



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 21 985 T2 2004.05.19

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 892 908 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 21 985.2

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/IL97/00100

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 908 474.6

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 97/036143

(86) PCT-Anmeldetag: 18.03.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 02.10.1997

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 27.01.1999

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 14.05.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 19.05.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G01B 7/14  
G01B 7/004

(30) Unionspriorität:

14084 P 26.03.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE, ES, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

Biosense, Inc., Miami, Fla., US

(72) Erfinder:

GOVARI, Assaf, 26272 Kiriat Haim, IL; OSADCHY, Daniel, 34731 Haifa, IL; FENSTER, Maier, 49600 Petach Tikva, IL

(74) Vertreter:

BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(54) Bezeichnung: GEGENINDUKTIONSKORREKTUR

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 eingeleitet, 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 der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen eine Vorrichtung zur Erzeugung und zum Detektieren von elektromagnetischen Feldern, und speziell kontaktlose, elektromagnetische Verfahren und Vorrichtungen zur Spurverfolgung der Position und Ausrichtung eines Objekts.

### Hintergrund der Erfindung

[0002] Kontaktlose, elektromagnetische Spurverfolgungssysteme sind gut im Stand der Technik bekannt, mit einem breiten Bereich von Anwendungen.

[0003] Zum Beispiel beschreibt das US-Patent Nr. 4,054,881 ein Spurverfolgungssystem, das drei Spulen verwendet, um elektromagnetische Felder in der Umgebung des Objekts zu erzeugen. Die Felder, die durch diese drei Spulen erzeugt werden, werden voneinander durch offenes Regelkreismultiplexing der Zeit, Frequenz oder Phase unterschieden. Die Signalströme, die in drei orthogonalen Sensorspulen fließen, werden verwendet, um die Position des Objekts zu bestimmen, basierend auf einem iterativen Berechnungsverfahren.

[0004] Das US Patent Nr. 5,391,199, angemeldet am 20. Juli 1993, das dem Anmelder der vorliegenden Erfindung zugeordnet ist, beschreibt ein System zur Erzeugung dreidimensionaler Ortsinformationen betreffend eine medizinische Sonde oder Katheter. Eine Sensorspule wird in dem Katheter platziert und erzeugt Signale in Reaktion auf extern angelegte magnetische Felder. Die magnetischen Felder werden durch drei Strahlungsspulen, die an einem externen Referenzrahmen in bekannten, gegenseitig voneinander beabstandeten Orten angebracht sind, erzeugt. Die Amplituden der Signale, die in Reaktion auf die Strahlungsspulenfelder erzeugt werden, werden detektiert und verwendet, um den Ort der Sensorspule zu berechnen. Jede Strahlungsspule wird bevorzugt durch eine Treiberschaltung zur Erzeugung eines Feldes bei einer bekannten Frequenz, die sich von denen anderer Strahlungsspulen unterscheidet, gesteuert, so daß die Signale, die durch die Sensorspule erzeugt werden, mittels der Frequenz in Komponenten bezüglich der verschiedenen Strahlungsspulen getrennt werden können.

[0005] Die PCT-Patentanmeldung Nr. WO 96/05768, die dem Anmelder der vorliegenden Erfindung zugeordnet ist, beschreibt ein System, das sechs-dimensionale Positions- und Ausrichtungsinformationen bezüglich der Spitze eines Katheters erzeugt. Dieses System verwendet eine Vielzahl von nicht konzentrischen Sensorspulen, benachbart zu einer festgelegten Stelle in dem Katheter, z. B. nahe seinem distalen Ende, und eine Vielzahl von Strahlungsspulen, die an einem externen Referenzrahmen angebracht sind. Diese Spulen erzeugen Signale in Reaktion auf magnetische Felder, die durch die Strahlungsspulen erzeugt werden, wobei diese Signale die Berechnung von sechs Orts- und Ausrichtungskoordinaten ermöglichen. Wie in dem Fall der '539 Patentanmeldung, die zuvor beschrieben wurde, arbeiten die Strahlungsspulen gleichzeitig jeweils bei verschiedenen Frequenzen, z. B. bei 1000, 2000 und 3000 Hz.

[0006] Die Europäische Patentanmeldung EP-A-0339723 beschreibt eine magnetische Resonanzvorrichtung, die ein Magnetsystem zur Erzeugung eines konstanten Magnetfelds und ein HF-Spulensystem zur Erzeugung von Gradientenfeldern aufweist. In dem HF-Spulensystem kann jede Spule im Bezug auf eine gegebene Frequenz einer anderen Spule verstimmt werden. Dadurch wird eine gegenseitige Beeinflussung vermieden.

[0007] Die zuvor beschriebenen Spurverfolgungssysteme beruhen auf der Trennung von auf eine Position reagierenden Signalen in Frequenzkomponenten, wobei davon ausgegangen wird, daß jede dieser Komponenten einzig zu einer einzelnen Strahlungsspule, die sich in einer bekannten Position befindet und in einem schmalen, genau definierten Frequenzband ausstrahlt, korrespondiert. In der Realität erzeugen die Strahlungsspulen jedoch auch magnetische Felder bei den Frequenzen außerhalb der gewünschten Bänder, z. B. aufgrund von gegenseitigen Induktivitätseffekten. Diese gegenseitig induzierten Felder führen zu Fehlern in der Bestimmung der Position des Objekts, dessen Spur verfolgt wird.

### Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung verbesserte elektromagnetische Strahlungsspulen und Treiberschaltungen für diese zur Benutzung im Zusammenhang mit Objektspurverfolgungssystemen derartig bereitzustellen, um die Genauigkeit der Objektspurverfolgung zu verbessern.

[0009] Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, magnetische Felderzeugungsspulen und dazugehörige Treiberschaltungstechnik bereitzustellen, die Felder erzeugen, die schmale Bandbreiten in dem Frequenzbereich aufweisen.

[0010] In der vorliegenden Erfindung wird eine schmalere Feldbandbreite durch Eliminierung von gegenseitigen Induktivitätseffekten zwischen einer Vielzahl von Spulen, die magnetische Felder bei verschiedenen Fre-

quenzen erzeugen, erreicht.

[0011] Die vorliegende Erfindung stellt eine Vorrichtung zur Spurverfolgung eines Objekts durch Erzeugung von magnetischen Feldern bereit, umfassend eine Vielzahl von Strahlungsspulen; eine damit verbundene Treiberschaltung, die die Spulen ansteuert, um magnetische Felder bei einer Vielzahl von Steuerfrequenzen zu erzeugen; wobei jede der Vielzahl von Strahlungsspulen ein Feld bei im Wesentlichen einer einzelnen, jeweiligen Steuerfrequenz erzeugt; dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung mit zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen verknüpft ist, wobei die Schaltung magnetische Felder zur im wesentlichen Eliminierung von magnetischen Feldern, die durch zumindest eine Spule in Reaktion auf Felder, die durch die andern Spulen erzeugt werden, erzeugt.

[0012] In einigen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind eine oder mehrere zusätzliche Trimmspulen benachbart zu jeder der Strahlungsspulen vorhanden. Vorzugsweise sind die Trimmspulen mit Windungen der Strahlungsspulen verzwirnt. Die Trimmspulen von jeder Strahlungsspule werden durch Treiberschaltungen derartig gesteuert, um magnetische Felder zu erzeugen, die im Wesentlichen gleich in ihrer Amplitude und Frequenz und in entgegengesetzter Richtung zu magnetischen Feldkomponenten, die entlang der Achse dieser Strahlungsspule durch andere Strahlungsspulen induziert werden, sind.

[0013] In anderen, bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist die Treiberschaltung jeder der Spulen zugeordnet und erzeugt elektrische Steuerströme in diesen, wobei der Strom für jede Spule eine Hauptkomponente bei der jeweiligen Spulensteuerfrequenz und geringere Komponenten bei anderen Frequenzen umfaßt. Die geringeren Komponenten sind im Wesentlichen gleich in ihrer Amplitude und Frequenz und  $180^\circ$  phasenverschoben zu den Strömen, die in der Spule aufgrund der magnetischen Felder, die durch andere Strahlungsspulen erzeugt werden, ist, um im wesentlichen den Effekt der induzierten Ströme aufzuheben.

[0014] In einer dieser bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthält die Treiberschaltung eine Sensievorrichtung, die die Amplitude, Frequenz und Phase der in einer Spule induzierten Ströme mißt. Die Treiberschaltung enthält ferner eine anpassungsfähige Stromversorgung, die die Amplituden-, Frequenz- und Phasendaten, die durch die Sensievorrichtung gemessen werden, empfängt, und erzeugt die phasenverschobenen, geringeren Stromkomponenten, um im Wesentlichen den Effekt der induzierten Ströme aufzuheben.

[0015] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt die Treiberschaltung ideale Stromquellen, die derart arbeiten, um einen konstanten Strom in jeder der Spulen bei ihrer festgelegten, jeweiligen Steuerfrequenz aufrecht zu erhalten.

[0016] Die Schaltung zur Eliminierung von magnetischen Feldern umfaßt bevorzugt eine oder mehrere Trimmspulen, die vorzugsweise zumindest mit der einen der Vielzahl von Spannungsspulen verzwirnt ist. Darüber hinaus steuert die Treiberschaltung vorzugsweise eine der einen oder mehreren Trimmspulen, die zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen zugeordnet ist, bei der jeweiligen Steuerfrequenz einer weiteren der Vielzahl von Strahlungsspulen.

[0017] Vorzugsweise enthält die Schaltung zur Eliminierung eine anpassungsfähige Stromversorgung, die elektrische Ströme in zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen bei der jeweiligen Steuerfrequenz einer anderen der Vielzahl von Strahlungsspulen erzeugt.

[0018] Vorzugsweise enthält die Schaltung zur Eliminierung ferner einen Stromanalysator, der mit der anpassungsfähigen Stromversorgung verbunden ist, wobei der Stromanalysator parasitären elektrischen Strom mißt, der zumindest in einer der Vielzahl von Strahlungsspulen bei der jeweiligen Steuerfrequenz einer anderen der Vielzahl von Strahlungsspulen fließt, und bewirkt, daß die anpassungsfähige Stromversorgung den erzeugten Strom anpaßt, um den parasitären elektrischen Strom zu minimieren.

[0019] Vorzugsweise ist die Steuerschaltung geeignet, einen konstanten Strom in jeder der Vielzahl von Strahlungsspulen bei der einzelnen, jeweiligen Steuerfrequenz derselben beizubehalten.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0020] Die vorliegende Erfindung wird noch besser aus der nachfolgenden, detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen derselben, zusammengenommen mit den Zeichnungen, verständlich, wobei:

[0021] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Objektspurverfolgungssystems, das in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wirksam ist, ist;

[0022] **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Strahlungsspule in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0023] **Fig. 3** eine schematische Darstellung einer Spulentreiberschaltung in Übereinstimmung mit einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist; und

[0024] **Fig. 4** ein Flußdiagramm, das schematisch ein Verfahren zur Objektspurverfolgung in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt, ist.

## Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0025] Es wird nun Bezug genommen auf **Fig. 1**, die schematisch ein System zur Spurverfolgung einer Sonde **20**, wie einem Katheter zur medizinischen Verwendung, das in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wirksam ist, darstellt. Wie im US-Patent Nr. 5,391,199 von Ben-Haim, und mit der PCT-Patentanmeldung Nr. WO 96/05768, die dem Anmelder der vorliegenden Erfindung zugeordnet ist, umfaßt das System eine Vielzahl von Strahlungsspulen **22**, **24** und **26**. Diese Spulen erzeugen jeweils magnetische Felder  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  bei jeweiligen Frequenzen  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  und  $\omega_3$  in der Umgebung der Sonde **20**. Die Sonde enthält ferner Sensorspulen **27**, **28** und **29**, die elektrische Stromsignale in Reaktion auf die magnetischen Felder erzeugen, wobei die Signale Komponenten bei Frequenzen  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  und  $\omega_3$ , deren jeweilige Amplituden von der Position und der Ausrichtung der Sonde **20** abhängen, umfaßt.

[0026] Das System umfaßt ferner Treiberschaltungen **30**, **32** und **33**, die mit jeder der Strahlungsspulen verbunden sind und die Spulen **22**, **24** und **26** bei jeweiligen Steuerfrequenzen  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  und  $\omega_3$  steuern. Die Signale, die durch die Sensorspulen **27**, **28** und **29** erzeugt werden, werden bevorzugt mittels einer Signalverarbeitungsschaltung **34** verarbeitet und dann mittels eines Computers **36** verwendet, um Positions- und Ausrichtungskoordinaten der Sonde **20** zu berechnen.

[0027] Zum Zwecke der Deutlichkeit zeigt **Fig. 1** drei Strahlungsspulen **23**, **24** und **26** und drei Sensorspulen **27**, **28** und **29** in einer Sonde **20**. Es wird jedoch verstanden werden, daß die vorliegende Erfindung gleichermaßen anwendbar ist auf Spurverfolgungssysteme, die zwei, vier oder mehr Strahlungsspulen und eine, zwei oder mehr Sensorspulen umfassen. Die vorliegende Erfindung kann auch zur Spurverfolgung anderer Arten von Objekten verwendet werden.

[0028] Bei Abwesenheit von gegenseitigen Induktivitätseffekten sind die Signale, die durch die Sensorspulen **27**, **28** und **29** bei einer Frequenz  $\omega_1$  erzeugt werden, proportional zu der Amplitude der Zeitableitung der Projektion des magnetischen Flusses aufgrund des Feldes  $H_1$ , bei der Sonde **20** entlang jeder der jeweiligen Achsen der Sensorspulen. Die Signale, die bei Frequenzen  $\omega_2$  und  $\omega_3$  erzeugt werden, sind auf ähnliche Weise proportional zu den Projektionen von  $H_2$  und  $H_3$ . Da die Richtung und Amplitude des magnetischen Feldes aufgrund einer einzelnen solchen Strahlungsspule leicht unter Verwendung von aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren berechnet werden kann, können die Sensorspulensignale aufgrund einer einzelnen Strahlungsspule direkt von dem Abstand der Sensorspule von der Strahlungsspule und einer Ausrichtung relativ zu der Strahlungsspule abhängig sein.

[0029] In der Praxis ist jedoch das magnetische Feld  $H_1$ , das durch die Strahlungsspule **22** erzeugt wird, nicht in seiner Ausdehnung auf die direkte Umgebung der Sonde **20** beschränkt, sondern weist auch eine von 0 verschiedene Amplitude in der Umgebung der Spulen **24** und **26** auf. Wie es sehr gut aus dem Stand der Technik bekannt ist (siehe z. B. Lorrain und Corson, „Electromagnetic Fields and Waves“, zweite Ausgabe, 1970, Seiten 343 bis 345), kann der magnetische Fluß  $\Phi_2$  durch die Spule **24** aufgrund des Stroms  $I_1$ , der in der Spule **22** fließt, ausgedrückt werden als:

$$\Phi_2 = M_{12} I_1, \quad (1)$$

wobei  $M_{12}$  die gegenseitige Induktivität der Spulen **22** und **24** ist, und die Spannung, die in der Spule **24** induziert wird, wird

$$V_{12} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt}, \quad (2)$$

sein. Angenommen, daß die Spule **24** eine Induktivität  $L$  und einen Widerstand von 0 hat, wird die gesamte Spannung in der Spule

$$V_2 = -L \frac{dI_2}{dt} \quad (3)$$

sein.

[0030] Da die Treiberschaltungen **30** und **32** vorzugsweise die Spulen **22** und **24** mit sinusförmigen elektrischen Strömungen bei den jeweiligen Frequenzen  $\omega_1$  und  $\omega_2$  der Spulen steuern und zusätzlich der Strom  $I_{12}$  bei der Frequenz  $\omega_1$  in der Spule **24** fließen wird, ist die vorliegende Amplitude gegeben durch:

$$I_{12} = \frac{M_{12}\omega_1}{L\omega_2} I_1 \quad (4)$$

[0031] Der Strom  $I_{12}$ , der in der Strahlungsspule **24** fließt, wird bewirken, daß ein parasitäres magnetisches

Feld  $H_{12}$  bei der Frequenz  $\omega_1$  erzeugt wird, dessen Amplitude ungefähr proportional zum Verhältnis  $M_{12}/L$  sein wird, wenn  $\omega_1 \approx \omega_2$  ist.  $M_{12}$  hängt von geometrischen Faktoren und der Anzahl von Windungen in jeder der Spulen ab. Es kann gezeigt werden (siehe z. B. J. D. Jackson „Classical Electrodynamics“, zweite Ausgabe, Seite 263), daß für zwei koplanare Stromschleifen mit einem Radius  $a$ , die gegenseitig um einen Abstand  $R$  beabstandet sind, gilt:

$$M_{12} = \mu_0 \pi a \left[ \left( \frac{a}{R} \right)^3 + \frac{9}{4} \left( \frac{a}{R} \right)^5 + \frac{375}{64} \left( \frac{a}{R} \right)^7 + \dots \right] \quad (5)$$

[0032] Für Spulen **22** und **24**, die jeweils  $n_1$  und  $n_2$  Windungen pro Längeneinheit umfassen und im wesentlichen identische Längen **1**, innere Radien  $r_1$  und äußere Radien  $r_2$  aufweisen, und angenommen, daß das magnetische Feld  $H_1$  im Wesentlichen gleichmäßig über alle Windungen der Spule **24** ist, können wir die Gleichung (5) integrieren, um die gegenseitige Induktivität der Spulen zu finden:

$$M_{12} = \mu_0 n_1 n_2 \ell^2 R^2 \left[ \frac{1}{5} \left( \frac{r_2^5 - r_1^5}{R^5} \right) + \frac{9}{28} \left( \frac{r_2^7 - r_1^7}{R^7} \right) + \dots \right] \quad (6)$$

[0033] Daher wird z. B. in einem Spurverfolgungssystem, wie in demjenigen, das im US-Patent Nr. 5,391,199 und in der PCT-Anmeldung Nr. WO 96/05768 beschrieben ist, bei denen Spulen **22** und **24** innere Radien von 25 mm und äußere Radien von ungefähr 60 mm aufweisen und voneinander 39 cm entfernt sind, beobachtet, daß  $I_{12} = 0,0025 (\omega_1/\omega_2) I_1$  ist, was zu einem Fehler von 0,5% führen kann, wenn  $\omega_1 = 2\omega_2$  ist. Daher werden die Signale, die durch die Sensorspulen **27**, **28** und **29** bei einer Frequenz  $\omega_1$  erzeugt werden, sowohl eine Positionssignalkomponente aufgrund von  $H_1$  und eine parasitäre Signalkomponente aufgrund von  $H_{12}$  enthalten, die Fehler von bis zu einem 1% in die Bestimmung der Position der Sonde **20** einführen können. Zusätzliche parasitäre Signalkomponenten bei Frequenz  $\omega_1$  werden durch gegenseitige Induktivität in die Spule **26** und jede andere Strahlungsspule eingeführt. Ähnlich werden auch die Sensorspulensignale bei Frequenzen  $\omega_1$  und  $\omega_2$  ebenfalls parasitäre Komponenten enthalten

[0034] Aus diesem Grund befinden sich in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die in **Fig. 2** gezeigt ist, eine oder mehrere Trimmspulen **40** benachbart zu der Strahlungsspule **24** und sind vorzugsweise mit dieser verzwirnt. Die Treiberschaltung **32** steuert die Spule **24** mit einem Strom  $I_2$ , bei der Steuerfrequenz  $\omega_2$  der Spule. Die Schaltung **32** steuert ferner eine Trimmspule **40** mit einem Strom  $I_2^{(1)}$  bei einer Frequenz  $\omega_1$ , wobei dieser Strom bewirkt, daß ein magnetisches Feld  $H_2^{(1)}$  entlang der Achse der Spule **24** erzeugt wird, das gleich in der Amplitude und 180° phasenverschoben zu dem magnetischen Feld  $H_{12}$  ist. Folglich wird der gegenseitig induzierte Strom  $I_{12}$  im Wesentlichen aufgehoben durch einen gleichen und entgegengesetzten Strom, der aufgrund des Feldes  $H_2^{(1)}$  induziert wird.

[0035] Obwohl sich zum Zwecke der Deutlichkeit **Fig. 2** und die vorangehende Erklärung nur auf eine einzelne Trimmspule, die bei einer einzelnen Frequenz angesteuert wird, bezieht, wird es verstanden werden, daß in bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung jede der Spulen **22**, **24** und **26** mit zumindest einer Trimmspule, die mit geeigneten Strömen und Frequenzen angesteuert wird, um im wesentlichen gegenseitig induzierte Ströme aufgrund aller anderen Spulen aufzuheben, verzwirnt ist.

[0036] **Fig. 3** stellt schematisch eine alternative, bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der die Treiberschaltung **32** geeignet ist, um die Spule **24** anzusteuern, so daß im wesentlichen gegenseitig induzierte Ströme aufgehoben werden, dar. Die Schaltung **32** umfaßt eine Systemstromversorgung **50**, die eine Spule **24** bei ihrer Steuerfrequenz  $\omega_2$  ansteuert und eine anpassungsfähige Stromversorgung **52**, die einen Strom zur Ansteuerung der Spule **24** bei den jeweiligen Frequenzen der Spulen **22** und **26**,  $\omega_1$  und  $\omega_3$ , mit deren Amplituden und Phasen, bestimmt durch einen Stromanalysator **54**, erzeugt. Der Stromanalysator prüft den Strom in der Spule **24**, unter Verwendung von Verfahren, die aus dem Stand der Technik bekannt sind, und teilt den geprüften Strom in Frequenzkomponenten auf. Der Analysator **54** bewirkt, daß die anpassungsfähige Versorgung **52** die Amplituden und Phasen der erzeugten  $\omega_1$ - und  $\omega_3$ -Ströme anpasst, um die Komponenten, die bei Frequenzen  $\omega_1$  und  $\omega_3$  in dem geprüften Strom der Spule **24** sensiert werden, zu minimieren. Typischerweise sind die erzeugten  $\omega_1$ - und  $\omega_3$ -Ströme im wesentlichen gleich in ihrer Amplitude mit den gegenseitig induzierten Strömen  $I_{12}$  und  $I_{32}$  und 180° phasenverschoben zu diesen. Es wird verstanden werden, daß die Spulen **22** und **26** durch ähnliche adaptive Treiberschaltungen angesteuert werden.

[0037] In anderen bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung arbeiten die Signalverarbeitungsschaltung **34** und der Computer **36**, um die Amplituden und Phasen der parasitären Signalkomponenten, die durch die Sensorspulen **27**, **28** und **29** aufgrund der gegenseitigen Induktion zwischen den Strahlungsspulen erzeugt werden, zu bestimmen und korrigieren die Bestimmung der Position der Sonde **20**, um die parasi-

tären Komponenten zu berücksichtigen.

[0038] In einer solchen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Amplitude und Phase des magnetischen Feldes aufgrund jeder der Spulen unter Verwendung eines Oberschwingungserkennungsverfahrens aufgefunden. In Übereinstimmung mit diesem Verfahren werden die Signale geprüft, so daß eine ganzzahlige Anzahl von Perioden von jedem der Signale gemessen wird, d. h.  $2\pi f_s / \omega = N$ , wobei  $f_s$  die Prüffrequenz und  $N$  die Anzahl von Prüfpunkten ist. Auf diese Weise wird die Signalprüfung daher mit den magnetischen Feldfrequenzen synchronisiert. Wenn  $N$  eine kleine Zahl ist, dann wird die Prüfung vorzugsweise mit dem magnetischen Feld synchronisiert und kann vorzugsweise synchronisiert werden, um am Höchstwert des periodischen, magnetischen Feldes stattzufinden. Die Signale, die so bei einer Frequenz  $\omega$  erhalten werden, können ausgedrückt werden als:

$$U = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A \sin(n\omega f_s + \phi) \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) = A \cos\phi \quad (7)$$

$$V = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A \sin(n\omega f_s + \phi) \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) = A \sin\phi$$

[0039] In der Anwesenheit von gegenseitigen Induktivitäten enthalten die Signale, die durch die  $j$ -te Sensorspule erzeugt werden, Frequenzkomponenten, deren jeweilige Amplituden  $U_{ij}$  und  $V_{ij}$  bei einer Strahlungsspulenfrequenz  $\omega_i$ , die wie folgt ausgedrückt werden können:

$$U_{ij} = A_{ij} \cos\phi_i + \sum_{k \neq i}^3 A_{ijk}^m \cos\phi_{ik}^m \quad (8)$$

$$V_{ij} = A_{ij} \sin\phi_i + \sum_{k \neq i}^3 A_{ijk}^m \sin\phi_{ik}^m \quad (9)$$

[0040] In den Gleichungen (8) und (9) repräsentieren  $A_{ij}$  und  $\phi_i$  jeweils die Amplitude und Phase der Positionssignalkomponenten, die von der Sensorspule **28** (hier identifiziert als die  $j$ -te Sensorspule) bei einer Frequenz  $\omega_i$  aufgrund des magnetischen Felds der  $i$ -te Strahlungsspule empfangen werden, unter Mißachtung von gegenseitigen Induktivitätseffekten.  $A_{ijk}^m$  und  $\phi_{ik}^m$  sind die jeweiligen Amplituden und Phasen der parasitären Signalkomponenten, die durch die  $j$ -te Sensorspule bei einer Frequenz  $\omega_i$  aufgrund der gegenseitigen Induktivität zwischen der  $i$ -ten und  $k$ -ten Strahlungsspule erzeugt werden.

[0041] Um korrekt die Position der Sensorspulen **27**, **28** und **29** und der Sonde **20** zu bestimmen, werden die Signale, die von der Spule empfangen werden, vorzugsweise unter Verwendung eines Verfahrens, das in **Fig. 4** dargestellt ist, verarbeitet. Zuerst (60) werden die Signale in Komponenten  $U_{ij}$  und  $V_{ij}$  bei Frequenzen  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  und  $\omega_3$  unter Verwendung von Verfahren, die aus dem Stand der Technik bekannt sind, wie eine Oberschwingungserkennung, getrennt. Die Amplituden dieser Signale  $A_{ij}$  werden dann bestimmt (62), unter der Annahme, daß die gegenseitigen Induktivitätseffekte unbeachtlich sind, d. h. alle  $A_{ijk}^m$  sind null. Die Phasen  $\phi_i$  und  $\phi_{ik}^m$ , die nur von den Strahlungsspulen abhängen, werden durch Messung der jeweiligen Strahlungsspulenphasen (64) abgeleitet. Die Amplituden  $A_{ij}$  werden dann verwendet, um die Position und Ausrichtung der Spulen **27**, **28** und **29** (66) abzuschätzen, wie z. B. in der PCT-Anmeldung Nr. WO 96/05768 beschrieben ist.

[0042] Die theoretischen Werte der  $A_{ijk}^m$  werden dann berechnet, um die Position der Sensorspulen (68) abzuschätzen. Um diese Berechnung auszuführen, werden die parasitären magnetischen Felder, die aufgrund der gegenseitigen Induktivität zwischen den Strahlungsspulen erzeugt werden,  $H_{ik}$ , an der abgeschätzten Position der Sensorspulen bestimmt. Diese parasitären Felder werden aus dem Koordinatennetzrahmen der

Strahlungsspulen in den der Sensorspulen, basierend auf den Projektionen der parasitären Felder entlang der jeweiligen Achsen der Sensorspulen, übertragen. Die Feldprojektionen werden verwendet, um theoretische Amplituden der parasitären Signalkomponenten, die durch die Sensorspulen erzeugt werden, unter Verwendung der Beziehung

$$A_{ijk}^m = \sum_{p=1}^3 M_{jp} \bar{A}_{ipk}^m \quad (10)$$

berechnet, wobei die drei Werte von  $\bar{A}_{ipk}^m$  die theoretischen Signalamplituden in dem Referenzrahmen der Strahlungsspulen sind und  $M_{jp}$  die Elemente der Ausrichtungsmatrix sind.

[0043] Verschiedene Verfahren können verwendet werden, um die Amplituden und Richtungen der parasitären magnetischen Felder  $H_{ik}$  bei den Positionen der Sensorspulen zu bestimmen. In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die gegenseitigen Induktivitäten zwischen den Spulen und die resultierenden magnetischen Felder theoretisch aus geometrischen Überlegungen, unter Verwendung von Verfahren, die sehr gut aus dem Stand der Technik bekannt sind, berechnet. In einer alternativen, bevorzugten Ausführungsform wird die gegenseitige Induktivität eines Paares von Radiatorspulen durch Aktivierung der Treiberschaltung von einer der Spulen bestimmt, um ein magnetisches Feld bei seiner Steuerfrequenz zu erzeugen, und dann dann Messen des elektrischen Stroms, der in den anderen Spulen bei dieser Frequenz fließt. Diese gemessenen, gegenseitigen Induktivitäten werden dann verwendet, um die resultierenden, parasitären magnetischen Felder, wie zuvor erläutert, zu berechnen.

[0044] Schließlich werden die theoretischen  $A_{ijk}^m$  Koeffizienten in die Gleichungen 8 und 9 zurückgetauscht, um korrekte Werte der neuen  $A_{ij}$ -Elemente (70) zu bestimmen und diese Werte werden dann verwendet, um die Positions- und Ausrichtungskoordinaten der Sonde zu korrigieren (72). Die Schritte (68), (70) und (72) werden vorzugsweise iterativ wiederholt, bis die Positions- und Ausrichtungskoordinaten der Sonde konvergieren.

[0045] Es wird verstanden werden, daß obwohl das obige Verfahren in Bezug auf ein System beschrieben wurde, das drei Strahlungsspulen und drei Sensorspulen umfaßt, das Verfahren äquivalent auf andere elektromagnetische Objektspurverfolgungssysteme angewendet werden kann, die eine größere oder eine geringere Anzahl von Spulen oder Antennen verwenden.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Spurverfolgung eines Objekts durch Erzeugung von magnetischen Feldern, umfassend: eine Vielzahl von Strahlungsspulen (22, 24, 26); eine damit verbundene Treiberschaltung (30, 32, 33), die die Spulen (22, 24, 26) ansteuert, um magnetische Felder bei einer Vielzahl von Steuerfrequenzen zu erzeugen; wobei jede der Vielzahl von Strahlungsspulen (22, 24, 26) ein Feld bei im Wesentlichen einer einzelnen, jeweiligen Steuerfrequenz erzeugt; dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung (32) mit zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen (24) verknüpft ist, wobei die Schaltung (32) magnetische Felder zur im Wesentlichen Eliminierung von magnetischen Feldern, die durch zumindest eine Spule (24) in Reaktion auf Felder, die durch die anderen Spulen (22, 26) erzeugt werden, erzeugt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung zur Eliminierung eine oder mehrere Trimmspulen (40) umfaßt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Trimmspulen (40) mit zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen (24) verzwirnt ist bzw. sind.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Treiberschaltung (32) ferner eine der einen oder mehreren Trimmspulen (40), die mit zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen (24) bei der jeweiligen Frequenz von einer anderen der Vielzahl von Strahlungsspulen (22) verknüpft ist, ansteuert.
5. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung (32) zur Eliminierung eine anpassungsfähige Stromversorgung (52) enthält.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die anpassungsfähige Stromversorgung (52) elektrische Ströme in zumindest einer der Vielzahl von Strahlungsspulen (24) bei der jeweiligen Steuerfrequenz einer anderen der Vielzahl von Strahlungsspulen (22) erzeugt.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltung (32) zur Eliminierung

ferner einen Stromanalysator (54) enthält, der mit der anpassungsfähigen Stromversorgung (52) verbunden ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromanalysator (54) parasitären elektrischen Strom mißt, der zumindest in einer der Vielzahl von Strahlungsspulen (24) bei der jeweiligen Steuerfrequenz einer anderen der Vielzahl von Strahlungsspulen (22) fließt, und bewirkt, daß die anpassungsfähige Stromversorgung (52) den erzeugten Strom anpaßt, um den parasitären elektrischen Strom zu minimieren.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Steuerschaltung einen konstanten Strom in jeder der Vielzahl von Strahlungsspulen (22, 24, 26) bei der einzelnen, jeweiligen Steuerfrequenz derselben beibehält.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

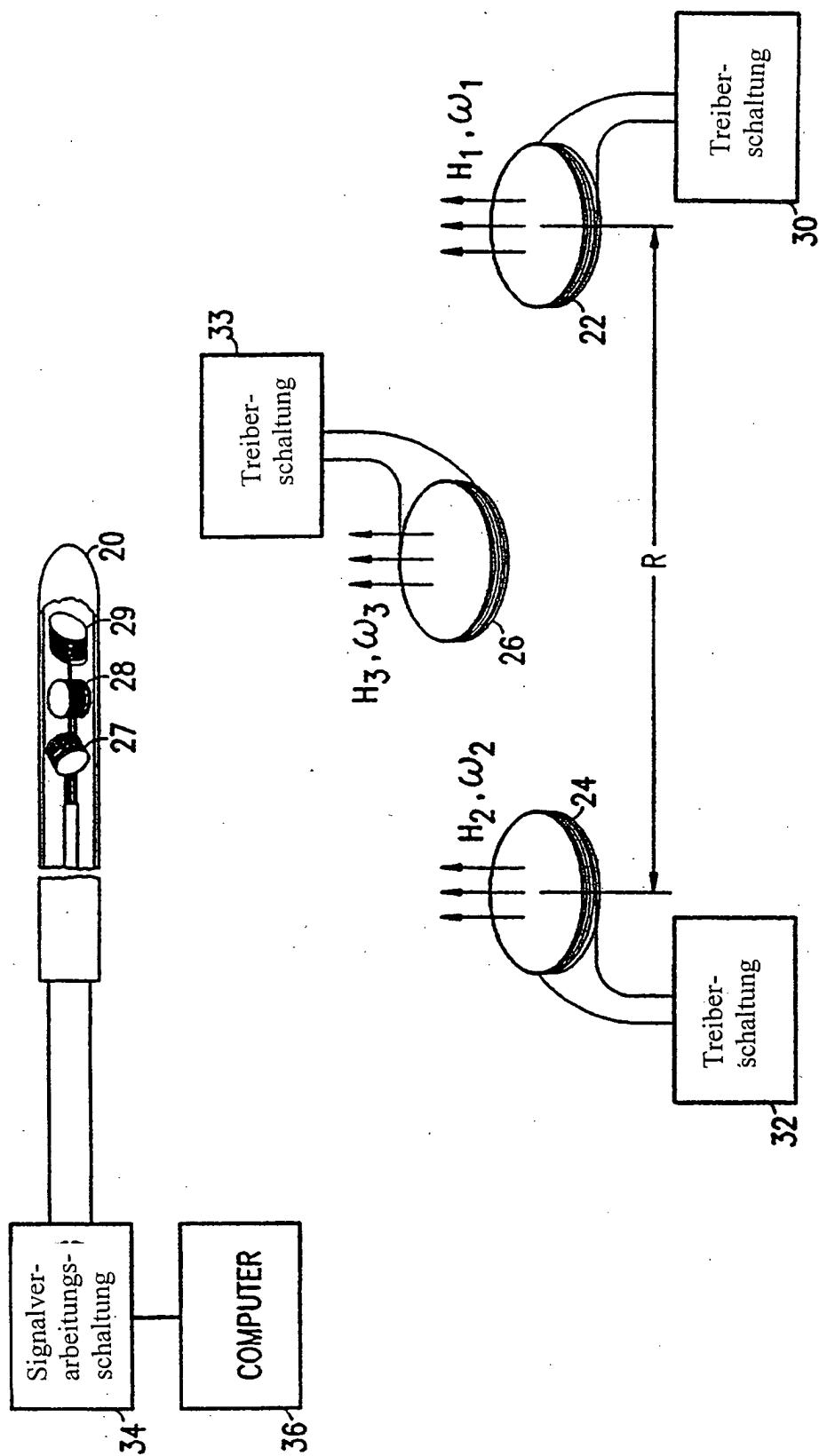


FIG. 1

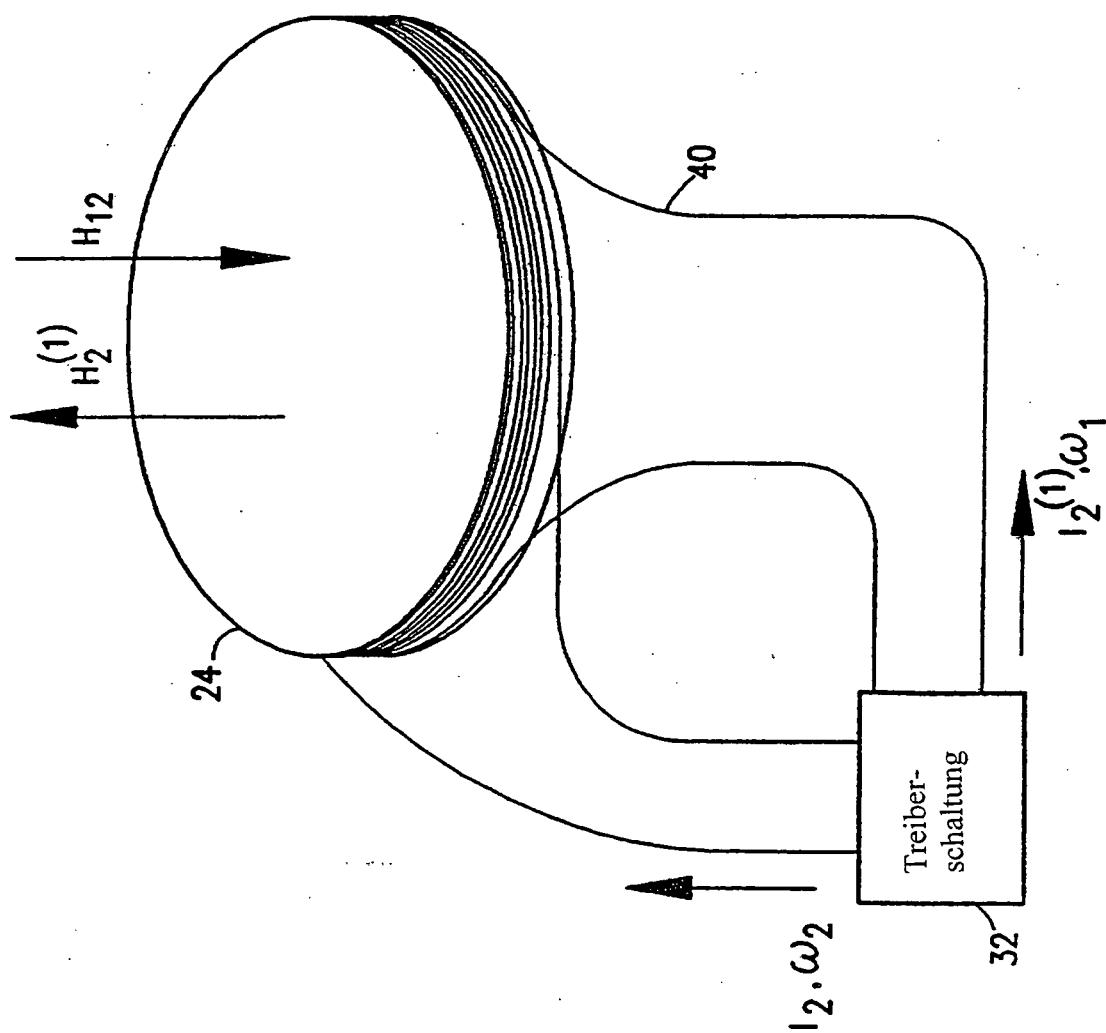


FIG. 2

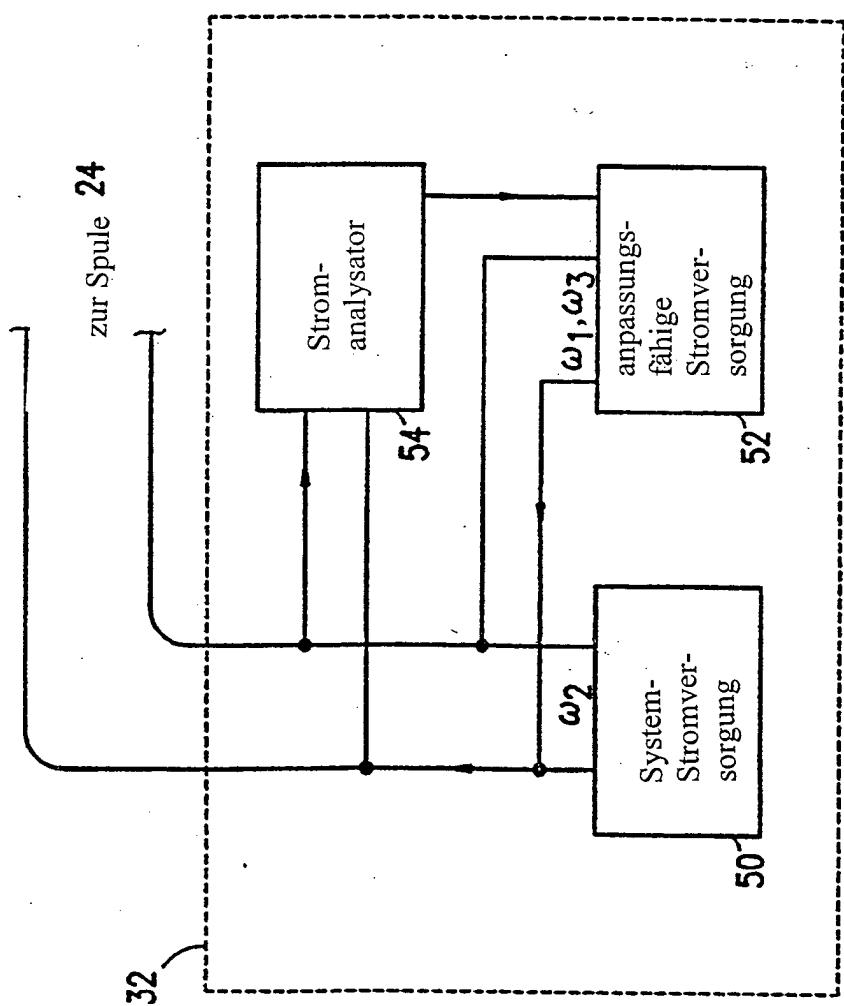


FIG. 3

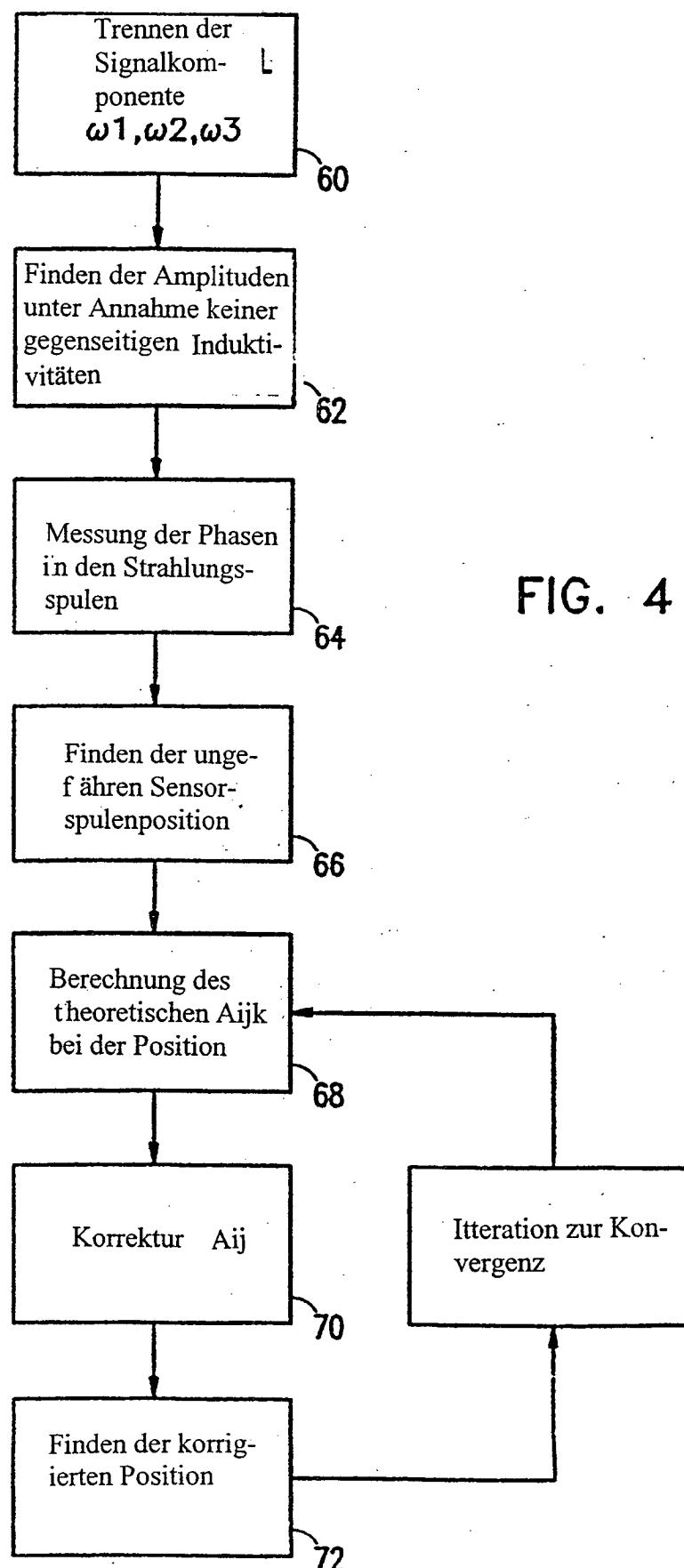


FIG. 4