleinen Tiefe 8.1 der mäandernden Schleifenabschnitte fällt bei der Verdrehung um den Winkelgrad 9.6 die Spannung ab, bis sie bei 30 Grad ein Minimum erreicht hat, um dann wieder anzusteigen. Dies verdeutlicht die Kurve 9.1. Im Minimum bei 30 Grad wird da-30 bei jedoch noch keine Auslöschung erreicht. Das heißt, die Schleifenabschnitte sind zu klein. Bei einer zu großen Tiefe der mäandernden Schleifenabschnitte wird dagegen eine Auslöschung des Sendesignals in der Empfangsspule 7.1 deutlich vor Erreichen der 30 Grad eintreten. Ein Weiterdrehen erzeugt dann ein invertiertes Signal, das sein Maximum bei 30 ° Winkelversatz aufweist. Das heißt, die Schleifenabschnitte sind zu groß. Auch ein solches Spulensystem kann in der Praxis eingesetzt werden, jedoch verringert sich dabei der durch

- 11 -

beide Spulen gemeinsam genutzte „Überlappungsbereich“, bzw. die effektive Sende- bzw. Empfangsfläche.

- In dieser Anordnung mit fest eingestellten Spulenwinkel 8.3 können mechanische Einflüsse,
5 wie z.B. eine Verformung des Spulensystems oder auch ein Metalleinfluss zu einer Ver-
schiebung des Punktes 9.4 der optimalen Auslöschung führen.

Darum wurde in den WO 2010/084000 A1 und die WO 2010/133328 A1 vorgeschlagen, mit
zwei Sendespulen und jeweils geregelten Spulenströmen zu arbeiten, um immer ein perfek-
10 tes „Null“-Signal zu erhalten. Die weitere Beschreibung der Erfindung bezieht sich auf oben
genannten Patentanmeldungen. Für die vorliegende Erfindung ist insbesondere wesentlich,
dass sich durch die Wechselwirkung von Sendespulen und wenigstens einer Empfangsspule
ein örtlicher Punkt optimaler Auslöschung der von den Sendespulen ausgesandten Felder in
den Empfangsspulen ergibt. Die Spulen sind dabei so angeordnet, dass die Sendespulentei-
15 le bei gleicher Bestromung eine Wirkung auf die wenigstens eine Empfangsspule ausüben,
bei der ein örtlicher Punkt der optimalen Auslöschung der ausgesandten Felder in den Emp-
fangsspulen entsteht. Dieser Punkt verschiebt bzw. bewegt sich jedoch bei hauptsächlicher
bis alleiniger Bestromung einer ersten Sendespule oder eines ersten Teils der Sendespule in
20 eine erste Richtung, während er sich bei hauptsächlicher bis alleiniger Bestromung einer
weiteren Sendespule oder eines weiteren Teils der Sendespule in eine weitere, vorzugswei-
se der ersten Richtung entgegengesetzten Richtung verschiebt bzw. bewegt. Dieser örtliche
Punkt der optimalen Auslöschung wird durch eine Metallannäherung beeinflusst. Eine Re-
25 gelschaltung zur Regelung der Ströme der Sendespulenteile führt im Regelungsfall zu einer
Verschiebung des örtlichen Punktes der optimalen Auslöschung, die eine Auslöschung des
Empfangssignals bewirkt. Der dafür erforderliche Regelwert bzw. seine Änderung wird vor-
zugsweise als Maß für eine Metallannäherung oder eine Ortung metallischer Objekte ver-
wendet.

Um mit zwei geregelten Sendeströmen das Empfangssignal in der Empfangsspule auszulö-
30 schen, werden zwei um einen kleinen Bereich im Winkel unterschiedliche Sendespulen 5.1
und 5.7 mit geregelten Spulenströmen eingesetzt. Fig. 10 zeigt eine derartige Spulenanord-
nung. Die Sendespule 5.1 hat einen kleinen Winkelversatz 10.4 in Richtung „vor“ dem Spu-
lenwinkel 8.3 der optimalen Auslöschung bei einer Einzelspule, die weitere Sendespule 5.7
35 einen kleinen Winkelversatz 10.5 „nach“ dem Winkel der optimalen Auslöschung. Die Win-
kelversätze können in der Praxis kleiner sein als in Fig. 10 dargestellt, sie liegen z. B. im
Bereich von 0.2 Grad.

- 12 -

Die Spulen sind so gepolt, das die Feldlinien in jeder Taktphase 10.1 in gleiche Richtung zeigen. Bei gleichem Strom in beiden Sendespulen 5.1 und 5.7 ist die Wirkung beider Sendespulen zusammen gleich der Wirkung der Einzelspule im Ausführungsbeispiel der Fig. 5. Es ergibt sich also eine Auslöschung der gesendeten Magnetfelder in der Empfangsspule.

5

Fig. 11 zeigt die Wirkungsweise an Hand einer möglichen Ausgangsspannung 10.6 der Empfangsspule 7.1 bei Verschieben der Bestromung von der Spule 5.1 hin zur Spule 5.7. Dabei sollen die Sendespule 5.1 bei 27° und die Sendespule 5.7 bei 29° angeordnet sein. Wird nur die Sendespule 5.1 bestromt, ergibt sich z.B. eine Ausgangsspannung von 250mV 10 mit zur Sendepolarität gleicher Phase. Eine Regelung des Stromes der Sendespule 5.1 hin zu kleineren Werten und des Stroms der Sendespule 5.7 hin zu größeren Werten verändert die Ausgangsspannung 10.6 bis der Punkt 11.1 erreicht wird, also der Auslöschung der gesendeten Magnetfelder in der Empfangsspule 7.1. Das Ausgangssignal 10.6 wird zu einem „Null“-Signal. In den WO 2010/084000 A1 und die WO 2010/133328 A1 sind alle weiteren 15 Maßnahmen zur ständigen Regelung der Sendeströme zur kontinuierlichen Beibehaltung eines „Null“ Signals ausführlich beschrieben.

Ein weiterer Vorteil der hier beschriebenen Spulenanordnung, egal ob mit einer oder zwei Sendespulen, ist in Fig. 12 und Fig. 13 dargestellt. In einer Testschaltung wurden Spulen mit 20 gleichen Windungszahlen (je 20), gleichem Durchmesser (120mm) und gleichen Sendeströmen verwendet. Fig. 12 zeigt die Spulenanordnung nach dem klassischen „Doppel-D“ Prinzip, Fig. 13 die neue Spulenanordnung mit Mäanderspule.

Über beide Spulenanordnungen wurde ein Metallgegenstand (Cu, D=30 mm x 5 mm) in einem Abstand von 100 mm in der Richtung „A“ und „B“ bewegt und die dabei auftretenden Ausgangsspannungen 12.1 gemessen. Der Spannungsverlauf ist auf der Wegstrecke 12.4 aufgetragen. In beiden Bewegungsrichtungen A und B entstehen unterschiedliche Kurven 12.2 und 12.3 der Ausgangsspannung 12.1. Der deutliche Unterschied zeigt, dass das Doppel-D Spulensystem in Fig. 12 keine rotationssymmetrische Empfindlichkeit aufweist. In Bewegungsrichtung A ergibt sich bei der Doppel-D Anordnung in Fig. 12 eine Polaritätsumkehr. Bezeichnenderweise tritt sie im Nahbereich der Spule, also in einem Abstand zur Spule von z.B. weniger als einem Viertel des Spulendurchmessers besonders stark auf, und kann in induktiven Messsystemen durchaus zu Messfehlern führen.

35 Vollständig anders verhält sich das erfindungsgemäße Spulensystem in Fig. 13. Zunächst zeigt es eine deutlich höhere Empfindlichkeit. Außerdem sind beide Kurven 13.1 der Aus-

- 13 -

- gangsspannung in beiden Bewegungsrichtungen A und B deckungsgleich. Das Spulensystem besitzt also eine nahezu rotationssymmetrische Empfindlichkeit. „Nahezu“ bedeutet: je mehr mäandernde Schleifenabschnitte auf dem Spulenumfang angeordnet sind, desto rotationssymmetrischer ist die Empfindlichkeit. In der Praxis haben sich z.B. 6-8 mäandernden
- 5 Schleifenabschnitte für eine vollständig ausreichende Rotationssymmetrie bewährt. Die Nahfeldeffekte wie bei der Doppel-D Anordnung treten nicht auf.

Des Weiteren zeigt das Mäanderspulensystem im Außenbereich eine größere Unempfindlichkeit, was z.B. ein Vorteil ist, wenn das Spulensystem in einem rohrförmigen metallischen

10 Gehäuse untergebracht wird, wie dies bei Annäherungssensoren für die Automatisierungs-technik üblich ist. In dieser Anordnung, die Fig. 14 zeigt, kann durch geeignete Wahl des Spulenwinkels 8.3 die metallische Umgebung des Spulensystems ausgeblendet werden. Als geeignete Winkel haben sind Versatzwinkel im Bereich von $\pm 2^\circ$ in der Praxis bewährt.

15 Ein weiterer wesentlicher Vorteil zeigt Fig. 15. Im Spulensystem 15.1 ergibt sich die Möglichkeit einer relativ großen Öffnung 8.5. So kann eine nicht metallische oder wenigstens dünnwandige metallische Rohrleitung oder dergleichen durch die Spulenanordnung geführt werden. Auf diese Weise können z.B. metallische Abriebpartikel in einer fließenden Flüssigkeit 15.3, z.B. in Hydrauliköl mit hoher Empfindlichkeit detektiert werden.

20

Die Spulen 5.1, 7.1 können für sich entsprechend aufgebaut werden und dem Sensor zur Herstellung zugeführt werden.

Es versteht sich von selbst, dass diese Beschreibung verschiedensten Modifikationen, Ände-

25 rungen und Anpassungen unterworfen werden kann, die sich im Bereich von Äquivalenten zu den anhängenden Ansprüchen bewegen.

Bezugszeichenliste

- 1.1 Empfangsspule
1.2 Sendespule
1.3 Feldlinienverlauf
1.4 symbolische Darstellung der Feldlinien im Spulenquerschnitt
2.1 auf den Betrachter zulaufende Feldlinien
2.2 vom Betrachter weglaufende Feldlinien
3.1 gerader Strom durchflossener Leiter
4.1 mäanderförmiger Strom durchflossener Leiter
4.2 Spulenabschnitt mit einer Halbwundung
5.1 Sendespule
5.2 Schleifenabschnitt
5.3, 5.4 Abschnitte (kreisförmig)
5.5 radiale Abschnitte
5.7 weitere Sendespule
7.1 mäanderförmige Empfangsspule
7.2 Schleifenabschnitt
7.6 Innerer Bereich von 7.1
8.1 Tiefe der Schleifenabschnitte
8.2 Winkelbereich
8.3 Spulenwinkel
8.4 überlappender Bereich
8.5 Öffnung
9.1 Spannungskurve bei zu kleiner Tiefe der Mäander
9.2 Spannungskurve bei Auslösung
9.3 Spannungskurve bei zu großer Tiefe der Mäander
9.4 Position
9.5 Spannung an der Empfangsspule
9.6 Winkelgrad der Verdrehung
9.7 „Null“-Wert
10.1 Taktphase
10.4 Winkelversatz „vor“ Winkel 8.3
10.5 Winkelversatz „nach“ Winkel 8.3
10.6 Ausgangsspannung
11.1 Punkt der Auslösung in der Empfangsspule
12.1 Ausgangsspannung einer Testschaltung
12.2 Spannungsverlauf bei Bewegung in Richtung A
12.3 Spannungsverlauf bei Bewegung in Richtung B
13.1 deckungsgleiche Kurve der Bewegungsrichtung A und B
15.1 Spulensystem um Rohrleitung
15.2 Rohrleitung
15.3 fließende Flüssigkeit
A erste Bewegungsrichtung eines Metallgegenstandes
B zweite Bewegungsrichtung eines Metallgegenstandes

Patentansprüche

1. Sensor zur Ortung metallischer Objekte mit Spulen bzw. Spulenteilen, die wenigstens eine Sendespule (5.1) und wenigstens eine Empfangsspule (7.1) ausbilden, welche induktiv miteinander gekoppelt und zur Wechselwirkungsentkopplung teilweise überlappend angeordnet sind, wobei eine optimale Auslösung der Wechselwirkung erreichbar ist,
sowie mit einer Sensorelektronik zur Bestromung der Sendespule und zur Auswertung eines Empfangssignals (10.6) der Empfangsspule,
dadurch gekennzeichnet, dass Sendespule (5.1) und Empfangsspule (7.1) im Wesentlichen eine identische Spulenform aufweisen und zueinander verdreht und/oder versetzt angeordnet sind, wobei sich mehrere symmetrisch angeordnete, überlappende Bereiche (8.4) ausbilden.
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die überlappenden Bereiche (8.4) punktsymmetrisch zur Mitte der Spulen angeordnet sind.
3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulenform entlang des Umfangs der ebenen Spule bzw. Spulenteile angeordnete, mäandernde Schleifenabschnitte (5.2, 7.2) aufweist, wobei die Schleifenabschnitte jeweils Teil einer Windung der Spule bzw. des Spulenabschnittes sind.
4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die kreisförmige Spule n Schleifenabschnitte (5.2, 7.2) aufweist, wobei die Schleifenabschnitte von Sendespule (5.1) und Empfangsspule (7.1) um einen Winkel von etwa $360^\circ / (n * 2)$ verdreht angeordnet sind.
5. Sensor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifenabschnitte (5.2, 7.2) vorzugsweise kreisförmige Abschnitte (5.3, 5.4) aufweisen, die mit unterschiedlichem radialen Abstand zum Mittelpunkt der kreisförmigen Spule angeordnet sind und unter Bildung eines elektrischen Leiters über vorzugsweise radial angeordnete Abschnitte (5.5) abwechselnd miteinander verbunden sind.
6. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Sendespulen (5.1) und wenigstens eine Empfangsspule (7.1) vorgesehen sind.

- 16 -

7. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich innerhalb der nach innen offenen Schleifenabschnitte (7.2) der Empfangsspule (7.1) Feldlinien eines zu den von der Bestromung der Sendespule hervorgerufenen Feldlinien invertierten Felds ausbilden, während sich im Innern (7.6) der Empfangsspule ein mit den Feldlinien der Sendespule gleichsinniges Feld ausbildet.
8. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Umfang der Sendespule (5.1) etwa nahezu kongruent zum Umfang der Empfangsspule (7.1) ist.
9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Komparator (10.7) zum Vergleich der den Sendespulen (5.1) zugeordneten Stromsignale zur Ermittlung eines Regelwertes vorgesehen ist, und dass wenigstens eine geregelte Stromquelle vorgesehen ist, in der der Regelwert zur Regelung der Amplitude des den Sendespulen zugeführten Stroms die Amplitude vorzugsweise kontinuierlich so regelt, dass die Amplituden der Spannungssignale an den Eingängen des Komparators (10.7) im Wesentlichen gleich groß sind oder dass aus beiden Taktabschnitten eines Taktzyklus keine Differenz der Spannungssignale an den Eingängen des Komparators (10.7) besteht.
10. Spule zur Verwendung in einem Sensor zur Ortung metallischer Objekte als Empfangsspule (7.1) und/oder Sendespule (5.1), insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass entlang des Umfangs der ebenen Spule angeordnete, mäandernde Schleifenabschnitte (5.2) vorgesehen sind, die jeweils Teil einer Windung der Spule sind.
11. Spule nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schleifenabschnitte (5.2) durch vorzugsweise kreisförmige Abschnitte (5.3, 5.4) gebildet sind, die mit unterschiedlichem radialen Abstand zum Mittelpunkt der kreisförmigen Spule angeordnet sind und unter Bildung eines elektrischen Leiters über vorzugsweise radial angeordnete Abschnitte (5.5) abwechselnd miteinander verbunden sind.

1 / 7

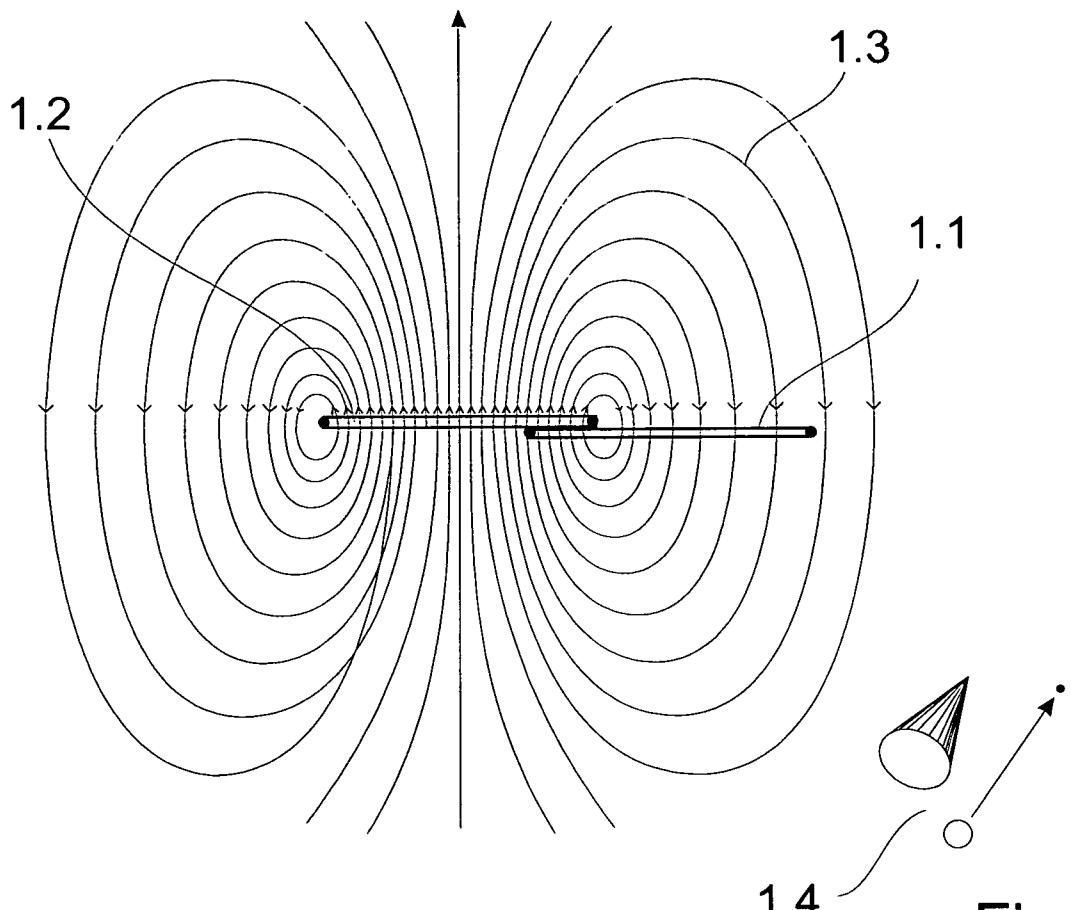


Fig. 1

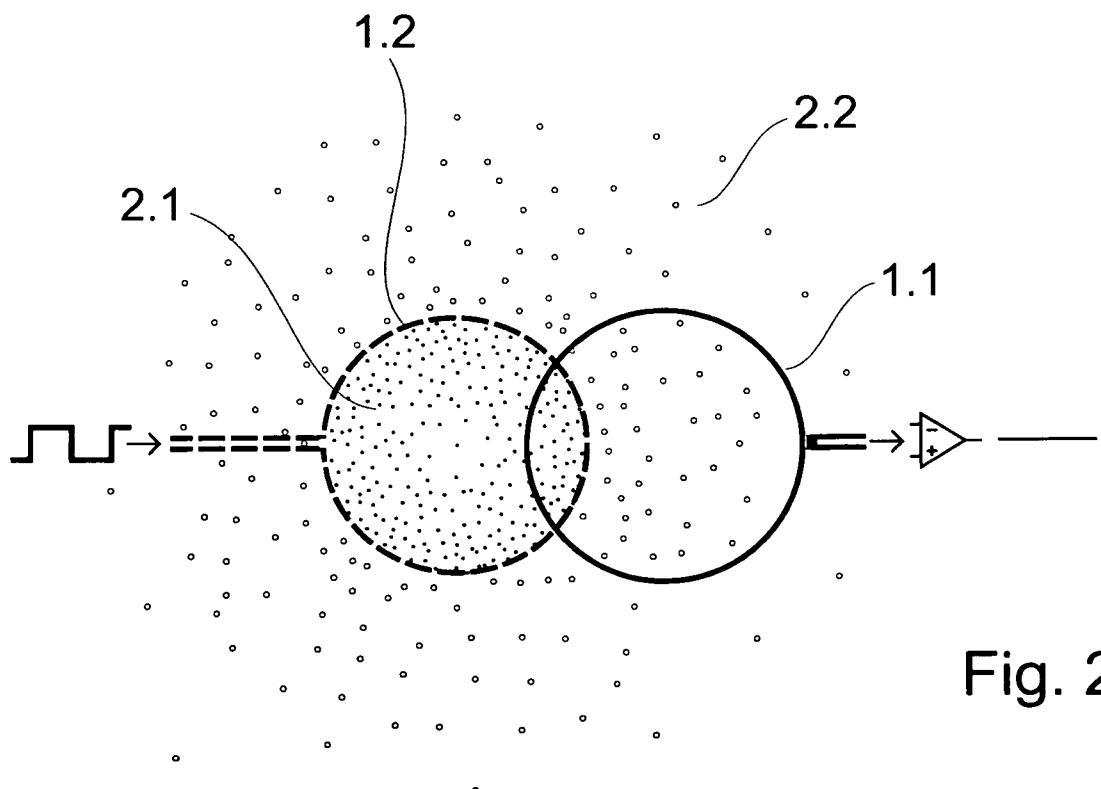


Fig. 2

2 / 7

Fig. 5

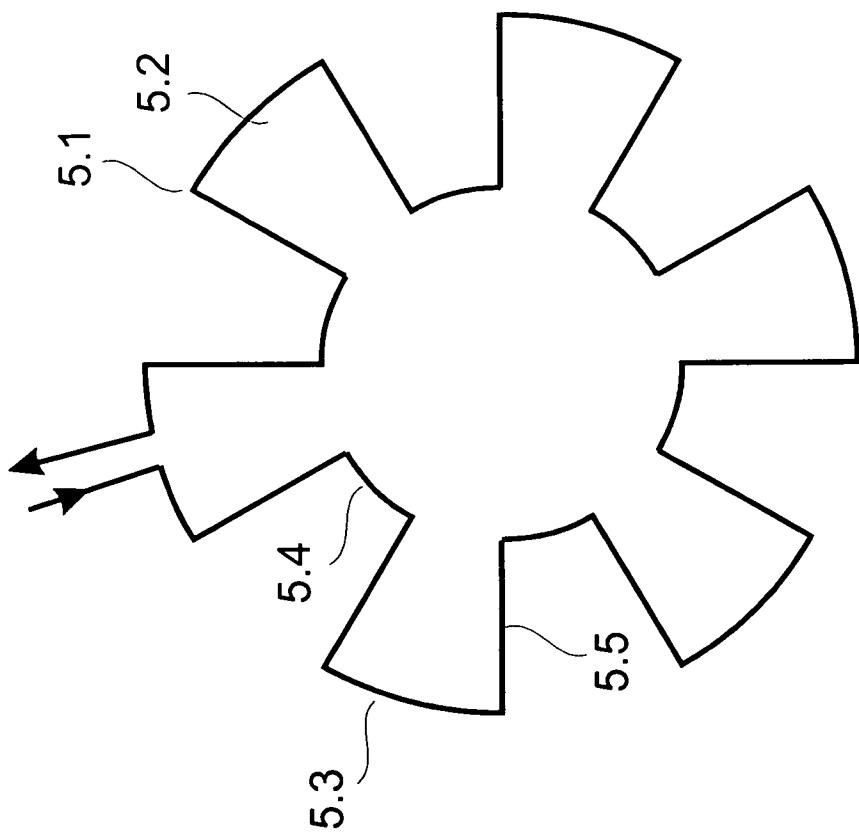


Fig. 3

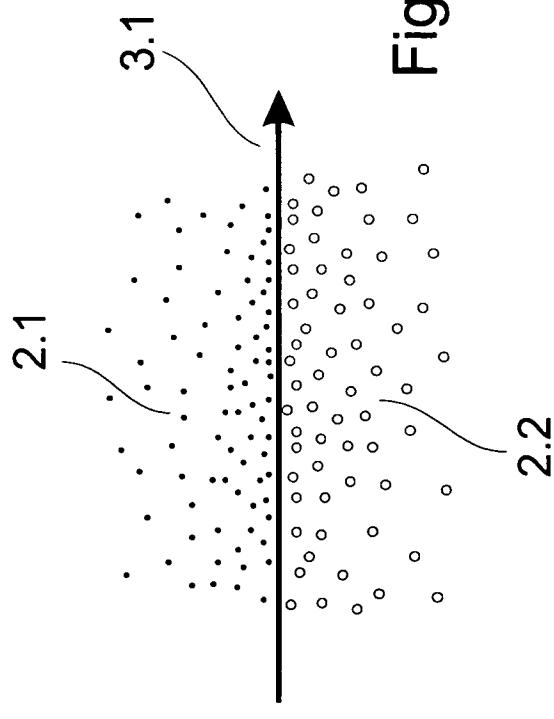
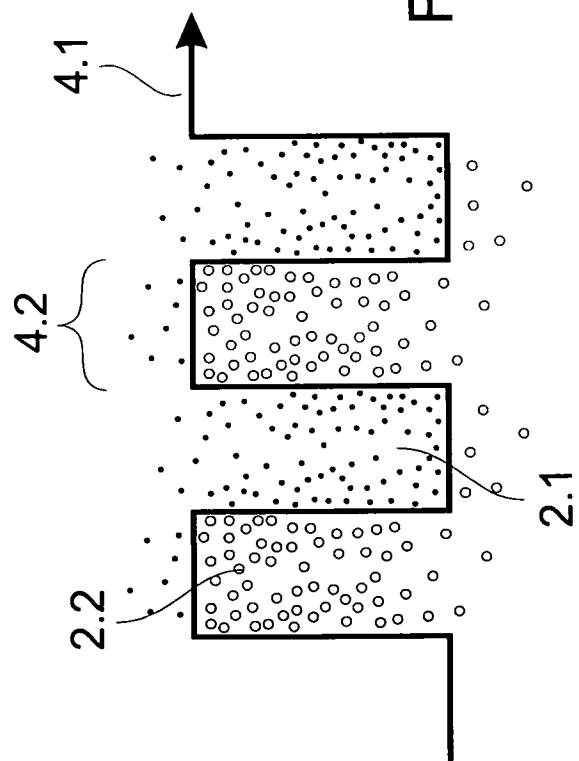


Fig. 4



3 / 7

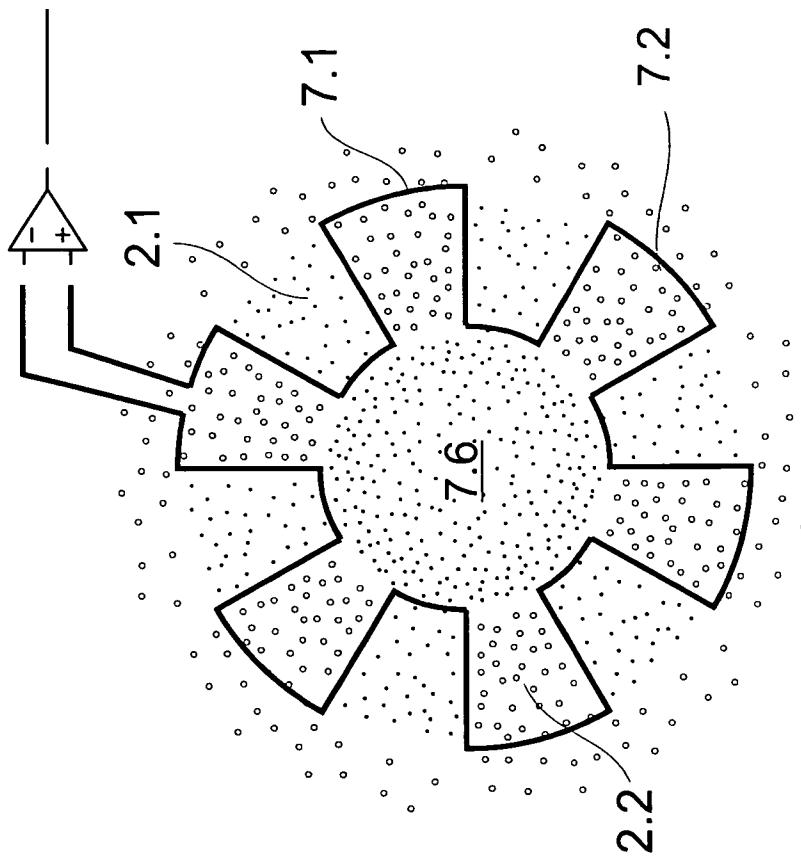


Fig. 7

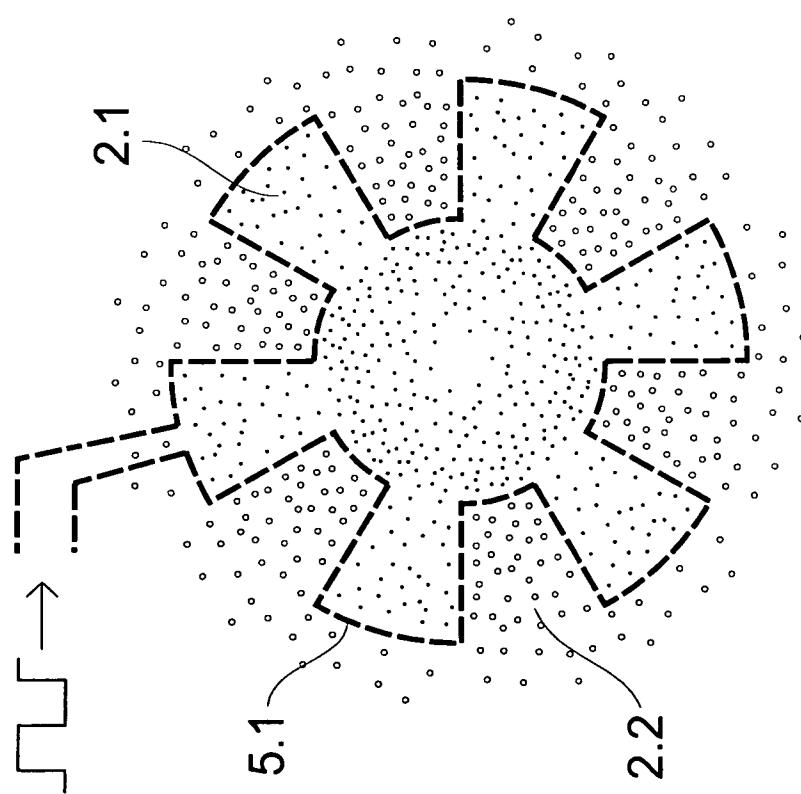


Fig. 6

4 / 7

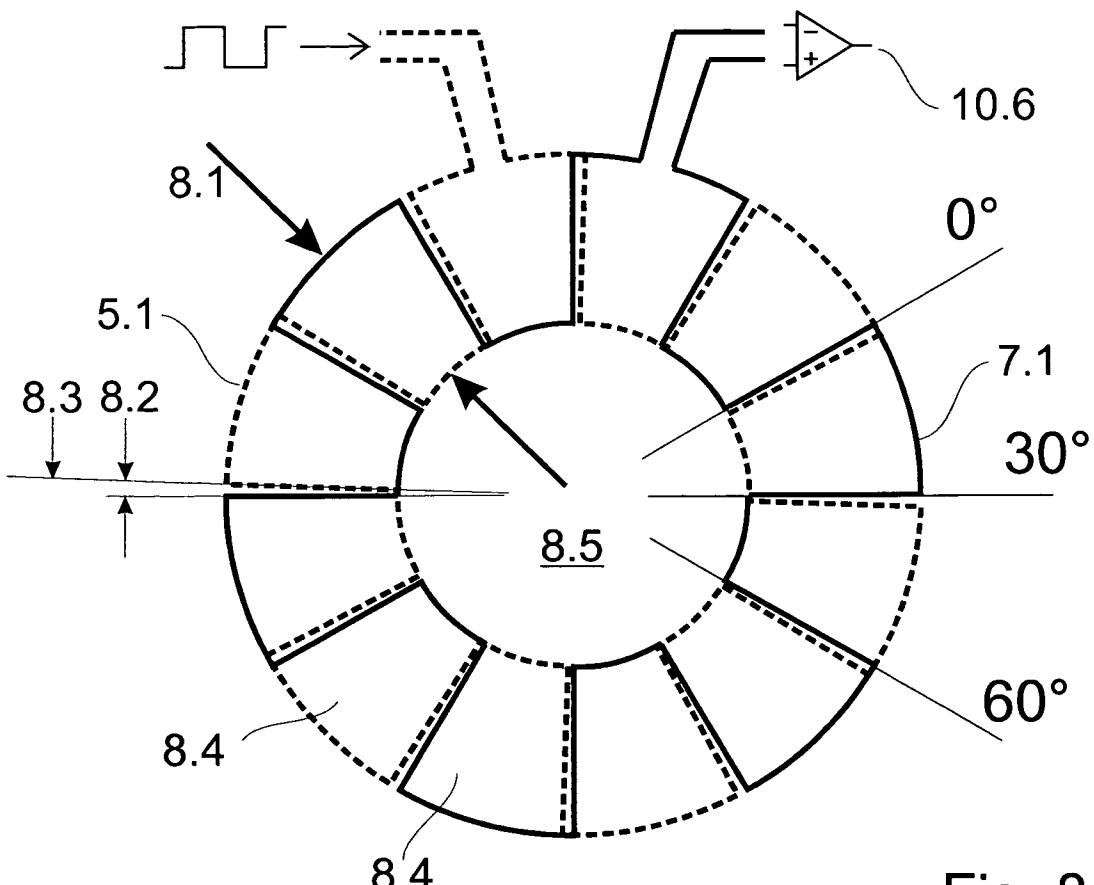


Fig. 8

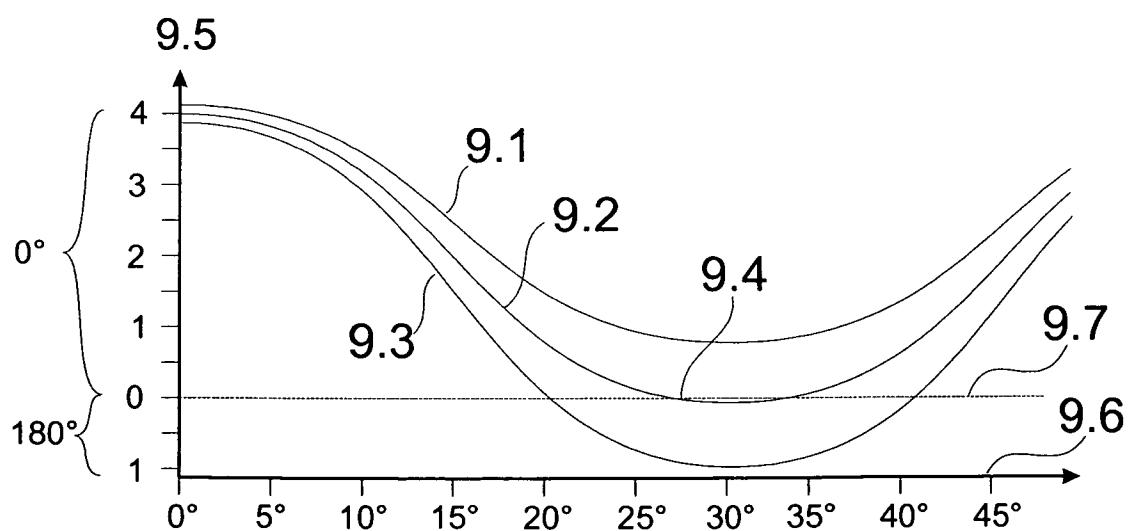


Fig. 9

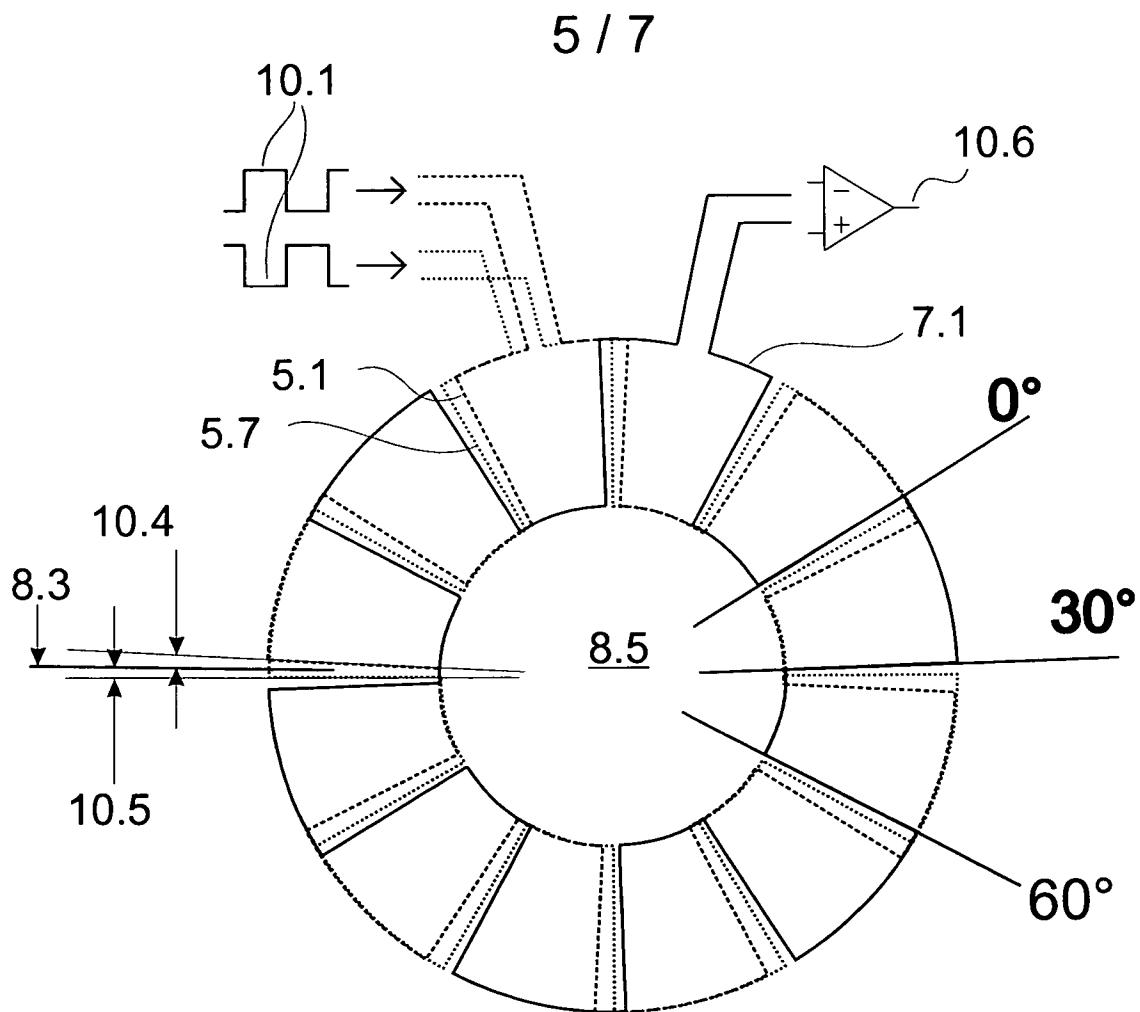


Fig. 10

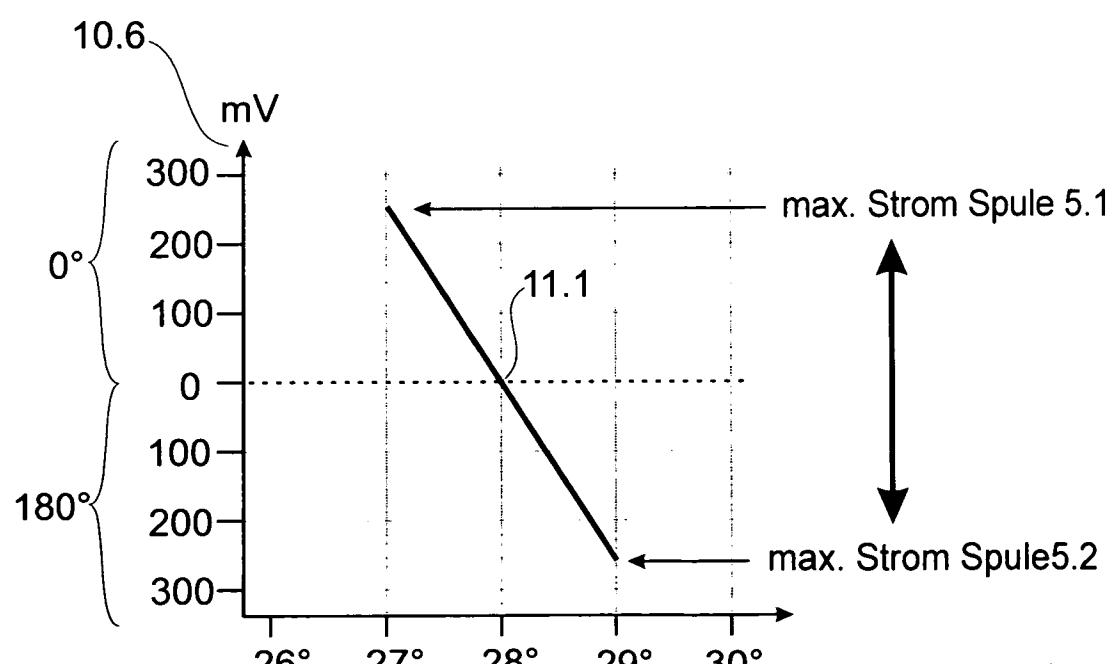


Fig. 11

6 / 7

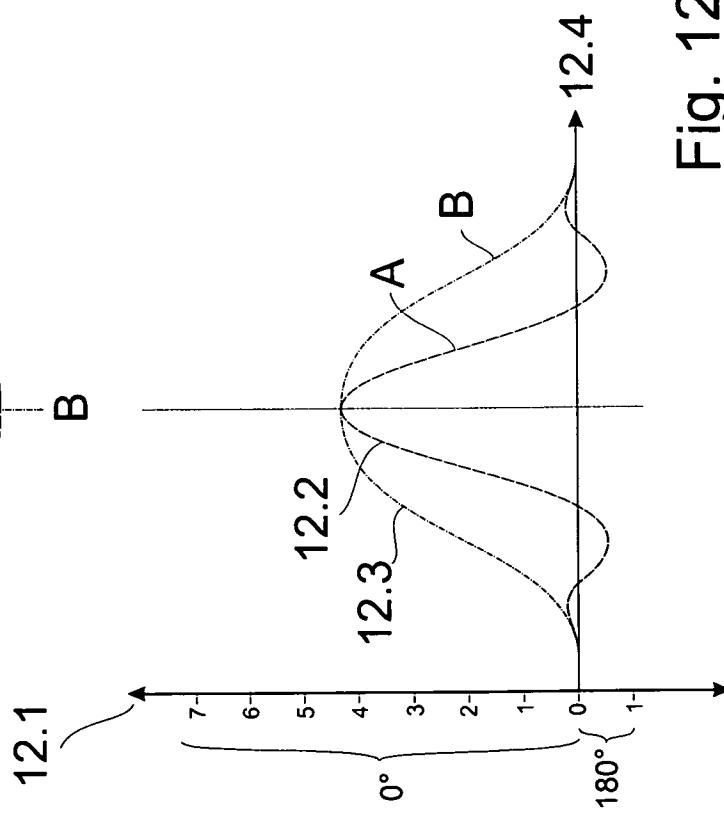
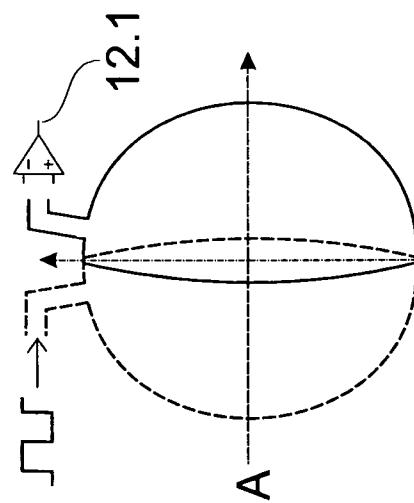
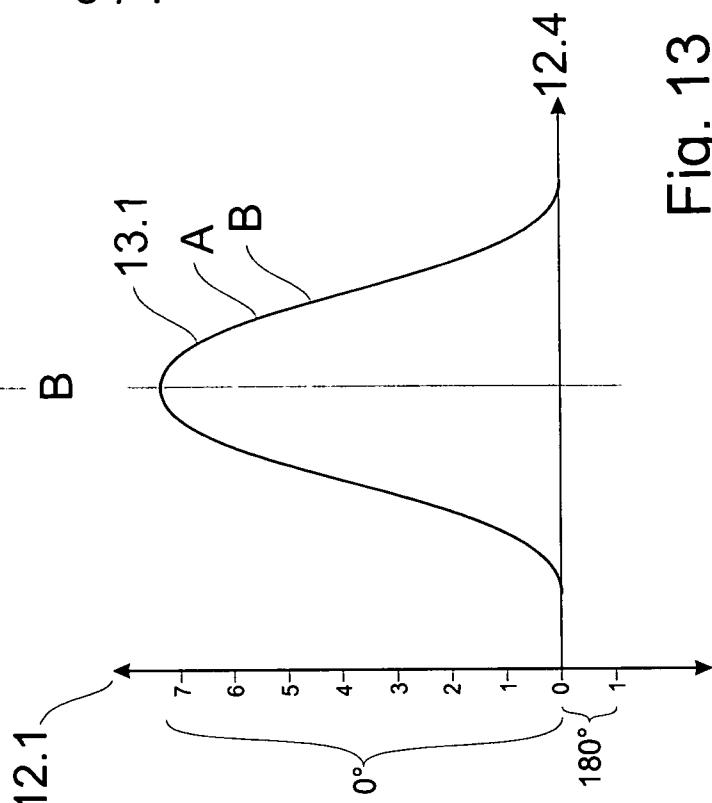
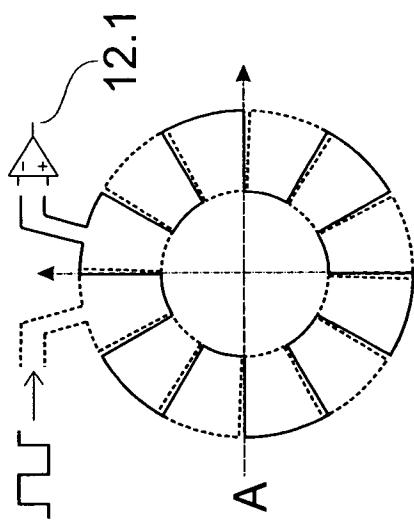


Fig. 13

Fig. 12

7 / 7

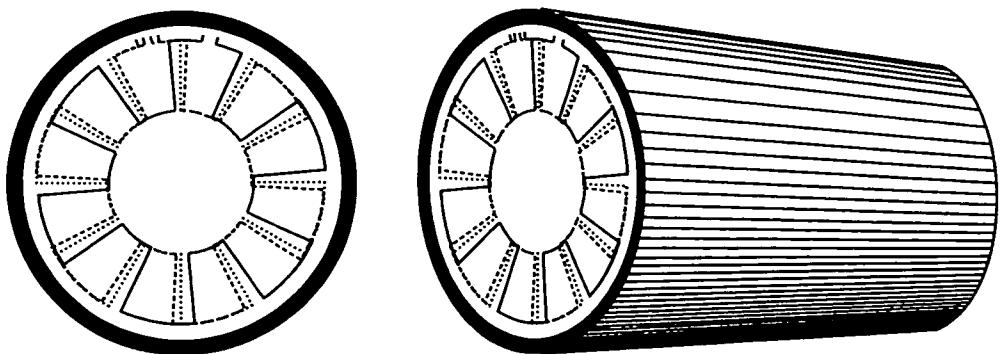


Fig. 14

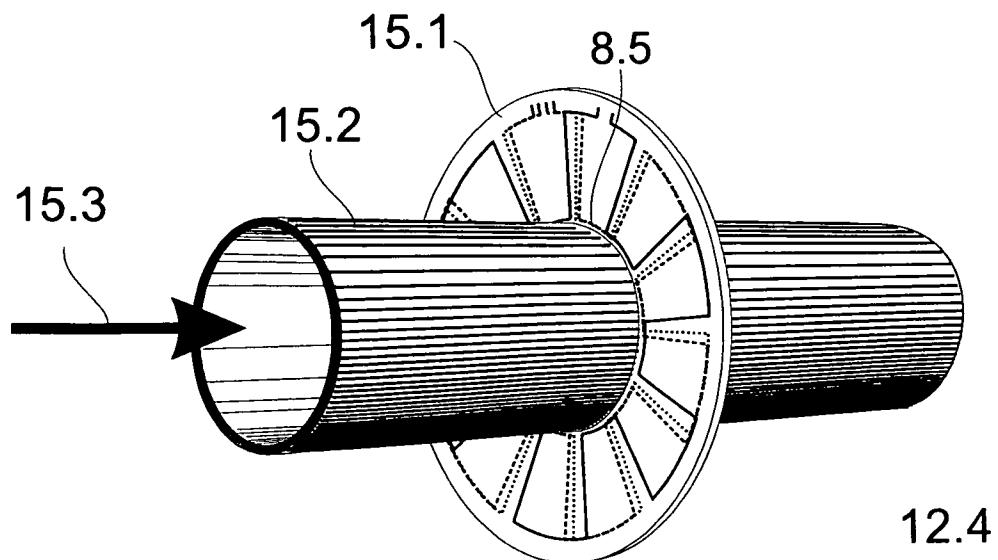


Fig. 15