



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 25 353 T2** 2006.01.12

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 014 041 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 25 353.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 125 250.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **17.12.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.06.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **18.05.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.01.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01D 5/20** (2006.01)  
**G01B 3/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

|               |                   |           |
|---------------|-------------------|-----------|
| <b>213268</b> | <b>17.12.1998</b> | <b>US</b> |
| <b>421497</b> | <b>20.10.1999</b> | <b>US</b> |

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(73) Patentinhaber:

**Mitutoyo Corp., Kawasaki, Kanagawa, JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Andermo, Nils Ingvar, Kirkland, US**

(54) Bezeichnung: **Induktiver Positionsgeber mit hoher Genauigkeit und reduziertem Offset**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Sachgebiet der Erfindung**

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf lineare und Dreh-Absolut-Positionswandler mit induziertem Strom. Insbesondere ist diese Erfindung auf Dreh- und Linear-Absolut-Positionswandler mit induziertem Strom mit verbesserten Wickelanordnungen gerichtet, um das Verhältnis der nutzbaren Ausgangs-Signal-Komponenten, d.h. solche, die zu der Wandler-Position in Bezug gesetzt sind, relativ zu äußeren („Offset“) Komponenten des Ausgangs-Signals, die nicht zu der Wandler-Position in Bezug gesetzt sind, zu erhöhen.

**2. Beschreibung des Stands der Technik**

**[0002]** Positionswandler mit induziertem Strom besitzen typischerweise einen Lesekopf, der relativ zu einem Skalenelement bewegbar ist. Der Positionswandler kann einen Lesekopf mit einem oder mehreren Wandlern haben, wobei jeder eine Senderwicklung und überlappende Empfängerwicklungen besitzt. Jeder Wandler wird eine Skala auf demselben Skalenelement haben. Jede Skala auf dem Skalenelement umfasst eine Vielzahl von Fluss-Modulatoren. Es ist wichtig, dass die Empfängerwicklungen jedes Wandlers eine Wellenlänge haben, die gegenüber anderen Empfängerwicklungen unterschiedlich ist. Ähnlich besitzen die Fluss-Modulatoren jeweils eine Länge, gemessen entlang der Messachse, gleich zu der Hälfte der Wellenlänge der entsprechenden Empfängerwicklung.

**[0003]** Jeder Wandler verwendet zwei sich überlappende Empfängerwicklungen, die ein viertel der Skalen-Wellenlänge voneinander beabstandet sind, um Ausgangs-Signale bereitzustellen, die sich in Quadratur befinden. Die Signale, ausgegeben von den Empfängerwicklungen, befinden sich deshalb 90 Grad aus der Phase zueinander. Die Relation zwischen den Signalen von den zwei Empfängerwicklungen ermöglicht, dass die Bewegungsrichtung bestimmt werden kann.

**[0004]** Die Signalamplituden der Empfängerwicklungen folgen einer sinusförmigen Funktion, wenn sich die Skala entlang der Messachse bewegt. Jede der Empfängerwicklungen besitzt Schleifen mit alternierenden Wickel-Richtungen. Die Empfängerwicklungen besitzen jeweils einen ersten Satz von Schleifen mit einer positiven Polarität und einen zweiten Satz von Schleifen mit einer negativen Polarität, die einzeln zwischen jeder benachbarten Wicklung in dem ersten Satz positioniert sind. Demzufolge besitzt die elektromotorische Kraft („EMF“), induziert in den Schleifen mit positiver Polarität, eine Polarität, die

entgegengesetzt zu der Polarität der EMF, induziert in den Schleifen mit negativer Polarität, ist. Die Schleifen mit positiver Polarität umschließen allgemein einen Abschnitt derselben Größe wie die Schleifen der negativen Polarität, und, nominal, denselben Umfang eines magnetischen Flusses. Deshalb ist die absolute Größe der EMF, erzeugt in den Schleifen mit positiver Polarität, nominal dieselbe wie die EMF, erzeugt in den Schleifen mit negativer Polarität.

**[0005]** Die Anzahl von Schleifen mit positiver Polarität entspricht auch der Anzahl von Schleifen mit negativer Polarität. Demzufolge ist die positive Polarität der EMF, induziert in den Schleifen mit positiver Polarität, exakt zu der EMF mit negativer Polarität, induziert in den Schleifen mit negativer Polarität, versetzt. Demzufolge ist die nominale Netto-EMF an jeder der Empfängerwicklungen Null und ist so vorgesehen, dass kein Signal von den Empfängerwicklungen als Folge der direkten Kopplung von den Senderwicklungen zu den Empfängerwicklungen ausgegeben wird.

**[0006]** Wenn der Lesekopf in der Nähe der Skala platziert ist, führt der sich ändernde, magnetische Fluss, erzeugt durch die Senderwicklung, auch durch die Fluss-Modulatoren hindurch. Die Fluss-Modulatoren modulieren den sich ändernden, magnetischen Fluss.

**[0007]** [Fig. 1A](#) stellt den positionsabhängigen Ausgang von den Schleifen mit positiver Polarität dar, wenn sich die Fluss-Modulatoren relativ zu den Schleifen mit positiver Polarität bewegen. Unter der Annahme, dass die Fluss-Modulatoren Fluss-Unterbrecher sind, entspricht die minimale Signalamplitude solchen Positionen, wo sich die Fluss-Unterbrecher exakt zu den Schleifen mit positiver Polarität ausrichten, während die Positionen mit maximaler Amplitude den Fluss-Unterbrechern entsprechen, die zu den Schleifen mit negativer Polarität ausgerichtet sind.

**[0008]** [Fig. 1B](#) stellt den Signalausgang von jeder der Schleifen mit negativer Polarität dar. Entsprechend des Signals, dargestellt in [Fig. 1A](#), entspricht die minimale Signalamplitude solchen Positionen, wo sich die Fluss-Unterbrecher exakt zu den Schleifen mit positiver Polarität ausrichten, während der maximale Signalausgang solchen Positionen entspricht, wo sich die Fluss-Unterbrecher exakt zu den Schleifen mit negativer Polarität ausrichten. Es sollte ersichtlich sein, dass dann, wenn Fluss-Verstärker anstelle von Fluss-Unterbrechern verwendet werden würden, die minimalen Signalamplituden in den [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) den Fluss-Verstärkern entsprechen würden, die sich zu den Schleifen mit negativer Polarität ausrichten, während die maximale Signalamplitude den Fluss-Verstärkern entsprechen würde, die sich zu den Schleifen mit positiver Polari-

tät ausrichten.

**[0009]** [Fig. 1C](#) stellt den Netto-Signalausgang von jeder der sich überlappenden Empfängerwicklung dar. Dieses Netto-Signal ist gleich zu der Summe der Signale, ausgegeben von den Schleifen mit positiver und negativer Polarität, d.h. die Summe der Signale, dargestellt in [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#). Das Netto-Signal, dargestellt in [Fig. 1C](#), sollte idealerweise symmetrisch um Null herum sein, das bedeutet die Schleifen mit positiver und negativer Polarität sollten exakt ausbalanciert sein, um einen symmetrischen Ausgang mit einem Offset von Null zu erzeugen.

**[0010]** Allerdings erscheint eine „DC“ (positionsunabhängig) Komponente oftmals in dem Netto-Signal in einer realen Vorrichtung. Diese DC-Komponente ist das Offset-Signal  $V_0$ . Diese Offset  $V_0$  ist eine äußere Signal-Komponente, die eine Signalverarbeitung verkompliziert und zu unerwünschten Positions-Messfehlern führt. Dieses Offset besitzt zwei Hauptquellen.

**[0011]** Als Erstes führt die vollständige Amplitude der Senderfelder durch die Empfängerwicklungen hindurch. Wie vorstehend angegeben ist, induziert dies eine Spannung in jeder Schleife. Die induzierte Spannung wird normal aufgehoben, da die Schleifen positive Wicklungs-Richtungen haben. Allerdings erfordert, um perfekt die induzierte Spannung in den Empfängerwicklungen aufzuheben, dies, dass die positiven und negativen Schleifen perfekt positioniert und geformt sind, und zwar für ein perfekt ausbalanciertes Ergebnis. Die Toleranzen in Bezug auf die Balance sind kritisch, da die Spannungen, induziert direkt in den Empfängerwicklungsschleifen durch die Senderwicklungen, viel stärker als die Modulation in der induzierten Spannung, verursacht durch die Fluss-Modulatoren, sind. In der Praxis verhindern Herstellungs-Toleranzen immer ein perfektes Ausbalancieren.

**[0012]** Als Zweites zeigt das räumlich modulierte Feld, erzeugt durch die Fluss-Modulatoren, auch eine durchschnittliche, Positions-unabhängige Offset-Komponente. Das bedeutet, dass die Fluss-Modulatoren innerhalb des magnetischen Felds, erzeugt durch die Senderwicklungen, alle dieselbe, räumliche Polaritäts-Modulation in dem magnetischen Feld erzeugen. Zum Beispiel besitzt, wenn Fluss-Unterbrecher verwendet werden, das induzierte Wirbelstromfeld von den Fluss-Modulatoren ein Offset, da die Fluss-Unterbrecher innerhalb der Senderfelder alle ein sekundäres Magnetfeld mit derselben Polarität erzeugen. Gleichzeitig erzeugt der Raum zwischen den Fluss-Unterbrechern kein Feld mit sekundärer Größe.

**[0013]** Demzufolge sieht jede Schleife mit positiver Polarität und jede Schleife mit negativer Polarität der

Empfängerwicklungen ein Netto-Magnetfeld, das zwischen einem minimalen Wert und einem maximalen Wert, die dieselbe Polarität haben, variiert. Der Durchschnittswert dieser Funktion ist nicht um Null herum ausbalanciert, d.h. er besitzt ein großes nominales Offset. Ähnlich besitzt, wenn Fluss-Verstärker verwendet werden, die Feld-Modulation aufgrund der Fluss-Verstärker eine Vorspannung, da die Verstärker innerhalb der Senderwicklungen alle dieselbe Feld-Modulation erzeugen, während der Raum zwischen den Modulatoren keine Modulation erzielt. Jede Schleife mit positiver und negativer Polarität jeder Empfängerwicklung sieht deshalb ein räumlich moduliertes Feld, das zwischen einem minimalen Wert und einem maximalen Wert, mit derselben Polarität, variiert. Der Durchschnittswert dieser Funktion besitzt auch ein großes, nominales Offset.

**[0014]** Eine Empfängerwicklung, die eine gleiche Anzahl von ähnlichen Schleifen mit positiver und negativer Polarität besitzt, hilft dabei, Offset-Komponenten zu beseitigen. Allerdings ermöglicht irgendeine nicht perfekte Balance zwischen den Schleifen mit positiver und negativer Polarität ein Rest-Offset entsprechend der vorherigen Beschreibung.

**[0015]** Beide dieser Offset-Komponenten werden dahingehend erwartet, dass sie nur durch die Symmetrie zwischen den Schleifen positiver und negativer Polarität in den Empfängerwicklungen ausbalanciert werden. Dies legt sehr beschränkende Erfordernisse der Herstellungs-Präzision der Empfängerwicklungen auf. Eine Erfahrung beim Herstellen des Wandlers zeigt an, dass dies praktisch unmöglich ist, um diese Quelle eines Fehlers von einem Positionswandler für einen induzierten Strom zu beseitigen.

**[0016]** Deshalb besteht ein Erfordernis nach einem Absolut-Positionswandler, der die vorstehend angegebenen Nachteile beseitigt und der einfach hergestellt werden kann.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0017]** Diese Erfindung schafft einen Absolut-Positionswandler für einen induzierten Strom mit verbesserten Wicklungs-Anordnungen, der die DC-Offset-Komponente des Ausgangssignals reduziert, gemäß Anspruch 1, einen Satz von induktiven Koppungsschleifen gemäß Anspruch 29, einen Lesekopf und ein Skalenelement gemäß Anspruch 30 und ein Verfahren gemäß Anspruch 32.

**[0018]** In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Absolut-Positionswandler für einen induzierten Strom mit einem „reduzierten Offset“, der eine Skala und einen Lesekopf besitzt, die relativ zueinander entlang einer Messachse bewegbar sind, geschaffen.

**[0019]** Die verbesserten Wicklungs-Konfigurationen erhöhen das Verhältnis der nutzbaren Ausgangssignal-Komponenten relativ zu äußeren („Offset“) Komponenten des Ausgangssignals, ohne eine erhöhte Wandler-Herstellungs-Genauigkeit zu erfordern. Weiterhin erhöhen die Wicklungs-Konfigurationen den Grad einer Ausgangssignal-Änderung pro Einheit einer Verschiebung für einen gegebenen Messbereich. Zusätzlich schafft die verbesserte Wicklungs-Konfiguration ein verringertes Offset-Ausgangssignal in einem Absolut-Positionswandler.

**[0020]** Dies wird durch Wicklungs-Konfigurationen erreicht, die die äußere Kopplung zwischen den Sender- und Empfängerwicklungen minimieren oder zu Null machen. Die Wicklungs-Konfigurationen ergeben auch eine erhöhte, positionsabhängige Kopplung zwischen den Wicklungen über eine Vielzahl von Kopplungs-Wicklungen auf der Skala, die mit einer Vielzahl von räumlichen Modulationen der Windungen bzw. Wicklungen zusammenwirken.

**[0021]** Der Lesekopf umfasst mindestens einen Magnetfluss-Sensor. Der Lesekopf umfasst weiterhin mindestens einen Magnetfeld-Generator, der auf ein Steuersignal anspricht, um einen ersten, sich ändernden, magnetischen Fluss in einem ersten Fluss-Abschnitt zu erzeugen.

**[0022]** Das Skalenelement besitzt eine Vielzahl von Fluss-Kopplungsschleifen, die sich entlang der Messachse erstrecken. Die Fluss-Kopplungsschleifen umfassen mindestens eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifen-Abschnitten und eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifen-Abschnitten. Die erste Vielzahl von Kopplungsschleifen-Abschnitten ist entlang der Messachse unter einer ersten Wellenlänge beabstandet und die zweite Vielzahl von Fluss-Kopplungsschleifen ist entlang der Messachse unter einer zweiten Wellenlänge beabstandet, die zu der ersten Wellenlänge unterschiedlich ist. Die Fluss-Kopplungsschleifen sprechen auf den ersten, sich ändernden, magnetischen Fluss in einer der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitten und der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitten an, um einen zweiten, sich ändernden, magnetischen Fluss außerhalb des ersten Fluss-Abschnitts und in dem anderen der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitte und der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitte zu erzeugen.

**[0023]** Der Lesekopf des induktiven Absolut-Positions-Sensors mit verringertem Offset umfasst auch einen Magnetfluss-Sensor, der außerhalb des ersten Fluss-Abschnitts positioniert ist. Der Magnetfluss-Sensor spricht auf den zweiten, sich ändernden, magnetischen Fluss an, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das eine Funktion der relativen Position zwischen dem Magnetfluss-Sensor und den Fluss-Kopplungsschleifen ist. Das Ausgangssignal

variiert unter der ersten oder zweiten Wellenlänge des entsprechenden anderen der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitte und der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen-Abschnitte, die den zweiten, sich ändernden, magnetischen Fluss erzeugen. Das Ausgangssignal, das bei der ersten Wellenlänge variiert, wird mit dem Ausgangssignal verglichen, das bei der zweiten Wellenlänge variiert, um eine grobe (oder synthetische) Wellenlänge zu erzielen, die den Umfang des absolut messbaren Abstands definiert. Der messbare Abstand kann durch Zählen aufeinander folgend quer verlaufender, grober Wellenlängen erweitert werden.

**[0024]** Eine beispielhafte Ausführungsform dieser Erfindung besitzt Fluss-Kopplungsschleifen, die mindestens zwei Abschnitte haben. In dieser beispielhaften Ausführungsform ist jeder der zwei Abschnitte auf einem Skalenelement bei der Hälfte der entsprechenden einen der zwei Wellenlängen entlang der Messachse beabstandet. Die ersten Abschnitte der Kopplungsschleifen erstrecken sich in einen ersten Fluss-Abschnitt hinein. Eine Senderwicklung erzeugt einen ersten, sich ändernden Fluss in dem ersten Fluss-Abschnitt und der erste, sich ändernde Fluss induziert einen Strom in den ersten Abschnitten der Fluss-Kopplungsschleifen. Der induzierte Strom führt durch die zweiten Abschnitte der Kopplungsschleifen hindurch, die in einem zweiten Fluss-Abschnitt positioniert sind, der räumlich von dem ersten Fluss-Abschnitt versetzt ist. Der induzierte Strom in den zweiten Abschnitten erzeugt einen räumlich modulierten, sekundären, sich ändernden magnetischen Fluss in dem zweiten Fluss-Abschnitt. Die Kopplungsschleifen modulieren räumlich den sekundären, magnetischen Fluss bei der Wellenlänge, bei der jeder der entsprechenden Kopplungsschleifen-Abschnitte entlang der Messachse beabstandet ist. Ein Fluss-Sensor in dem zweiten Fluss-Abschnitt erfasst den sekundären, magnetischen Fluss, um ein positionsabhängiges Ausgangssignal zu erzeugen.

**[0025]** Eine zweite Senderwicklung kann in dem zweiten Fluss-Abschnitt positioniert werden, während eine entsprechende zweite Senderwicklung in dem ersten Fluss-Abschnitt positioniert ist. Die zweite Senderwicklung kann dann wahlweise so mit Energie beaufschlagt werden, dass die zweite Empfängerwicklung ein positionsabhängiges Ausgangssignal erzeugt, das mit der Wellenlänge variiert, unter der jeder andere eine der ersten Schleifen-Abschnitte entlang der Messachse beabstandet ist. Deshalb werden mindestens zwei unterschiedliche Wellenlängen-Ausgänge unter Verwendung derselben Fluss-Kopplungsschleifen erzeugt. Demzufolge ermöglichen die unterschiedlichen Wellenlängen ein Absolut-Positions-Erfassungssystem. Auch wird, da derselbe Satz von Kopplungsschleifen zwei unterschiedliche Wellenlängen erzeugt, ein hoher Grad einer räumlichen Effektivität erreicht.

**[0026]** Weitere Ausführungsformen und Vorteile der vorliegenden Erfindung folgen aus den abhängigen Ansprüchen.

**[0027]** Diese und andere Merkmale dieser Erfindung werden in der nachfolgenden, detaillierten Beschreibung von verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen der Wandler mit verringertem Offset gemäß der Erfindung beschrieben oder werden daraus ersichtlich.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0028]** Verschiedene, beispielhafte Ausführungsformen von Wandlern mit einem verringerten Offset gemäß dieser Erfindung werden im Detail, unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Figuren, beschrieben, wobei:

**[0029]** [Fig. 1A](#) stellt den positionsabhängigen Ausgang von Schleifen mit positiver Polarität eines Positionswandlers mit induziertem Strom dar;

**[0030]** [Fig. 1B](#) stellt den positionsabhängigen Ausgang von Schleifen mit negativer Polarität eines Positionswandlers mit induziertem Strom dar;

**[0031]** [Fig. 1C](#) stellt den positionsabhängigen Netto-Ausgang der Schleifen mit positiver und negativer Polarität der [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) dar;

**[0032]** [Fig. 2](#) stellt einen Absolut-Positionswandler dar, der nicht erwünschte, äußere Signal-Offset-Komponenten besitzt;

**[0033]** [Fig. 3](#) stellt eine Skala einer ersten Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar;

**[0034]** [Fig. 4](#) stellt die erste Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar;

**[0035]** [Fig. 5](#) stellt eine zweite Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar;

**[0036]** [Fig. 6A](#) stellt eine dritte Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar;

**[0037]** [Fig. 6B](#) stellt einen ersten Wandler des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom der [Fig. 6A](#) dar;

**[0038]** [Fig. 6C](#) stellt einen zweiten Wandler des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom der [Fig. 6A](#) dar;

**[0039]** [Fig. 7](#) stellt eine vierte Ausführungsform des

Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar; und

**[0040]** [Fig. 8](#) stellt eine fünfte Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar;

**[0041]** [Fig. 9](#) stellt eine sechste Ausführungsform des Offset-Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom gemäß dieser Erfindung dar.

#### DETAILIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

**[0042]** Das US-Patent 5,886,519 offenbart einen Absolut-Positionswandler mit induziertem Strom. Das 519 Patent offenbart auch zugeordnete Signalverarbeitungstechniken für einen Absolut-Positionswandler mit induziertem Strom, der in einem Absolut-Positionswandler mit induziertem Strom mit verringertem Offset gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

**[0043]** [Fig. 2](#) stellt allgemein die Betriebsweise des Absolut-Positionswandlers mit induziertem Strom des 519 Patents dar. Wie in [Fig. 2](#) dargestellt ist, umfasst der Absolut-Positionswandler **100** mit induziertem Strom einen Lesekopf **148**, der relativ zu einer Skala **132** bewegbar ist. Die Skala **132** und der Lesekopf **148** sind vorzugsweise auf gedruckten Schaltungs-Leiterplatten, unter Verwendung einer Standard-Technologie für Schaltungs-Leiterplatten, gebildet.

**[0044]** Der induktive Absolut-Positionswandler **100** umfasst drei Wandler **102**, **104** und **106** auf parallelen Spuren. Jeder der drei Wandler **102**, **104** und **106** umfasst eine Senderwicklung **108**, **110** und **112**, jeweils, und zwei überlappende Empfängerwicklungen **114** und **116**, **118** und **120**, und **122** und **124**, jeweils. Jeder Wandler **102**, **104** und **106** umfasst auch eine Skala **126**, **128** und **130**. Die Skalen **126**, **128** und **130** sind auf einem Skalenelement **132** des induktiven Absolut-Positionswandlers **100** gebildet. Jede Skala **126**, **128** und **130** umfasst eine Vielzahl von Fluss-Modulatoren **134**. Es ist wichtig, dass die Empfängerwicklungen **114** und **116**, **118** und **120**, und **122** und **124** der Wandler **102**, **104** und **106** jeweils Wellenlängen von  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$  haben. Ähnlich besitzen die Fluss-Modulatoren **134** auf den Skalen **126**, **128** und **130** jeweils eine Länge **136**, **138** und **140**, jeweils, gemessen entlang der Messachse **142**, gleich zu der Hälfte der entsprechenden Wellenlänge  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$ .

**[0045]** [Fig. 2](#) stellt verschiedene, vertikale Linien, gleichmäßig beabstandet unter der Wellenlänge  $\lambda_3$ , dar, wobei die Markierungen der halben Wellenlänge durch unterbrochene Linien angezeigt sind. Die vertikalen Linien und die unterbrochenen Linien bilden

eine sichtbare Referenz, um dabei zu helfen, anzuzeigen, wie sich die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  von der Wellenlänge  $\lambda_3$  unterscheiden.

**[0046]** Vorzugsweise entspricht die Wellenlänge  $\lambda_1$  2,54 mm, die Wellenlänge  $\lambda_2$  entspricht 2,4094 mm und die Wellenlänge  $\lambda_3$  entspricht 2,56 mm. Jeder der Wandler **102** und **106** kann dazu verwendet werden, eine feine Wellenlängen-Messung zu erreichen. Die Wellenlänge  $\lambda_3$  (2,56mm) ist besonders für Millimeter-Messungen nützlich, da sie einfache, digitale Berechnungen ermöglicht. Die Wellenlänge  $\lambda_1$  (2,54 mm) ist gleich zu 0,1 Inch. Demzufolge wird sie in Inch-Messungen verwendet, da sie einfache Inch/Millimeter-Umwandlungs-Berechnungen ermöglicht.

**[0047]** Die Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$  besitzen Werte mit kleinen Differenzen zueinander. Demzufolge ändert sich die räumliche Phasendifferenz zwischen Paaren dieser Wellenlänge entlang der Skala und verläuft über einen vollen Kreis mit 360° über eine räumliche Länge viel länger als irgendeine der individuellen Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  oder  $\lambda_3$ . Dementsprechend können Positions-Ausgangs-Informationen von zwei Wandlern mit unterschiedlichen Wellenlängen, wie beispielsweise zwei von den Wandlern **102**, **104** und **106**, für Langbereichs-Messungen kombiniert werden.

**[0048]** Die kombinierten Positions-Informationen liefern Absolut-Positions-Informationen, basierend auf einer räumlichen „Phasen-Beziehungs-“ Berechnung, über eine „mittlere Wellenlänge“ oder eine „grobe Wellenlänge“. Diese „mittlere“ oder „grobe“ Wellenlänge entspricht 360° einer relativen, räumlichen Phasen-Verschiebung, und wird von den räumlichen Wellenlängen der zwei Wandler abgeleitet. Diese „mittlere“ oder „grobe“ Wellenlänge ist viel länger als der Bereich der absoluten Messung, der durch irgendeinen der Wandler **102**, **104** oder **106** alleine erreicht werden könnte.

**[0049]** Wenn die räumlichen Wellenlängen der zwei Wandler zunehmend ähnlich werden, geht die Phasendifferenz, abgeleitet von Signalen von den zwei Wandlern, über einen vollen Zyklus von 360° über eine zunehmend längere „Phasen-Beziehungs-“ Wellenlänge. Dies entspricht einem größeren, absoluten Messbereich.

**[0050]** Die zulässige, praktische Beziehung zwischen den Wellenlängen der Wandler **102**, **104** und **106**, und demzufolge der gesamte Absolut-Messbereich der Vorrichtung, ist von der Mess-Genauigkeit jeder der drei Wellenlängen/Wandler abhängig. Eine hohe Messungs-Genauigkeit für einen individuellen Wandler zeigt an, dass Positionen genau bis zu einer Auflösung bestimmt werden können, die ein kleiner Teil der Wandler-Wellenlänge ist.

**[0051]** „Interpolations-Verhältnis“ beschreibt den Grad, zu dem eine Unter-Wellenlängen-Auflösung oder -Genauigkeit erhalten werden kann. Das bedeutet, dass es das Verhältnis der Wellenlänge zu der ausgewählten Erhöhung einer Positions-Auflösung ist. Dieser Ausdruck kann auf die Wellenlänge eines individuellen Wandlers, oder die effektiven „mittleren“ oder „grogen“ Wellenlängen, beschrieben vorstehend, angewandt werden.

**[0052]** In dem induktiven Absolut-Positionswandler **100**, dargestellt in [Fig. 2](#), muss der induktive Absolut-Positionswandler **100** mit einer sehr konservativen „Fehlergrenze“ für die relativen Phasen-Berechnungen aufgebaut werden. Das bedeutet, dass, unter den schlechtesten Bedingungen, die „mittlere“ oder „grobe“, relative Phasen-Berechnung die Position der relativ sich bewegenden Wandler-Elemente entsprechend zu einer bestimmten, individuellen Wellenlänge des „nächsten, feineren“ Messungs-Modus des absoluten Systems identifizieren muss. Ansonsten wird ein Fehler entsprechend zu mindestens einer Wellenlänge des „nächsten, feineren“ Messungs-Modus in der gesamten absoluten Positions-Berechnung erzeugt werden. „Wellenlängen-Verhältnis“ bedeutet das Verhältnis der relativ gröberen, effektiven Wellenlänge zu der „nächsten, feineren“ effektiven Wellenlänge, zum Beispiel, grob/mittel oder mittel/fein.

**[0053]** Für den induktiven Absolut-Positionswandler **100** der [Fig. 2](#) wird eine konservative Fehlergrenze unter Verwendung eines Wellenlängen-Verhältnisses erhalten, das niedrig verglichen mit dem Interpolations-Verhältnis der individuellen Wandler ist. Die Wellenlängen-Verhältnisse, die in den verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des induktiven Absolut-Positionswandlers dieser Erfindung, diskutiert hier, verwendet werden, sind nur 16/1 für mittel/fein und 8/1 für grob/mittel. Diese Wellenlängen-Verhältnisse ergeben eine ausreichende Sicherheitsgrenze gegenüber der nominalen Genauigkeit, und ein Interpolations-Verhältnis von 256/1, erwartet für die individuellen Wandler **102**, **104** und **106**, und deren zugeordneten, feinen Wellenlängen. Die Wellenlängen-Verhältnisse können in Abhängigkeit von System-Design-Toleranzen und zulässigen Kosten erhöht werden. Allerdings könnte dies zu einem größeren Risiko von Fehlern führen, was nicht korrekte Absolut-Messungs-Auslesungen verursacht.

**[0054]** Die Phasendifferenz zwischen den Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_3$  ergibt eine effektive, grobe Wellenlänge von 325,12 mm. Um eine mittlere Wellenlänge  $\lambda_M$  zu erzielen, ergibt die Differenz zwischen der Wellenlänge  $\lambda_3$  von 2,56 mm und der Wellenlänge  $\lambda_2$  von 2,4094 mm eine Wellenlänge von 40,96 mm, die gleich zu  $16 \times 2,56$  mm und  $17 \times 2,4094$  mm ist. Demzufolge ist das grobe/mittlere Verhältnis 325,12/40,94, oder ungefähr 8. Das grobe/feine Verhältnis ist  $325,12/2,54 = 128$  oder  $325,12/2,56 = 127$ .

Es sollte ersichtlich sein, dass, um einen induktiven Absolut-Positionswandler sicherzustellen, der einen ausreichenden Messbereich besitzt, das grobe/feine Verhältnis vorzugsweise mindestens 100 beträgt, während das mittlere/feine Verhältnis vorzugsweise mindestens 10 beträgt. Die nachfolgende, quantitative Beschreibung fasst die Design-Richtlinien entsprechend zu feinen (Millimeter und Inch), mittleren und groben Betriebsmoden, verwendet in den verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des induktiven Absolut-Positionswandlers gemäß dieser Erfindung, zusammen, die hier diskutiert sind.

**[0055]** Insbesondere sind die Wellenlängen  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  und  $\lambda_3$ :  $\lambda_1 = 2,54$  mm;  $\lambda_2 = 2,4094$  mm; und  $\lambda_3 = 2,56$  mm. Die räumliche Phasen-Position jedes Wandlers **102**, **104** und **106** ist als  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  und  $\phi_3$ , jeweils, definiert. Die Wellenlängen  $\lambda_1$  werden für Inch-Fine-Mode-Messungen verwendet. Die Wellenlänge  $\lambda_M$  für den mittleren Modus wird bestimmt als:

$$\lambda_M = \lambda_3 * \frac{\lambda_2}{\lambda_3 - \lambda_2}$$

**[0056]** Demzufolge ist die Wellenlänge  $\lambda_M$  für den mittleren Modus 40,96 mm.

**[0057]** Die Wellenlänge  $\lambda_c$  für den groben Modus wird bestimmt als:

$$\lambda_c = \lambda_1 * \frac{\lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_1}$$

**[0058]** Demzufolge ist, wenn  $\lambda_1$  den Wert 2,54 mm hat und  $\lambda_3$  den Wert 2,56 mm hat, die Wellenlänge  $\lambda_c$  für den groben Modus 325,12 mm.

**[0059]** Die Phasen-Position der groben Wellenlänge  $\lambda_c$  ist  $\phi_1$ - $\phi_3$ . Die Phasen-Position der mittleren Wellenlänge  $\lambda_M$  ist  $\phi_2$ - $\phi_3$ . Die Berechnung der allgemeinen Phasen-Position  $\phi_n$  wird nachfolgend definiert. Die Phasen-Position für jede feine Wellenlänge  $\lambda_1$  oder  $\lambda_3$  wird durch Quadratur bestimmt, wie dies nachfolgend beschrieben ist.

**[0060]** Die Senderwicklungen **108**, **110** und **112** und die Empfängerwicklungen **114** und **116**, **118** und **120**, und **122** und **124** der Wandler **102**, **104** und **106**, jeweils, werden vorzugsweise auf zwei Schichten einer einzelnen, gedruckten Schaltungs-Leiterplatte hergestellt, wie dies vorstehend beschrieben ist.

**[0061]** Wie vorstehend angeführt ist, verwendet jeder Wandler **102**, **104** und **106** zwei Empfängerwicklungen **114** und **116**, **118** und **120**, und **122** und **124**, jeweils. Die Empfängerwicklungen befinden sich, indem sie ein Viertel einer Skalen-Wellenlänge voneinander entfernt sind, in Quadratur. Die Signale, ausgegeben von den Empfängerwicklungen, befinden sich deshalb räumlich um 90° außerhalb der Phase. Die

Beziehung zwischen den Signalen von den zwei Empfängerwicklungen ermöglicht, dass die Richtung einer Bewegung bestimmt wird, und ermöglicht, dass eine eindeutige, feine Positions-Messung irgendwo innerhalb einer feinen Wellenlänge berechnet werden kann.

**[0062]** In dem induktiven Absolut-Positionswandler **100** der [Fig. 2](#) folgen die Signalamplituden der Empfängerwicklungen einer sinusförmigen Funktion, wenn sich die Skala **132** entlang der Messachse **142** bewegt. Die linearen und Phasen-Positionen  $x$  und  $\phi_n$  werden, jeweils, innerhalb einer lokalen Wellenlänge der Skala relativ zu den entsprechenden Empfängerwicklungen erhalten als:

$$X = \tan^{-1}(s_1/s_2) \cdot (\lambda_n/360^\circ)$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(S_{n1}/S_{n2})$$

wobei:

$x$  ist die lineare Position;

$\phi_n$  ist die räumliche Phasen-Position, wobei  $n = 1, 2$  oder  $3$  für Wandler **102**, **104** oder **106**, jeweils, gilt;

$S_{n1}$  und  $S_{n2}$  sind die Amplitude der Ausgangssignale von den entsprechenden Empfängerwicklungen; und  $\lambda_n$  ist die entsprechende Wellenlänge.

**[0063]** Die  $\tan^{-1}$  Funktion führt einen Winkel zwischen 0° und 360°, unter Verwendung der Signal-Polarität von den  $S_{n1}$  und  $S_{n2}$  Signalen, zurück, um den geeigneten „Quadranten“ der Wellenlänge, der den Signalen entspricht, zu identifizieren.

**[0064]** Zusätzlich sollte, in diesen Ausführungsformen, die Länge der Empfängerwicklungen jedes Wandlers **102**, **104** und **106** das Ganzzahlige von Wellenlängen sein, die am nächsten zu der mittleren Wellenlänge  $\lambda_M$  gelangen. Vorzugsweise wird die mittlere Wellenlänge  $\lambda_M$  gleich zu einer ganzen Zahl von Wellenlängen für jeden Wandler **102**, **104** und **106** sein. Allerdings werden höchstens zwei der Wandler **102**, **104** und **106** ein Ganzzahliges der Wellenlängen gleich zu der mittleren Wellenlänge  $\lambda_M$  haben.

**[0065]** Die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) stellen eine erste, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **200** mit verringertem Offset gemäß dieser Erfindung dar. Der Wandler **200** mit induziertem Strom mit verringertem Offset erzeugt einen Ausgangs-Typ, der gewöhnlich als „absolut“ bezeichnet wird. „Absolut“ bedeutet, dass der Wandler **200** einen zyklischen Ausgang erzeugt, der nicht über den Umfang der Wandler-Verschiebung wiederholt wird. Insbesondere stellt [Fig. 3](#) eine erste, beispielhafte Ausführungsform der Skala **202** mit verringertem Offset des Wandlers **200** dar. Wie in [Fig. 3](#) dargestellt ist, umfasst die Skala **202** mit verringertem Offset eine Vielzahl von Kopplungsschleifen **204** mit geschlosse-

ner Schleife. Jede der Kopplungsschleifen **204** ist elektrisch gegen die anderen der Kopplungsschleifen **204** isoliert.

[0066] Jede der Vielzahl der Kopplungsschleifen **204** umfasst einen ersten Schleifenabschnitt **206** und einen zweiten Schleifenabschnitt **208**, verbunden durch ein Paar Verbindungsleiter **210**. Die ersten Schleifenabschnitte **206** sind entlang einer seitlichen Kante der Skala **202** angeordnet und sind entlang der Messachse **212** feldmäßig vorhanden. Die zweiten Schleifenabschnitte **208** sind entlang einer zweiten, seitlichen Kante der Skala **202** angeordnet und sind feldmäßig entlang der Messachse **212** vorhanden. Die Verbindungsleiter **210** erstrecken sich im Wesentlichen senkrecht zu der Messachse **212**, um die ersten Schleifenabschnitte **206** mit den zweiten Schleifenabschnitten **208** zu verbinden.

[0067] Wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, umfasst der Lesekopf **214** des Wandlers **200** eine erste Senderwicklung **216** und eine zweite Senderwicklung **218**. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, ist die erste Senderwicklung **216** an einer ersten, seitlichen Kante des Lesekopfs **214** vorgesehen, während die zweite Senderwicklung **218** an der anderen, seitlichen Kante des Lesekopfs **214** vorgesehen ist. Jede der Senderwicklungen **216** und **218** besitzt dieselbe, lange Dimension, die sich entlang der Messachse **212** erstreckt.

[0068] Die Anschlüsse **216A** und **216B** der ersten Senderwicklung **216** und die Anschlüsse **218A** und **218B** der zweiten Senderwicklung **218** sind mit dem Senderansteuersignal-Generator **220** verbunden. Der Senderansteuersignal-Generator **220** gibt selektiv ein Zeit variierendes Ansteuersignal zu entweder der ersten Senderwicklung **216** oder der zweiten Senderwicklung **218** aus. Demzufolge fließt jeder Zeit variierende Strom durch die erste Senderwicklung **216** oder durch die zweite Senderwicklung **218**.

[0069] Wie in [Fig. 4](#) dargestellt ist, erzeugt, in Abhängigkeit des Senderansteuersignal-Generators **220**, der ein Zeit variierendes Ansteuersignal anlegt, einen Strom in Uhrzeigerrichtung verursachend, um augenblicklich in der ersten Senderwicklung **216** zu fließen, die erste Senderwicklung **216** ein magnetisches Feld, das sich in die Ebene der [Fig. 4](#) innerhalb der ersten Senderwicklung **216** absenkt und bis zu der Ebene der [Fig. 4](#) außerhalb der Schleife, gebildet durch die erste Senderwicklung **216**, ansteigt. Daraufhin wird ein Strom in Gegenuhrzeigerrichtung in den ersten Schleifenabschnitten **206** induziert, der der Änderung des magnetischen Felds entgegenwirkt.

[0070] Demzufolge fließt der induzierte Strom in jeder der ersten Schleifenabschnitte **206** in einer Richtung entgegengesetzt zu dem Strom, der in der angrenzenden ersten Senderwicklung **216** fließt. Wie in

[Fig. 4](#) dargestellt ist, besitzen angrenzende solche der zweiten Schleifenabschnitte **208** Schleifenströme, die entgegengesetzte Polaritäten haben. Demzufolge wird ein sekundäres, magnetisches Feld erzeugt, das Feldabschnitte einer entgegengesetzten Polarität, periodisch verteilt entlang der Messachse über die zweiten Schleifenabschnitte **208** der Skala **202**, besitzt. Die Wellenlänge  $\lambda_2$  des periodischen, sekundären, magnetischen Felds ist gleich zu dem Abstand, unter dem die zweiten Schleifenabschnitte **208**, die eine ähnliche Stromrichtung haben, beabstandet sind.

[0071] Auf ein Anlegen eines Zeit variierenden Ansteuersignals durch den Ansteuersignal-Generator **220** hin, was einen Strom in Uhrzeigerrichtung verursacht, der augenblicklich in der zweiten Senderwicklung **218** fließt, erzeugt die zweite Senderwicklung **218** ein primäres, magnetisches Feld, das sich in die Ebene der [Fig. 4](#) innerhalb des zweiten Senderwicklungsabschnitts **218** absenkt und bis zu der Ebene der [Fig. 4](#) außerhalb der Schleife, gebildet durch die zweite Senderwicklung **218**, ansteigt. Daraufhin wird ein Strom in Gegenuhrzeigerrichtung in den zweiten Schleifenabschnitten **208** induziert, der der Änderung des magnetischen Felds entgegenwirkt.

[0072] Demzufolge fließt der induzierte Strom in jeder der zweiten Schleifenabschnitte **208** in einer Richtung entgegengesetzt zu dem Strom, der in den jeweiligen, benachbarten, zweiten Senderwicklungen **218** und benachbarten solchen der ersten Schleifenabschnitte **206** an der äußeren Kante der Skala **214**, die Schleifenströme haben, die entgegengesetzte Polaritäten haben, fließt. Demzufolge wird ein sekundäres, magnetisches Feld erzeugt, das Feldabschnitte einer entgegengesetzten Polarität, periodisch verteilt an der anderen Kante der Skala, besitzt. Die Wellenlänge  $\lambda_1$  des periodischen, sekundären, magnetischen Felds ist gleich zu dem Abstand, unter dem die ersten Schleifenabschnitte **206** einer gleichen Stromrichtung beabstandet sind.

[0073] Der Lesekopf **214** umfasst erste und zweite Empfängerwicklungs-Gruppen **224** und **226**. Die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **224** umfasst erste und zweite Empfängerwicklungen **224A** und **224B**. Die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe umfasst erste und zweite Empfängerwicklungen **226A** und **226B**. Die erste und die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **224** und **226** sind jeweils durch eine Vielzahl von Schleifensegmenten **228** und **230**, gebildet auf zwei angrenzenden Schichten der gedruckten Schaltungs-Leiterplatte, die den Lesekopf **214** bildet, gebildet.

[0074] Die Schleifensegmente **228** und **230** sind ähnlich über Zuführungs-Tröge **232**, um alternierende Schleifen **234** mit positiver Polarität und Schleifen **236** mit negativer Polarität in jeder der Empfänger-

wicklungen **224A**, **224B**, **226A** und **226B** zu bilden, verbunden. Die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **224** ist entlang einer ersten Kante des Lesekopfs **214** positioniert und ist induktiv mit den ersten Schleifenabschnitten **206** entlang der Messachse gekoppelt. Die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **226** ist entlang einer zweiten Kante des Lesekopfs **214** angeordnet und ist induktiv mit den zweiten Schleifenabschnitten **208** entlang der Messachse **212** gekoppelt.

**[0075]** Jeder der ersten Schleifenabschnitte **206** ist unter einer Teilung gleich zu der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_1$  der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **224** angeordnet. Weiterhin erstrecken sich die ersten Schleifenabschnitte **206** jeweils um einen Abstand entlang der Messachse **212**, was den Abstand der zweiten Schleifenabschnitte anpasst, die sich entlang der Messachse erstrecken. Jeder der zweiten Schleifenabschnitte **208** ist unter einer Teilung gleich zu der Hälfte der Wellenlänge  $\lambda_2$  der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226** angeordnet. Weiterhin erstrecken sich die zweiten Schleifenabschnitte **208** jeweils einen Abstand entlang der Messachse **212**, was so nahe wie möglich zu der Wellenlänge  $\lambda_2$  ist, während noch ein isolierender Raum **240** zwischen benachbarten solchen der zweiten Schleifenabschnitte **208** erreicht wird. Zusätzlich erstrecken sich der erste und der zweite Schleifenabschnitt **206** und **208** einen Abstand  $d_1$  in einer Richtung senkrecht zu der Messachse **212**.

**[0076]** Wie in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt ist, sind die zweiten Schleifenabschnitte **208** einen Abstand  $d_2$  von den entsprechenden ersten Schleifenabschnitten **206** beabstandet, und die erste und die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **224** und **226** sind um einen Abstand  $d_2$  voneinander beabstandet. Dementsprechend koppeln sich, wenn der Lesekopf **212** in der Nähe der Skala **202** platziert ist, wie dies in [Fig. 4](#) dargestellt ist, die erste Empfängerwicklung **216** und die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **224** induktiv mit den ersten Schleifenabschnitten **206** der Vielzahl der Kopplungsschleifen **204**. Ähnlich koppeln sich die zweite Senderwicklung **218** und die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **226** induktiv mit den zweiten Schleifenabschnitten **208** der Vielzahl der Kopplungsschleifen **204**.

**[0077]** Im Betrieb wird ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal selektiv durch den Senderansteuersignal-Generator **220** zu entweder der ersten Senderwicklung **216** oder der zweiten Senderwicklung **218** ausgegeben. In dem Fall eines Aktivierens der ersten Senderwicklung **216** wird jeder des ersten Schleifenabschnitts **206** der Vielzahl der Kopplungsschleifen **204** induktiv mit der ersten Senderwicklung **216** durch das Magnetfeld, erzeugt durch die erste Senderwicklung **216**, gekoppelt. Demzufolge induziert ein Strom in Uhrzeigerrichtung, der durch die erste Senderwicklung **216** fließt, einen Strom in Gegenuhr-

zeigerrichtung durch die ersten Schleifenabschnitte **206**.

**[0078]** Der momentane, in Gegenuhrzeigerrichtung fließende Strom in jeder der ersten Schleifenabschnitte **206** der Kopplungsschleifen **204** erzeugt ein magnetisches Feld, das sich in die Ebene von [Fig. 4](#) innerhalb jeder anderen einen der zweiten Schleifenabschnitte **208** absenkt und der hoch in die Ebene der [Fig. 4](#) in den anderen jeder der zweiten Schleifenabschnitte **208** ansteigt. Demzufolge wird ein alternierendes oder räumlich modulierte, magnetisches Netto-Feld entlang der Messachse **212** gebildet. Dieses räumlich modulierte, magnetische Feld der zweiten Schleifenabschnitte **208** der Kopplungsschleifen **204** besitzt eine Wellenlänge  $\lambda_2$ .

**[0079]** Der Netto-Ausgang der Schleifen **234** mit positiver Polarität der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226** ist, wenn sich der Lesekopf **214** relativ zu der Skala **202** bewegt, eine periodische Funktion der Position „x“ des Lesekopfs **214** entlang der Skala **202**. Ähnlich ist, wenn sich der Netto-Ausgang von den Schleifen **236** mit negativer Polarität der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226**, wenn sich der Lesekopf **214** relativ zu der Skala **202** bewegt, auch eine periodische Funktion der Position „x“ des Lesekopfs **214** entlang der Skala **202**. Die EMF-Beiträge von den Schleifen **234** der positiven Polarität und den Schleifen **236** der negativen Polarität befinden sich in Phase. Demzufolge erzeugen die kombinierten Schleifen **234** mit positiver Polarität und die Schleifen **236** mit negativer Polarität ein von einer Position abhängiges Netto-Ausgangssignal entsprechend zu [Fig. 1C](#), allerdings wird die DC-Vorspannung  $V_0$  aufgrund einer äußeren Kopplung reduziert, um unwesentlich den Absolut-Positionswandler **200** mit verringertem Offset zu beeinflussen.

**[0080]** Wenn ein Zeit variierendes Ansteuersignal an die erste Senderwicklung **216** angelegt wird, wird ein erstes, magnetisches Feld innerhalb der ersten Senderwicklung **216** erzeugt, das einen Strom in den ersten Schleifenabschnitt **206** der Kopplungsschleifen **204** induziert. Demzufolge sind die ersten Schleifenabschnitte **206** der Kopplungsschleifen **204** „induktiv“ mit der ersten Senderwicklung **216** „gekoppelt“. Der Strom, der in den ersten Schleifenabschnitten **206** induziert wird, fließt auch durch die zweiten Schleifenabschnitte **208** der Kopplungsschleifen **204**. Demzufolge wird der Strom in den zweiten Schleifenabschnitten **208** mit dem Strom in den ersten Schleifenabschnitten **206** „gekoppelt“. Der Strom in den zweiten Schleifenabschnitten **208** erzeugt ein magnetisches Feld, das räumlich in der Richtung der Messachse **212** moduliert ist. Dieses räumlich modulierte, magnetische Feld wird durch die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **226** erfasst. Demzufolge sind die zweiten Schleifenabschnitte **208** „induktiv“ mit der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226**

„gekoppelt“.

[0081] Dabei ist auch eine direkte, induktive Kopplung zwischen der ersten Senderwicklung **216** und der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226** aufgrund des ersten, magnetischen Felds, das durch die erste Senderwicklung **216** erzeugt ist, die sich über die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **226** erstreckt und einen sekundären Strom innerhalb der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226** direkt induziert, vorhanden. Allerdings ist diese direkte, induktive Kopplung schwächer als die induktive Kopplung zwischen den zweiten Schleifenabschnitten **208** und der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226**, und zwar aufgrund des räumlichen Offsets zwischen der ersten Senderwicklung **216** und der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226**. Dies ist der Fall, da sich die Stärke des magnetischen Felds, erzeugt durch die erste Senderwicklung **216**, wesentlich verringert, wenn sich der Abstand von der ersten Senderwicklung **216** erhöht. Deshalb wird die DC-Vorspannung  $V_0$  aufgrund einer direkten Kopplung wesentlich durch das räumliche Offset reduziert.

[0082] Eine ähnlich reduzierte DC-Vorspannung  $V_0$  wird dann erreicht, wenn das in der Zeit variierende Ansteuersignal an die zweite Senderwicklung **218** angelegt wird und die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **224** dazu verwendet wird, das räumlich modulierte, magnetische Feld, erzeugt durch die ersten Schleifenabschnitte **206**, zu erfassen.

[0083] Ein Empfängersignal-Prozessor **242** gibt die Ausgangssignale von der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **226** ein und tastet sie ab, wandelt diese Signale in digitale Werte um und gibt sie zu der Steuereinheit **244** aus. Die Steuereinheit **244** verarbeitet diese digitalisierten Ausgangssignale, um die relative Position  $x$  zwischen dem Lesekopf **214** und der Skala **202** innerhalb einer Wellenlänge  $\lambda_2$  zu bestimmen.

[0084] Nachdem die Steuereinheit **244** die relative Position zwischen dem Lesekopf **214** und der Skala **202** innerhalb einer Wellenlänge  $\lambda_2$  bestimmt, wählt der Senderansteuersignal-Generator **220** dann die zweite Senderwicklung **218** aus, um ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die zweite Senderwicklung **218** anzulegen.

[0085] Jede der zweiten Schleifenabschnitte **208** ist induktiv mit dem zweiten Senderwicklungsabschnitt **218** durch ein magnetisches Feld, erzeugt durch die erste Senderwicklung **218**, gekoppelt. Demzufolge induziert ein momentan in Uhrzeigerrichtung fließender Strom durch die zweite Senderwicklung **218** einen in Gegenuhrzeigerrichtung induzierten Strom durch jeden der zweiten Schleifenabschnitte **208**. Der momentane, in Gegenuhrzeigerrichtung fließende Strom in jeder der zweiten Schleifenabschnitte

**208** erzeugt ein räumlich moduliertes, magnetisches Feld, das sich in die Ebene der [Fig. 4](#) innerhalb jedes anderen einen der ersten Schleifenabschnitte **206** absenkt, und das zu der Ebene der [Fig. 4](#) in jeder anderen einen der ersten Schleifenabschnitte **206** ansteigt. Demzufolge wird ein räumlich moduliertes, magnetisches Feld entlang der Messachse **212** gebildet. Dieses räumlich modulierte, magnetische Feld besitzt eine Wellenlänge  $\lambda_1$  der ersten Schleifenabschnitte **206** der Kopplungsschleifen **204**.

[0086] Dementsprechend ist der Netto-Ausgang der Schleifen **234** mit positiver Polarität der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **224**, wenn sich der Lesekopf **214** relativ zu der Skala **202** bewegt, eine periodische Funktion der Position „ $x$ “ des Lesekopfs **214** entlang der Skala **202**. Ähnlich ist der Netto-Ausgang von den Schleifen **236** mit negativer Polarität der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **224** des ersten Empfängers, wenn sich der Lesekopf **214** relativ zu der Skala **202** bewegt, auch eine periodische Funktion der Position „ $x$ “ des Lesekopfs entlang der Skala. Das EMF trägt dazu bei, dass die Schleifen **234** mit positiver Polarität und die Schleifen **236** mit negativer Polarität in Phase sind. Demzufolge erzeugen die Schleifen **234** mit positiver Polarität und die Schleifen **236** mit negativer Polarität jeweils ein von der Netto-Position abhängiges Ausgangssignal entsprechend zu [Fig. 1C](#), allerdings wird die DC-Vorspannung  $V_0$  aufgrund einer äußeren Kopplung unwesentlich in diesem Absolut-Positionswandler **200** mit verringertem Offset verringert.

[0087] Die Empfängersignal-Verarbeitungsschaltung **242** gibt dann die Ausgangssignale von der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **224** ein und tastet sie ab, wandelt die Signale in digitale Werte um und gibt sie zu der Steuereinheit **244** aus. Die Steuereinheit **244** verarbeitet diese digitalisierten Ausgangssignale, um die relative Position  $x$  zwischen dem Lesekopf **214** und der Skala **202** innerhalb einer Wellenlänge  $\lambda_1$  zu bestimmen.

[0088] Die Steuereinheit **244** gibt auch Steuersignale zu dem Sender-Treibersignal-Generator **220** aus, um die in der Zeit variierenden Sender-Treibersignale zu erzeugen. Es sollte ersichtlich werden, dass irgendeine der Signalerzeugungs- und –verarbeitungsschaltungen, dargestellt in den Referenzen, verwendet werden kann, um den Empfängersignal-Prozessor **242**, den Sender-Treibersignal-Generator **220** und die Steuereinheit **244** auszuführen. Demzufolge werden diese Schaltungen nicht weiter im Detail hier beschrieben.

[0089] Entweder die erste oder die zweite Senderwicklungen **216** oder **218** können ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal, angelegt durch das Senderansteuersignal, haben, während die entsprechenden, jeweiligen, zweiten und ersten Empfängerwick-

lungs-Gruppen **226** und **224** ein Ausgangssignal erzeugen, um eine Fein-Wellenlängen-Messung zu erzielen.

**[0090]** Die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  besitzen Werte, die nahe zu einander liegen. Demzufolge verläuft die räumliche Phasendifferenz zwischen den Signalen, abgeleitet von den zwei Empfängern **216** und **218**, über einen vollen Zyklus von  $360^\circ$  über eine räumliche Länge, die viel länger als irgendeine der individuellen Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  ist. Demzufolge können Positionsausgangs-Informationen von der ersten und der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **224** und **226** für Langabschnitts-Messungen kombiniert werden. Die Verarbeitung für Signale, um solche Langabschnitts-Messungen zu erhalten, ist in dem eingeschlossenen 519 Patent beschrieben. Demzufolge wird eine Diskussion der Signalverarbeitungs-Techniken hier nicht vorgenommen werden.

**[0091]** [Fig. 5](#) stellt eine zweite, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **300** mit induziertem Strom und verringertem Offset dar. Der Absolut-Positionswandler **300** umfasst eine einzelne Senderwicklung **302**, eine Vielzahl von Kopplungsschleifen **304**, eine erste Empfängerwicklungs-Gruppe **306** und eine zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **308**. Die Vielzahl der Kopplungsschleifen **304** umfasst jeweils einen ersten Kopplungsschleifenabschnitt **310**, einen zweiten Kopplungsschleifenabschnitt **312** und einen dritten Kopplungsschleifenabschnitt **314**. Die ersten Kopplungsschleifenabschnitte **310** sind mit den zweiten Kopplungsschleifenabschnitten **312** durch Verbindungsleiter **316** verbunden und die zweiten Kopplungsschleifenabschnitte **312** sind mit den dritten Kopplungsschleifenabschnitten **314** durch Verbindungsleiter **318** verbunden. Jeder andere eine der ersten Verbindungsleiter **316** und der zweiten Verbindungsleiter **318** sind verdreht, um räumlich die Polaritäten des ersten, des zweiten und des dritten Kopplungsschleifenabschnitts **310**, **312** und **314** entlang der Messachse **320** zu modulieren.

**[0092]** Die Empfängerwicklungs-Gruppen besitzen jeweils erste und zweite Empfängerwicklungen **306A**, **306B**, **308A** und **308B**, jeweils. Kopplungsschleifenabschnitte **310** sind entlang der Messachse mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet, während die dritten Kopplungsschleifenabschnitte **314** entlang der Messachse mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_2$  beabstandet sind.

**[0093]** Die zweite, beispielhafte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **300** besitzt die Fähigkeit, gleichzeitig die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **306**, die ein positionsabhängiges Ausgangssignal besitzt, das bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  variiert, und die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **308**, die ein positionsabhängiges Ausgangssignal

besitzt, das bei der Wellenlänge  $\lambda_2$  variiert, zu erfassen. Ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal wird an die Senderwicklung **302** angelegt und die erste Empfängerwicklungs-Gruppe **306** und die zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **308** können gleichzeitig erfasst werden, um die Position des Lesekopfs entlang dieser Skala zu bestimmen.

**[0094]** Ähnlich zu der ersten, beispielhaften Ausführungsform kann die zweite, beispielhafte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **300** den positionsabhängigen Ausgang an entweder der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **306** oder der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **308** verwenden, um eine Fein-Wellenlängen-Messung zu erreichen.

**[0095]** Die Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  liegen eng zueinander. Demzufolge geht die räumliche Phasendifferenz zwischen diesen Wellenlängen über einen vollen Zyklus von  $360^\circ$  über eine räumliche Länge, die viel länger als irgendeine der individuellen Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  ist. Dementsprechend können Positionsausgangs-Informationen von der ersten und der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **306** und **308** für Langabschnitts-Messungen kombiniert werden.

**[0096]** Die [Fig. 6A–Fig. 6C](#) stellen eine dritte, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **400** dar. Die dritte, beispielhafte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **400** ist ähnlich zu der zweiten, beispielhaften Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **300**. Allerdings umfasst die erste, beispielhafte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **400** eine erste Senderwicklung **402** und eine zweite Senderwicklung **404** und nur eine einzelne Empfängerwicklungs-Gruppe **406**.

**[0097]** Die dritte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **400** umfasst eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifen **408**, die erste Schleifenabschnitte **410**, verbunden durch Verbindungsleiter **412** mit zweiten Schleifenabschnitten **414**, haben. Die zweiten Schleifenabschnitte **414** sind entlang der Messachse **416** mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet. Der Absolut-Positionswandler besitzt auch eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifen **418**, die erste Schleifenabschnitte **420**, verbunden durch Verbindungsleiter **422** mit zweiten Schleifenabschnitten **424**, haben. Die zweiten Schleifenabschnitte **424** sind entlang der Messachse **416** mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_2$  beabstandet.

**[0098]** [Fig. 6B](#) stellt, zum Zwecke der Deutlichkeit, nur die erste Vielzahl der Kopplungsschleifen **408**, die Empfängerwicklungs-Gruppe **406** und die erste Senderwicklung **402** dar. Ähnlich stellt [Fig. 6C](#), zum Zwecke der Deutlichkeit, nur die zweite Vielzahl der Kopplungsschleifen **418**, die Empfängerwicklungs-Gruppe **406** und die zweite Senderwicklung

404 dar.

[0099] Im Betrieb legt ein Senderansteuersignal-Generator (nicht dargestellt) wahlweise ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an entweder die erste Senderwicklung 402 oder die zweite Senderwicklung 404 an. Falls der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die erste Senderwicklung 402 anlegt, dann erfasst die Empfängerwicklungs-Gruppe 406 ein in der Position abhängiges Ausgangssignal, das unter einer Wellenlänge  $\lambda_1$  variiert. Ähnlich empfängt, falls der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die zweite Senderwicklung 404 anlegt, dann die Empfängerwicklungs-Gruppe 406 ein von der Position abhängiges Ausgangssignal, das mit der Wellenlänge  $\lambda_2$  variiert.

[0100] Die dritte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers 400 verringert die Komplexität des Wandlers, da sie nur eine einzelne Empfängerwicklungs-Gruppe erfordert. Allerdings muss die Steuereinheit auswählen, welche Senderwicklung 402 oder 404 anzusteuern ist, und kann nicht gleichzeitig positionsabhängige Ausgangssignale empfangen, die um beide Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  variieren.

[0101] Fig. 7 stellt eine vierte, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers 500 mit verringertem Offset gemäß der Erfindung dar. Der Absolut-Positionswandler 500 mit verringertem Offset umfasst eine erste Senderwicklung 502 und eine zweite Senderwicklung 504. Die zweite Senderwicklung 504 umfasst einen ersten Senderwicklungsabschnitt 506 und einen zweiten Senderwicklungsabschnitt 508. Der Absolut-Positionswandler 500 mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Empfängerwicklungs-Gruppe 510, eine zweite Empfängerwicklungs-Gruppe 512 und eine dritte Empfängerwicklungs-Gruppe 514. Zum Zwecke der Vereinfachung stellt Fig. 7 nur eine einzelne Wicklung jeder der Empfängerwicklungs-Gruppen 510, 512 und 514 dar. Jede der Empfängerwicklungs-Gruppen 510, 512 und 514 besteht aus mindestens zwei Empfängerwicklungen, wie dies in den vorherigen Ausführungsformen dargestellt ist.

[0102] Der Absolut-Positionswandler 500 mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifen 518 und eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifen 520. Die erste Vielzahl der Kopplungsschleifen 518 umfasst erste Schleifenabschnitte 522 und zweite Schleifenabschnitte 524, die durch einen Verbindungsleiter 526 verbunden sind. Jeder andere Satz der Verbindungsleiter 526 ist „verdrellt“, so dass ein Strom, der in Uhrzeigerrichtung in dem ersten Schleifenabschnitt 522 fließt, in Gegenuhrzeigerrichtung in jedem anderen, zweiten Schleifenabschnitt 524 fließen wird. Demzufolge fließen Ströme in entgegengesetzten Richtungen in jedem anderen,

zweiten Schleifenabschnitt 524. Das „Verdrillen“ kann durch Bilden von Abschnitten der Kopplungsschleifen 518 auf getrennten Schichten einer gedruckten Schaltungs-Leiterplatte und durch Verbinden der Schichten der Kopplungsschleifen 518 unter Verwendung von Durchführungen, wie dies in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt ist, erreicht werden.

[0103] Jede der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifen 520 umfasst einen ersten Schleifenabschnitt 528 und einen zweiten Schleifenabschnitt 530, verbunden durch einen Verbindungsleiter 532. Jeder andere Satz der Verbindungsleiter 532 ist so „verdrellt“, dass ein Strom, der in Uhrzeigerrichtung in einem ersten Schleifenabschnitt 528 fließt, in Gegenuhrzeigerrichtung in jedem anderen zweiten Schleifenabschnitt 530 fließen wird. Demzufolge fließen Ströme in entgegengesetzten Richtungen in jedem anderen, zweiten Schleifenabschnitt 530. Das „Verdrillen“ bzw. „Verdrehen“ kann durch Bilden von Abschnitten der Kopplungsschleifen 520 auf getrennten Schichten einer gedruckten Schaltungs-Leiterplatte und durch Verbinden der Schichten der Kopplungsschleifen 520 unter Verwendung von Durchführungen, wie dies in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt ist, erreicht werden.

[0104] Die ersten Schleifenabschnitte 522 der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen 518 sind entlang der Messachse 516 bei der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet. Die ersten Schleifenabschnitte 528 der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen 520 sind entlang der Messachse 516 mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_2$  beabstandet.

[0105] Die zweiten Schleifenabschnitte 524 der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen 518 sind entlang der Messachse 516 mit dem zweiten Kopplungsschleifenabschnitt 530 der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen 520 verschachtelt. Der zweite Kopplungsschleifenabschnitt 524 der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen 518 ist entlang der Messachse 516 unter der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_3$  beabstandet und der zweite Kopplungsschleifenabschnitt 530 der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen 520 ist auch entlang der Messachse 516 mit der Hälfte einer Wellenlänge  $\lambda_3$  beabstandet, was zu einer Beabstandung entlang der Messachse 516 der Kombination der zweiten Kopplungsschleifenabschnitte 524 der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen 518 und der zweiten Kopplungsschleifenabschnitte 530 der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen 520 mit einem Viertel einer Wellenlänge  $\lambda_3$  führt.

[0106] Im Betrieb legt ein Senderansteuersignal-Generator (nicht dargestellt) wahlweise ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an entweder die erste Senderwicklung 502 oder die zweite Senderwicklung 504 an. Wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersi-

gnal an die erste Senderwicklung **502** anlegt, dann erfasst der Empfängersignal-Prozessor (nicht dargestellt) ein von der Position abhängiges Ausgangssignal von der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **510**, das bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  variiert, und ein von der Position abhängiges Ausgangssignal von der zweiten Empfängerwicklung **512**, das bei der Wellenlänge  $\lambda_2$  variiert.

**[0107]** Das von der Position abhängige Ausgangssignal von der ersten Empfängerwicklung **510** ist von dem räumlich modulierten, magnetischen Feld abhängig, das durch die erste Vielzahl der Kopplungsschleifen **518** erzeugt ist, und wird räumlich bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  moduliert, und zwar aufgrund der Verdrehung jedes anderen Satzes der Verbindungsleiter **526**. Ähnlich gibt die zweite Empfängerwicklung **512** ein von der Position abhängiges Ausgangssignal aus, das mit dem räumlich modulierten, magnetischen Feld, erzeugt durch die zweite Vielzahl der Kopplungsschleifen **520**, variiert, und bei der Wellenlänge von  $\lambda_2$  variiert, und zwar aufgrund der Verdrehung jedes anderen Satzes der Verbindungsleiter **532**. Deshalb empfängt, wenn ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die Senderwicklung **502** angelegt wird, der Empfängersignal-Prozessor gleichzeitig von der Position abhängige Ausgangssignale mit Wellenlängen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ .

**[0108]** Wie in [Fig. 7](#) dargestellt ist, induziert, wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die Senderwicklung **504** anlegt, der Senderwicklungsabschnitt **506** einen in der Zeit variierenden Strom in dem ersten Schleifenabschnitt **522** der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **518**, was ein sekundäres, magnetisches Feld in den zweiten Schleifenabschnitten **524** der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **518** erzeugt. Gleichzeitig induziert der zweite Senderwicklungsabschnitt **508** einen in der Zeit variierenden Strom in den ersten Schleifenabschnitten **528** der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **520**, der durch die zweiten Schleifenabschnitte **530** fließt und der ein sekundäres Magnetfeld innerhalb der zweiten Schleifenabschnitte **530** erzeugt.

**[0109]** Der Strom, der in jeder der Senderwicklungen **506** und **508** fließt, läuft in entgegengesetzten Richtungen. Deshalb werden magnetische Felder mit entgegengesetzter Polarität in den entsprechenden ersten Schleifenabschnitten **522** und **528** jeweils erzeugt. Die sekundären, magnetischen Felder, erzeugt in den zweiten Schleifenabschnitten **524** und **530**, werden räumlich entlang der Messachse **516** bei einer Wellenlänge  $\lambda_3$  moduliert. Dieses räumlich modulierte, magnetische Feld wird durch die dritte Empfängerwicklungs-Gruppe **514** erfasst, die ein positionsabhängiges Ausgangssignal ausgibt, das mit der Position des Lesekopfs entlang der Skala bei einer Wellenlänge  $\lambda_3$  variiert.

**[0110]** Ähnlich induziert, wenn ein Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die erste Senderwicklung **502** anlegt, die erste Senderwicklung **502** einen in der Zeit variierenden Strom in den zweiten Schleifenabschnitten **524** und **530**. Die in der Zeit variierenden Ströme in den Kopplungsschleifen **518** erzeugen ein erstes, räumlich moduliertes, sekundäres Magnetfeld in den ersten Schleifenabschnitten **522**. Das erste, sekundäre, magnetische Feld wird räumlich bei einer Wellenlänge  $\lambda_1$  entlang der Messachse moduliert. Der in der Zeit variierende Strom in den Kopplungsschleifen **520** erzeugt auch ein zweites, räumlich moduliertes, sekundäres, magnetisches Feld in den ersten Schleifenabschnitten **528**. Das zweite, sekundäre, magnetische Feld wird räumlich bei einer Wellenlänge  $\lambda_2$  entlang der Messachse moduliert.

**[0111]** Die vierte, beispielhafte Ausführungsform besitzt einen Vorteil gegenüber den ersten drei Ausführungsformen, da die vierte, beispielhafte Ausführungsform die Fähigkeit besitzt, von der Position abhängige Signale zu erfassen, die unter drei unterschiedlichen Wellenlängen variieren. Dieses Drei-Wellenlängen-System besitzt allgemein einen vergrößerten Messabschnitt verglichen mit einem Zwei-Wellenlängen-System. Eine Signalverarbeitung für ein Drei-Wellenlängen-System ist in dem eingeschlossenen 519 Patent beschrieben. Alle folgenden Ausführungsformen, die hier beschrieben sind, erfassen auch einen von der Position abhängigen Ausgang, der zumindest mit drei unterschiedlichen Wellenlängen variiert. Eine Signalverarbeitung für diese Ausführungsform wird hier nicht beschrieben werden, da die Referenzen Signalverarbeitungs-Techniken beschreiben.

**[0112]** Dieser vierte Absolut-Positionswandler **500** mit verringertem Offset besitzt von der Position abhängige Ausgangssignale mit einem verringerten Offset bzw. Versatz und kann drei unterschiedliche, von der Position abhängige Signale erfassen, die entlang drei unterschiedlicher Wellenlängen variieren. Irgendeine der Wellenlängen kann eine Zeitmessung liefern, während irgendeine Kombination von Wellenlängen eine mittlere und/oder grobe Wellenlängen-Messung ergeben kann, die viel länger als irgendeine der Fein-Wellenlängen-Messungen ist.

**[0113]** [Fig. 8](#) stellt eine fünfte, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset dar. Der Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset umfasst eine erste Senderwicklung **602** und eine zweite Senderwicklung **604**, und kann optional eine dritte Senderwicklung **606** umfassen. Die erste Senderwicklung **602** umfasst einen ersten Abschnitt **608** und einen zweiten Abschnitt **610**. Der erste Abschnitt **608** und der zweite Abschnitt **610** können in Reihe oder parallel verbunden sein, allerdings vorzugsweise in einer Art und

Weise, die den Stromfluss in entgegengesetzten Richtungen, in Uhrzeigerichtung und in Gegenuhrzeigerichtung, in den zwei Abschnitten, gestaltet.

**[0114]** Der Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Empfängerwicklungs-Gruppe **612**, eine zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **614** und eine dritte Empfängerwicklungs-Gruppe **616**. Falls der Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset die optionale, dritte Senderwicklung **606** umfasst, wird er auch eine vierte Empfängerwicklungs-Gruppe **618** umfassen. Jede der Empfängerwicklungs-Gruppen **612**, **614**, **616** und **618** umfasst eine erste Empfängerwicklung **612A**, **614A**, **616A** und **618A**, jeweils, und eine zweite Empfängerwicklung **612B**, **614B**, **616B** und **618B**, jeweils. Die Paare der ersten und der zweiten Empfängerwicklungen **612A** und **612B**, **614A** und **614B**, **616A** und **616B**, und **618A** und **618B**, sind jeweils entlang der Messachse **620** unter einem räumlichen Phasen-Offset von  $90^\circ$  positioniert. Dies versetzt die erste und die zweite Empfängerwicklung jedes Paares der Empfängerwicklungen in eine Quadratur.

**[0115]** Es sollte ersichtlich sein, dass, anstelle der Quadratur-Empfängerwicklungen **612A** und **612B**, **614A** und **614B**, und **616A** und **616B**, und optional **618A** und **618B**, beschrieben vorstehend, N-Phasen-Empfängerwicklungen verwendet werden könnten. Beispiele von N-Phasen-Empfängerwicklungen sind in **Fig. 14** der 769 Anmeldung dargestellt und sind im Detail, unter Bezugnahme auf Drei-Phasen-Empfängerwicklungen, in der US-Patentanmeldung Serial No. 08/834,432 diskutiert. In N-Phasen-Empfängerwicklungen für diese fünfte, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset sind n Empfängerwicklungen in jeder der Empfängerwicklungs-Gruppen **612**, **614** und **616**, und optional **618**, vorhanden. Die n Empfängerwicklungen in jeder Empfängerwicklungs-Gruppe **612**, **614**, **616** oder **618** sind voneinander mit  $\lambda/n$  beabstandet, wobei  $\lambda$  die räumliche Wellenlänge der bestimmten Empfänger-Gruppe **612**, **614**, **616** oder **618** ist. Es sollte weiterhin ersichtlich sein, dass dies äquivalent dazu ist, dass n Empfängerwicklungen voneinander mit  $360^\circ/n$  beabstandet sind. Allgemein ist n gewöhnlich 3. Allerdings kann in solchen N-Phasen-Empfängerwicklungs-Gruppen n irgendein ganzzahliger Wert größer als 2 sein.

**[0116]** Es sollte weiterhin ersichtlich sein, dass irgendeine Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers mit verringertem Offset gemäß dieser Erfindung, umfassend die verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen, die hier diskutiert sind, N-Phasen-Empfängerwicklungen verwenden kann. Es sollte auch ersichtlich sein, dass irgendeine raum-effiziente Kombination der Sender- und Empfängerwicklungs-Strukturen und der Fluss-Kopplungsschlei-

fen-Strukturen, die hier und in der 432 Anmeldung diskutiert sind, offenbart sind. Zum Beispiel kann der Wandler der **Fig. 4**, der hier offenbart ist, verwendet werden, um zwei Wellenlängen eines Drei-Wellenlängen-Wandlers bereitzustellen, und könnte mit dem Wandler, dargestellt in **Fig. 4** der 432 Anmeldung, kombiniert werden, um eine dritte, hoch genaue Wellenlänge bereitzustellen. Diese Kombination liefert einen hochgenauen Wandler mit langem Abschnitt. Diese Kombination führt auch zu einer Drei-Wellenlängen-Alternativen in Bezug auf die fünfte, beispielhafte Ausführungsform des Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset, dargestellt in **Fig. 8**, wenn sie die optionale, dritte Senderwicklung **606** und die vierte Empfängerwicklungs-Gruppe **618** umfasst.

**[0117]** Der Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifen **622** und eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifen **624**. Falls der Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset die optionale, dritte Senderwicklung **606** umfasst, wird er auch eine dritte Vielzahl von Kopplungsschleifen **626** umfassen. Die erste Vielzahl der Kopplungsschleifen **622** umfasst jeweils einen ersten Schleifenabschnitt **628**, verbunden durch Verbindungsleiter **630** mit einem zweiten Schleifenabschnitt **632**. Die zweite Vielzahl der Kopplungsschleifen **624** umfasst jeweils einen ersten Schleifenabschnitt **634**, verbunden durch Verbindungsleiter **636** mit einem zweiten Schleifenabschnitt **638**. Die dritte Vielzahl der Kopplungsschleifen **626** umfasst jeweils einen ersten Schleifenabschnitt **640**, verbunden durch Verbindungsleiter **642** mit einem zweiten Schleifenabschnitt **644**.

**[0118]** Die ersten Schleifenabschnitte **628** sind entlang der Messachse **620** mit einer Wellenlänge  $\lambda_3$  beabstandet. Der erste Schleifenabschnitt **634** ist auch entlang der Messachse **620** mit einer Wellenlänge  $\lambda_3$  beabstandet. Die zweiten Schleifenabschnitte **632** sind entlang der Messachse **620** mit den zweiten Schleifenabschnitten **638** verschachtelt. Die zweiten Schleifenabschnitte **632** sind entlang der Messachse mit einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet. Die zweiten Schleifenabschnitte **638** sind auch entlang der Messachse mit einer Wellenlänge  $\lambda_1$ , verschachtelt mit den zweiten Schleifenabschnitten **632**, beabstandet. Falls die ersten Schleifenabschnitte in dem Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem Offset enthalten sind, werden die ersten Schleifenabschnitte **640** entlang der Messachse **620** unter einer Wellenlänge  $\lambda_2$  beabstandet sein.

**[0119]** Im Betrieb legt ein Senderansteuersignal-Generator (nicht dargestellt) wahlweise ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an entweder die erste Senderwicklung **602** oder die zweite Senderwicklung **604** an. Falls die dritte Senderwicklung **606** in dem Absolut-Positionswandler **600** mit verringertem

tem Offset umfasst ist, kann der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die dritte Senderwicklung **606** auch anlegen.

**[0120]** Wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die erste Senderwicklung **602** anlegt, induziert der erste Abschnitt **608** einen in der Zeit variierenden Strom in den ersten Schleifenabschnitten **628** der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **622**. Dies wiederum erzeugt ein sekundäres, magnetisches Feld in den zweiten Schleifenabschnitten **632** der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **622**.

**[0121]** Gleichzeitig legt der Senderansteuersignal-Generator dasselbe, in der Zeit variierende Ansteuersignal an den zweiten Abschnitt **610** des Senders **602** so an, dass Strom in dem zweiten Abschnitt **610** in einer Richtung entgegengesetzt zu, zum Beispiel, einer Uhrzeigerrichtung gegenüber einer Gegenuhrzeigerrichtung, dem Stromfluss in dem ersten Schleifenabschnitt **608** fließt. Dies erzeugt magnetische Felder von entgegengesetzten Polaritäten in dem ersten Senderschleifenabschnitt **608** und dem zweiten Senderschleifenabschnitt **610**. Das magnetische Feld, erzeugt durch den zweiten Schleifenabschnitt **610**, induziert einen in der Zeit variierenden Strom in den ersten Schleifenabschnitten **634** der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **624**. Dies wiederum erzeugt ein sekundäres, magnetisches Feld, in den zweiten Schleifenabschnitten **638** der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **624**.

**[0122]** Die Polarität der sekundären, magnetischen Felder, erzeugt durch die zweite Schleifenabschnitten **632** und **638**, sind von einer entgegengesetzten Polarität. Deshalb wird ein räumlich modulierte Feld entlang des Felds der zweiten Schleifenabschnitte **632** und **638** der Vielzahl der Kopplungsschleifen **622** und **624** entlang der Messachse bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  erzeugt. Dieses räumlich modulierte Feld induziert Signale in den Empfängerwicklungen **612A** und **612B** des Empfängers **612**. Die Amplitude dieser Signale ist eine periodische Funktion der Position des Lesekopfs relativ zu der Skala mit der Wellenlänge  $\lambda_1$ . Die Amplituden-Funktionen der zwei Wicklungen **612A** und **612B** sind entlang der Messachse **620** um ein Viertel der Wellenlänge  $\lambda_1$  in der Phase verschoben. Dem magnetischen Streufeld durch die Empfängerwicklungsabschnitte **612A** und **612B** von dem Senderabschnitt **608** des Senders **602** wird durch das Streufeld von dem Senderabschnitt **610** des Senders **602** aufgrund der entgegengesetzten Richtungen der Ströme in den zwei Senderabschnitten **608** und **610** des Senders **602** entgegengewirkt.

**[0123]** Wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die zweite Senderwicklung **604** anlegt, fließt ein in der Zeit variierender Strom in der zweiten Senderwick-

lung **604**, was ein in der Zeit variierendes, magnetisches Feld erzeugt. Dieses in der Zeit variierende, magnetische Feld induziert in der Zeit variierende Ströme in den Schleifenabschnitten **632** und **638**. Diese induzierten Ströme fließen in entgegengesetzten Richtungen, in Uhrzeigerrichtung gegenüber der Gegenuhrzeigerrichtung, in den Schleifenabschnitten **632** und **638** relativ zu dem in der Zeit variierenden Strom in der zweiten Senderwicklung **604**.

**[0124]** Diese in der Zeit variierenden Ströme fließen durch die Schleifenabschnitte **632** und **638**, die Verbindungsleiter **630** und **636** und die zweiten Kopplungsschleifenabschnitte **628** und **634** in derselben Richtung wie in den Schleifenabschnitten **632** und **638**, und in einer Richtung entgegengesetzt zu der Richtung des in der Zeit variierenden Stroms in der zweiten Senderwicklung **604**. Die in der Zeit variierenden Ströme in den zweiten Kopplungsschleifenabschnitten **632** und **638** induzieren ein magnetisches Feld innerhalb des Abschnitts, der durch die Kopplungsschleifenabschnitte **628** und **634** umschlossen sind, und ein magnetisches Feld der entgegengesetzten Polarität außerhalb des Abschnitts, der durch die Kopplungsschleifenabschnitte **628** und **634** umschlossen ist. Demzufolge werden, da die Kopplungsschleifenabschnitte **628** und **634** beide entlang der Messachse **620** mit einer Wellenlänge  $\lambda_3$  beabstandet sind, sich allerdings nur ungefähr  $\lambda_3/2$  entlang der Messachse **620** erstrecken, die räumlich modulierten Felder bei einer Wellenlänge  $\lambda_3$  auf beiden Spuren erzeugt.

**[0125]** Die Kopplungsschleifenabschnitte **634** sind mit der Hälfte der Wellenlänge  $\lambda_3$  entlang der Messachse **620** von den Kopplungsschleifenabschnitten **628** versetzt. Im Gegensatz dazu sind die Empfängerwicklungen **616** an derselben Position entlang der Messachse **620** wie die Empfängerwicklungen **614** beabstandet. Aufgrund der Anordnung entlang der Messachse **620** der Kopplungsschleifenabschnitte **628** und **634** relativ zu den Empfängerwicklungen **614** und **616** ist die Signal-Modulation aufgrund einer Position entlang der Messachse **320** von der Empfängerwicklung **614** von einer entgegengesetzten Polarität relativ zu der Signal-Modulation aufgrund einer Position entlang der Messachse **320** von der Empfängerwicklung **616**.

**[0126]** Die Signale von den Empfängerwicklungen **614** und **616** werden ein Offset, verursacht durch das Streufeld von der Empfängerwicklung **604**, und da die Kopplungsschleifenabschnitte **622** und **624** alle einen Strom führen, der in derselben Richtung zirkuliert, haben. Die Offsets in den Signalen von den Empfängerwicklungen **614** und **616** sind von derselben Polarität, während die Signal-Modulationen aufgrund einer Position entlang der Messachse von einer entgegengesetzten Polarität sind. Durch Verbinden der Empfängerwicklungen in „Anti-Reihe“, in Rei-

he mit den Verbindungen zu einer Wicklung umgekehrt relativ zu der anderen, werden die Modulationen in Bezug auf eine Position entlang der Messachse **620** hinzugefügt werden und die Offsets werden aufgehoben werden. In beispielhaften Ausführungsformen des Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset, die die dritte Senderwicklung **606** umfassen, erzeugt, auf den Senderansteuersignal-Generator hin, der ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal anlegt, der bewirkt, dass ein Strom in Uhrzeigerrichtung zu einem augenblicklichen Zeitpunkt in der dritten Senderwicklung **606** fließt, die dritte Senderwicklung **606** ein primäres, magnetisches Feld. Dieses primäre, magnetische Feld senkt sich in die Ebene der [Fig. 8](#) innerhalb der Schleife, gebildet durch die dritte Senderwicklung **606**, ab, und steigt aus der Ebene der [Fig. 8](#) außerhalb der Schleife, gebildet durch die Senderwicklung **606**, auf. Hieraufhin wird ein Strom in Gegenuhrzeigerrichtung in den zweiten Schleifenabschnitten **644** induziert, der der Änderung des magnetischen Felds entgegengewirkt.

**[0127]** Demzufolge fließt der induzierte Strom in jeder der zweiten Schleifenabschnitte **644** in einer Richtung entgegengesetzt zu dem Strom, der in der jeweiligen, angrenzenden, dritten Senderwicklung **606** fließt. Der Strom in Gegenuhrzeigerrichtung, induziert in den zweiten Schleifenabschnitten **644**, fließt auch durch die ersten Schleifenabschnitte **640**.

**[0128]** Der Strom in Gegenuhrzeigerrichtung in jedem der ersten Schleifenabschnitte **640** erzeugt ein sekundäres, magnetisches Feld, das sich aus der Ebene der [Fig. 8](#) heraus innerhalb der ersten Schleifenabschnitte **640** erhebt und sich in die Ebene der [Fig. 8](#) hinein, außerhalb der ersten Schleifenabschnitte **640**, erstreckt.

**[0129]** Deshalb wird, da die ersten Schleifenabschnitte entlang der Messachse **620** unter einer Wellenlänge  $\lambda_2$  beabstandet sind und sich die ersten Schleifenabschnitte **640** einzeln nur mit der Hälfte der Wellenlänge  $\lambda_2$  entlang der Messachse **620** erstrecken, ein räumlich modulierte Feld erzeugt, das periodisch unter der Wellenlänge  $\lambda_2$  entlang der Messachse verteilt ist. Dieses räumlich modulierte Feld besitzt kein Offset aufgrund des magnetischen Streufelds außerhalb der dritten Senderwicklung **606** und da die Signale in den ersten Kopplungsschleifenabschnitten **640** alle von derselben Polarität sind. Dieses Offset ist kleiner als dasjenige des Stands der Technik, dargestellt in [Fig. 2](#), da der Sender unter einem Abstand von der zugeordneten Empfängerwicklung angeordnet ist. Das Offset wird nominal durch die Balance der positiven und negativen Schleifen in den Empfängerwicklungen **618A** und **618B** beseitigt.

**[0130]** In den verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des fünften Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset gestaltet die symme-

trische Anordnung der  $\lambda_3$ -Wicklungen um die  $\lambda_1$ -Wicklungen herum die Kombination davon für eine grobe Messung unempfindlich gegen ein Gieren in der Befestigung des Lesekopfs relativ zu der Skala.

**[0131]** Die verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des fünften Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset sind vorteilhaft verglichen mit den zuvor beschriebenen, beispielhaften Ausführungsformen mit verdrehten Verbindungsleitern zwischen den Kopplungsschleifenabschnitten auf der Skala, da er die Kosten einer Herstellung der Skala verringert, da die Kopplungsschleifen **622**, **624** und **626** in einer einzelnen Schicht in einer gedruckten Schaltungs-Leiterplatte liegen und Durchführungs-Vertiefungen, um zwischen Schichten zu verbinden, nicht notwendig sind.

**[0132]** In den verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des fünften Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset, der nur die erste Senderwicklung **602** und die zweite Senderwicklung **604** umfasst, würden die zwei Wellenlängen in einer typischen, beispielhaften Ausführungsform des fünften Positionswandlers **600** mit verringertem Offset sein:

$$\lambda_1 = 5,4 \text{ mm, und } \lambda_3 = 5,27 \text{ mm}$$

**[0133]** Die Phasenwinkeldifferenz zwischen den  $\lambda_1$ - und  $\lambda_2$ -Spuren ändern sich mit  $360^\circ$  über einen Abstand von  $(\lambda_1 \cdot \lambda_3) / (\lambda_1 - \lambda_3) = 219 \text{ mm}$ , was die grobe Wellenlänge  $\lambda_c$  ist. Es ist weiterhin vorteilhaft, die äußere  $\lambda_1$ -Spur für die Fein-Wellenlänge  $\lambda_F$  zu verwenden, da die  $\lambda_1$ -Wellenlänge gleichmäßig durch die Messauflösung von  $10 \mu\text{m}$  unterteilbar ist.

**[0134]** Die  $\lambda_1$ -Spur wird zum Vornehmen von Fein-Auflösungs-Messungen verwendet. Diese Spur besitzt das Signal mit der besten Qualität, und zwar aufgrund der symmetrischen Anordnungen der Senderschleifen **608** und **610** mit deren Strömen, die in entgegengesetzten Richtungen auf jeder Seite des Empfängers **612** fließen, um dadurch irgendeine direkte Kopplung von den Senderwicklungen **608** oder **610** zu den Empfängerwicklungen **612** auszubalancieren. Auch ist, falls die Senderwicklungen **608** und **610** parallel zueinander verbunden sind, die Signalstärke maximal für diese Spur. Das Signal mit hoher Qualität, hoher Amplitude ist für einen hohen Interpolations-Faktor,  $1/512$  zum Beispiel, vorteilhaft, um eine feine Auflösung, wie zum Beispiel  $10 \mu\text{m}$ , zu erreichen. Es ist weiterhin vorteilhaft, die äußere  $\lambda_1$ -Spur für eine Fein-Wellenlänge  $\lambda_F$  zu verwenden, da die  $\lambda_1$ -Wellenlänge gleich durch die Fein-Messaufklärung von  $10 \mu\text{m}$  unterteilbar ist.

**[0135]** In den verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des fünften Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset, der die dritte Senderwicklung **606** umfasst, würden die drei Wellenlän-

gen in einer typischen, beispielhaften Ausführungsform des fünften Positionswandlers **600** mit verringertem Offset sein:

$$\lambda_1 = 5,12 \text{ mm}; \lambda_2 = 5,461 \text{ mm}; \lambda_3 = 5,130 \text{ mm}$$

**[0136]** Die Phasenwinkeldifferenz zwischen den  $\lambda_1$ - und  $\lambda_2$ -Spuren ändert sich mit  $360^\circ$  über einen Abstand von  $(\lambda_1 \cdot \lambda_3) / (\lambda_1 - \lambda_3) = 16 \cdot \lambda_1 = 82 \text{ mm}$ , was die mittlere Wellenlänge  $\lambda_M$  ist. Es ist weiterhin vorteilhaft, die unabhängige Spur, ausgeführt mit den Kopplungsschleifen **626** für die mittlere Wellenlänge  $\lambda_M$ , zu verwenden, da die mittlere Wellenlänge einige  $360^\circ$  Phasen-Verschiebungen relativ zu den anderen Spuren über den gesamten Messbereich zeigen wird. Solche Mehrfach-Wellenlängen-Verhältnisse können nicht in miteinander verbundenen Kanälen ohne Unterbrechung des Felds von Kopplungsschleifen unter regelmäßigen Intervallen ausgeführt werden, was Messfehler verursacht, die die Genauigkeit und das maximale, mögliche Fein- oder Mittel-Wellenlängen-Verhältnis begrenzen.

**[0137]** Die Phasendifferenz zwischen den  $\lambda_1$ - und  $\lambda_3$ -Spuren ergibt eine Phasen-Verschiebung von  $360^\circ$  über einen Abstand von  $32 \cdot \lambda_M = 512 \cdot \lambda_1 \cong (\lambda_1 \cdot \lambda_3) / (\lambda_3 - \lambda_1) = 2627 \text{ mm}$ , was die grobe Wellenlänge  $\lambda_c$  ist.

**[0138]** Wie vorstehend angegeben ist, wird die  $\lambda_1$ -Spur für eine Feinmessung verwendet. Diese Spur besitzt das Signal der besten Qualität aufgrund der symmetrischen Anordnung der Senderschleifen **608** und **610**, wobei deren Ströme in entgegengesetzten Richtungen auf jeder Seite des Empfängers **612** fließen, um dadurch irgendeine direkte Kopplung von den Senderwicklungen **608** oder **610** zu den Empfängerwicklungen **612** auszubalancieren. Auch ist, falls die Senderwicklungen **608** und **610** parallel zueinander verbunden sind, die Signalstärke maximal für diese Spur. Das Signal mit hoher Qualität, hoher Amplitude ist für einen hohen Interpolations-Faktor,  $1/512$ , zum Beispiel, vorteilhaft, um eine hohe Auflösung, 10 Mikron für dieses Beispiel, zu erreichen.

**[0139]** Die symmetrische Anordnung der  $\lambda_3$ -Kanäle um den  $\lambda_1$ -Kanal herum gestaltet die Kombination davon für eine grobe Messung unempfindlich in Bezug auf ein Gieren in der Befestigung des Lesekopfs relativ zu der Skala. Die  $\lambda_2$ -Spur ist für ein Gieren empfindlich, was das Verhältnis von  $\lambda_2/\lambda_1$  begrenzt, und zwar basierend auf der Gier-Stabilität des Aufhängungs-Systems des Lesekopfs relativ zu der Skala. Diese Beschränkung könnte durch Einsetzen einer anderen  $\lambda_2$ -Spur, gespiegelt auf der anderen Seite der  $\lambda_1$ - und  $\lambda_3$ -Spuren, beseitigt werden.

**[0140]** Diese verschiedenen, beispielhaften Ausführungsformen des fünften Absolut-Positionswandlers **600** mit verringertem Offset sind vorteilhaft verglichen mit den zuvor beschriebenen, beispielhaften Ausführungs-

formen mit verdrehten bzw. verdrehten Verbindungsleitern zwischen den Kopplungsschleifenabschnitten auf der Skala, da sie die Kosten einer Herstellung der Skala aufgrund der Kopplungsschleifen **622** und **624**, und der Kopplungsschleifen **626**, falls sie vorhanden sind, die sich in einer einzelnen Schicht in einer gedruckten Schaltungs-Leiterplatte befinden, und da Zuführungsvertiefungen, um zwischen Schichten zu verbinden, nicht notwendig sind, reduzieren.

**[0141]** [Fig. 9](#) stellt eine sechste, beispielhafte Ausführungsform eines Absolut-Positionswandlers **700** mit verringertem Offset dar. Der Absolut-Positionswandler **700** mit verringertem Offset umfasst eine erste Senderwicklung **702** und eine zweite Senderwicklung **704**. Die erste Senderwicklung **702** umfasst einen ersten Abschnitt **706** und einen zweiten Abschnitt **708**. Die zweite Senderwicklung **704** umfasst einen ersten Abschnitt **710** und einen zweiten Abschnitt **712**.

**[0142]** Der Absolut-Positionswandler **700** mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Empfängerwicklungs-Gruppe **714**, eine zweite Empfängerwicklungs-Gruppe **716** und eine dritte Empfängerwicklungs-Gruppe **718**. Jede der Empfängerwicklungs-Gruppen **714**, **716** und **718** umfasst eine erste Empfängerwicklung **714A**, **716A** und **718A**, jeweils, und eine zweite Empfängerwicklung **714B**, **716B** und **718B**, jeweils. Jede Wicklung des Paares der ersten und der zweiten Empfängerwicklungen **714A** und **714B**, **716A** und **716B**, und **718A** und **718B** ist jeweils entlang der Messachse **720** unter einem räumlichen Phasen-Offset von  $90^\circ$  von der anderen Wicklung des Paares positioniert. Dies versetzt die erste und die zweite Empfängerwicklung jedes Paares der Empfängerwicklungen in eine Quadratur.

**[0143]** Der Absolut-Positionswandler **700** mit verringertem Offset umfasst auch eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifen **722** und eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifen **724**. Die erste Vielzahl der Kopplungsschleifen **722** umfasst jeweils einen ersten Schleifenabschnitt **726**, verbunden durch einen Verbindungsleiter **728** mit einem zweiten Schleifenabschnitt **730**. Jede der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **724** umfasst einen ersten Schleifenabschnitt **732**, verbunden durch einen Verbindungsleiter **734** mit einem zweiten Schleifenabschnitt **736**. Die ersten Schleifenabschnitte **726** der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **722** sind entlang der Messachse **720** mit einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet. Die ersten Schleifenabschnitte **732** der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **724** ist auch entlang der Messachse **720** unter einer Wellenlänge  $\lambda_1$  beabstandet.

**[0144]** Die zweiten Schleifenabschnitte **730** in der ersten Vielzahl der Kopplungsschleifen **722** sind ent-

lang der Messachse **720** mit den zweiten Schleifenabschnitten **736** der zweiten Vielzahl der Kopplungsschleifen **724** verschachtelt. Die zweiten Schleifenabschnitte **730** und **736** alternieren auch so, dass sie so ausgerichtet sind, dass sie induktiv den ersten Abschnitt **710** oder den zweiten Abschnitt **712** der zweiten Senderwicklungen **704** koppeln. Die zweiten Schleifenabschnitte **730** und **736** sind jeweils entlang der Messachse unter einer Wellenlänge  $\lambda_2$  positioniert.

**[0145]** Im Betrieb legt ein Senderansteuersignal-Generator (nicht dargestellt) wahlweise ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an entweder die erste Senderwicklung **702** oder die zweite Senderwicklung **704** an. Wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die erste Senderwicklung **702** anlegt, empfängt der Empfänger-Signal-Prozessor (nicht dargestellt) ein von der Position abhängiges Ausgangssignal von der dritten Empfängerwicklungs-Gruppe **718**, das bei einer Wellenlänge  $\lambda_2$  variiert. Das von der Position abhängige Ausgangssignal von der dritten Empfängerwicklungs-Gruppe **718** ist von dem räumlich modulierten, magnetischen Feld abhängig, das durch die zweiten Schleifenabschnitte **730** und **736** erzeugt ist, das räumlich bei einer Wellenlänge  $\lambda_2$  moduliert ist.

**[0146]** Wenn der Senderansteuersignal-Generator ein in der Zeit variierendes Ansteuersignal an die zweite Senderwicklung **704** anlegt, empfängt der Empfänger-Signal-Prozessor ein von der Position abhängiges Ausgangssignal von der ersten Empfängerwicklungs-Gruppe **714**, das unter einer Wellenlänge  $\lambda_1$  variiert, und ein von der Position abhängiges Ausgangssignal von der zweiten Empfängerwicklungs-Gruppe **716**, das auch bei einer Wellenlänge  $\lambda_1$  variiert.

**[0147]** Der fünfte und der sechste Absolut-Positionswandler **600** und **700** mit verringertem Offset dieser Erfindung besitzen einen Vorteil gegenüber der ersten vier Absolut-Positionswandler **200–500** mit verringertem Offset. Die Kopplungsschleifen in den fünften und sechsten Absolut-Positionswandler **600** und **700** mit verringertem Offset befinden sich alle auf derselben Schicht einer gedruckten Schaltungs-Leiterplatte. Demzufolge sind Durchführungs-Öffnungen nicht notwendig und die Kosten einer Herstellung des Skalenelements werden wesentlich verringert. Der sechste Positionswandler **700** mit verringertem Offset besitzt einen Vorteil gegenüber dem fünften Positionswandler **600** mit verringertem Offset dahingehend, dass die sekundären, magnetischen Felder, erzeugt durch die ersten Kopplungsschleifenabschnitte **726** und **732**, beide nominal reine, alternierende Felder ohne irgendein DC-Offset sind. Eine Einschränkung des Absolut-Positionswandlers **700** ist diejenige, dass das relativ komplizierte Zwischenverbin-

dungs-Muster auf der Skala deren Benutzung auf relativ lange Wellenlängen beschränkt.

**[0148]** Es sollte ersichtlich werden, dass, obwohl die vorstehenden, beispielhaften Ausführungsformen des Absolut-Positionswandlers mit verringertem Offset dieser Erfindung als lineare Wandler dargestellt sind, die Design-Gestaltungen leicht zu Dreh-Anwendungen umgewandelt werden können, wie dies in der US-Patentanmeldung 08/441,769 beschrieben ist. Weiterhin wird, obwohl die vorstehenden Ausführungsformen mit räumlich gleichförmigen Wicklungen, ausgelegt als die Senderwicklungen, dargestellt sind, und räumlich modulierte Wicklungen als die Empfängerwicklungen ausgelegt sind, für einen Fachmann auf dem betreffenden Fachgebiet ersichtlich werden, dass die offenbarten Konfigurationen der Wandlerwicklung alle deren erfindungsgemäßen Vorteile beibehalten werden, falls die Rollen der Sender- und Empfängerwicklungen in Verbindung mit einer geeigneten Signalverarbeitung „umgekehrt werden“. Eine solche geeignete Signalverarbeitungs-Technik ist unter Bezugnahme auf **Fig. 21** der 769 Anmeldung dargestellt und diskutiert. Andere, anwendbare Signalverarbeitungs-Techniken werden für Fachleute auf dem betreffenden Fachgebiet ersichtlich werden.

### Patentansprüche

1. Induktiver Absolut-Positionssensor, der umfasst:  
ein erstes Element (**214**);  
ein zweites Element (**202**) mit einer Messachse (**212**), wobei das erste Element (**214**) und das zweite Element (**202**) relativ zueinander entlang der Messachse (**212**, **320**, **416**, **620**, **720**) und wenigstens einer Vielzahl von Flusskopplungsschleifen (**204**, **304**, **408**, **418**, **518**, **520**, **622**, **624**, **626**, **722**, **724**) an dem zweiten Element (**202**) bewegt werden können, und jede Flusskopplungsschleife wenigstens einen ersten Kopplungsschleifenabschnitt (**206**, **310**, **410**, **420**, **522**, **528**, **628**, **634**, **640**, **726**, **732**) und einen zweiten Kopplungsschleifenabschnitt (**208**, **312**, **414**, **424**, **524**, **530**, **632**, **638**, **644**, **730**, **736**) hat; und wenigstens eine Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (**302**) an dem ersten Element (**214**), wobei jede der wenigstens einen Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (**302**) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein aktivierendes Ansteuersignal anspricht und einen ersten veränderlichen Magnetfluss in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens zwei Gruppen von Magnetfluss-Sensoren (**306**, **308**) umfasst, die außerhalb des wenigstens einen entsprechenden primären Flussbereiches an dem ersten Element (**214**) angeordnet sind; oder wenigstens zwei Magnetfeld-Erzeugungseinrichtungen (**402**, **404**) an dem ersten Element (**214**), wobei jede Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (**402**, **404**) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein

aktivierendes Ansteuersignal anspricht und einen ersten veränderlichen Magnetfluss in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (406) umfasst, die außerhalb der entsprechenden primären Flussbereiche an dem ersten Element (214) angeordnet sind; oder wenigstens zwei Magnetfeld-Erzeugungseinrichtungen (216, 218, 502, 504, 602, 604, 606, 702, 704) an dem ersten Element (214), wobei jede Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (216, 218, 502, 504, 602, 604, 606, 702, 704) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein aktivierendes Ansteuersignal anspricht und einen ersten veränderlichen Magnetfluss in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens zwei Gruppen von Magnetfluss-Sensoren (224, 226, 510, 512, 514, 612, 614, 616, 618, 714, 716, 718) umfasst, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (224, 226, 510, 512, 514, 612, 614, 616, 618, 714, 716, 718) außerhalb wenigstens eines der entsprechenden primären Flussbereiche an dem ersten Element (214) angeordnet ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass:

wenn das erste Element und das zweite Element betriebsfähig angeordnet sind:

eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse auf eine Weise beabstandet sind, die mit einer ersten Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) entlang der Messachse (212, 320, 416, 516, 620, 720) zusammenhängt; und

eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse auf eine Weise beabstandet sind, die mit einer zweiten Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) entlang der Messachse (212, 320, 416, 516, 620, 720) zusammenhängt, wobei sich die erste Wellenlänge von der zweiten Wellenlänge unterscheidet; und

jeder Kopplungsschleifenabschnitt der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten elektrisch mit einem entsprechenden Kopplungsschleifenabschnitt verbunden ist, der quer über die Messachse von der ersten Vielzahl von Kopplungsabschnitten angeordnet ist, die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachsenrichtung auf eine angrenzende Flusserzeuger-Wicklung ausgerichtet sind, die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf einen ersten veränderlichen Magnetfluss dieser angrenzenden Flusserzeuger-Wicklung ansprechen und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss in der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten außerhalb eines Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung erzeugen, wobei die Gruppe von Mag-

netfluss-Sensoren, die auf die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind, auf den zweiten veränderlichen Magnetfluss in der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ansprechen und ein erstes Ausgangssignal erzeugen, eine Änderung des ersten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position der ersten und der zweiten Elemente entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der ersten Wellenlänge entspricht; und jeder Kopplungsschleifenabschnitt der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten elektrisch mit einem entsprechenden Kopplungsschleifenabschnitt verbunden ist, der quer über die Messachse von der zweiten Vielzahl von Kopplungsabschnitten angeordnet ist, die entsprechend verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachsenrichtung auf eine angrenzende Flusserzeuger-Wicklung ausgerichtet sind, die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf den ersten veränderlichen Magnetfluss dieser angrenzenden Flusserzeuger-Wicklung ansprechen und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss in der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten außerhalb eines Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung erzeugen, wobei die Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind, auf den zweiten veränderlichen Magnetfluss in der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ansprechen und ein zweites Ausgangssignal erzeugen, eine Änderung des zweiten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position der ersten und der zweiten Elemente entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der zweiten Wellenlänge entspricht; und das erste Ausgangssignal sowie das zweite Ausgangssignal verwendet werden können, um eine Absolutposition des ersten Elementes relativ zu dem zweiten Element über einen Bereich zu bestimmen, der länger ist als die erste oder die zweite Wellenlänge.

2. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 1, wobei:

eine erste Gruppe von Magnetfluss-Sensoren entlang der Messachse auf die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist;

eine zweite Gruppe von Magnetfluss-Sensoren entlang der Messachse auf die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist;

jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (224, 226, 306, 308, 510, 512, 514, 612, 614, 616, 618, 714, 716, 718) wenigstens ein Ausgangssignal auf Basis ihres erfassten Magnetflusses erzeugt, jedes Ausgangssignal eine Funktion wenigstens der relativen Position entlang der Messachse zwischen dem ersten Element und dem zweiten Element oder eines

räumlich modulierten Flussmusters des zweiten veränderlichen Magnetflusses ist, der mit dieser Gruppe von Magnetfluss-Sensoren verknüpft ist; und wobei: an jeder beliebigen relativen Position zwischen dem ersten und dem zweiten Element (214, 202) der induktive Absolut-Positionssensor wenigstens das erste Ausgangssignal, das eine Änderung einschließt, die der ersten Wellenlänge entspricht, von wenigstens der ersten Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (224) erzeugen kann, indem eine Flusserzeuger-Wicklung aktiviert wird, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten (204) ist, und der induktive Absolut-Positionssensor wenigstens das zweite Ausgangssignal, das eine Änderung einschließt, die der zweiten Wellenlänge entspricht, von wenigstens der zweiten Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgeben kann, indem eine Flusserzeuger-Wicklung aktiviert wird, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ist; und eine Beziehung zwischen dem wenigstens ersten und zweiten Ausgangssignal für jede relative Position zwischen den ersten und den zweiten Elementen entlang der Messachse über den Bereich einzigartig ist, der länger ist als die erste oder die zweite Wellenlänge.

3. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 1, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren wenigstens zwei Magnetfluss-Sensoren umfasst und jeder Magnetfluss-Sensor eine Empfängerwicklung umfasst und jede Empfängerwicklung abwechselnde Schleifen positiver Polarität und Schleifen negativer Polarität umfasst.

4. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 2, wobei die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten umfassen und die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten umfassen.

5. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 4, wobei: die Flusserzeuger-Wicklung, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ist, eine erste Flusserzeuger-Wicklung umfasst und die Flusserzeuger-Wicklung, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ist, eine zweite Flusserzeuger-Wicklung umfasst; und

eine erste von der ersten und der zweiten Flusserzeugerwicklung während eines ersten Zeitraums aktiviert wird und eine zweite von der ersten und der zweiten Flusserzeugerwicklung während eines zweiten Zeitraums aktiviert wird, der nach dem ersten Zeitraum auftritt.

6. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 5, wobei:

die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten und die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten die ersten und die zweiten Kopplungsschleifenabschnitte einer ersten Vielzahl von Flusskopplungsschleifen umfassen; und

der induktive Absolut-Positionssensor des Weiteren umfasst:

eine dritte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten und eine vierte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten, die die ersten und die zweiten Kopplungsschleifenabschnitte einer zweiten Vielzahl von Flusskopplungsschleifen umfassen; und

eine dritte Gruppe von Magnetfluss-Sensoren und eine dritte Flusserzeuger-Wicklung, wobei:

die dritte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf die dritte Gruppe von Magnetfluss-Sensoren und die dritte Flusserzeuger-Wicklung ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse (212) auf eine Weise beabstandet sind, die mit einer entsprechenden vorgegebenen Wellenlänge entlang der Messachse (212) zusammenhängt; und

jeder der dritten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten elektrisch mit einem der vierten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten verbunden ist, der davon quer über die Messachse angeordnet ist, und die vierte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachsenrichtung mit der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten verschachtelt und entlang der Messachsenrichtung auf die erste Flusserzeuger-Wicklung und die erste Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse (212) auf eine Weise beabstandet sind, die mit der ersten Wellenlänge zusammenhängt; und

jeder der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten sich von der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten in einer ersten Richtung quer zu der Messachse erstreckt;

jeder der dritten Vielzahl von Flusskopplungs-Schleifenabschnitten sich von der vierten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten in einer zweiten Richtung quer zu der Messachse erstreckt, wobei die zweite Richtung entgegengesetzt zu der ersten Richtung ist; und

die dritte Vielzahl von Flusskopplungs-Schleifenabschnitten auf einen ersten veränderlichen Magnetfluss der dritten Flusserzeuger-Wicklung anspricht und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss in der vierten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten außerhalb des Bereiches dieser Flusserzeugerwicklung

ger-Wicklung erzeugt, wobei die erste Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten und die vierte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist, auf diesen damit verknüpften zweiten veränderlichen Magnetfluss ansprechen und das erste Ausgangssignal erzeugen und die Änderung des ersten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position der ersten und der zweiten Elemente entlang der Messachsenrichtung die Änderung einschließt, die der ersten Wellenlänge entspricht; und

die vierte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf den ersten veränderlichen Magnetfluss in der dritten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten der ersten Flusserzeuger-Wicklung anspricht und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss außerhalb des Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung erzeugt, wobei die dritte Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die dritte Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist, auf diesen damit verbundenen zweiten veränderlichen Magnetfluss anspricht und ein drittes Ausgangssignal erzeugt und eine Änderung des dritten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position des ersten und des zweiten Elementes entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der jeweiligen vorgegebenen Wellenlänge entspricht; und das erste Ausgangssignal, das zweite Ausgangssignal sowie das dritte Ausgangssignal verwendet werden können, um eine Absolutposition des ersten Elementes relativ zu dem zweiten Element über einen Bereich zu bestimmen, der länger ist als die erste Wellenlänge, die zweite Wellenlänge oder eine jeweilige vorgegebene Wellenlänge.

7. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 6, der des Weiteren eine Signalverarbeitungsschaltung (242) umfasst, wobei:

die jeweilige vorgegebene Wellenlänge die gleiche ist wie die zweite Wellenlänge und die entsprechenden Signale der zweiten Gruppe von Magnetflusssensoren und der dritten Gruppe von Magnetfluss-Sensoren durch elektrische Verbindung oder durch Signalverarbeitung kombiniert werden; oder

die jeweilige vorgegebene Wellenlänge eine dritte Wellenlänge umfasst und das erste Ausgangssignal, das zweite Ausgangssignal sowie das dritte Ausgangssignal in der Signalverarbeitungsschaltung verwendet werden können, um eine Absolutposition des ersten Elementes relativ zu dem zweiten Element über einen Bereich zu bestimmen, der länger ist als der Absolutpositions-Bereich, der bei Verwendung des ersten und des zweiten Ausgangssignals allein erreicht werden kann.

8. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 5, wobei:

der zweite Zeitraum innerhalb eines dritten Zeitraums des ersten Zeitraums auftritt; und

der erste Zeitraum, der zweite Zeitraum und der dritte Zeitraum jeweils eine entsprechende Dauer haben, die so kurz ist, dass relative Bewegung zwischen dem ersten und dem zweiten Element eine zu vernachlässigende Auswirkung auf die Beziehung zwischen dem wenigstens ersten und zweiten Ausgangssignal hat.

9. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 6, wobei:

die jeweilige vorgegebene Wellenlänge die gleiche ist wie die zweite Wellenlänge, und die zweite Flusserzeuger-Wicklung sowie die dritte Flusserzeuger-Wicklung elektrisch verbundene Abschnitte einer einzelnen Flusserzeuger-Wicklung so umfassen, dass sie gleichzeitig aktiviert werden, wenn die Flusserzeuger-Wicklung aktiviert wird.

10. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 3, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren eine erste Empfängerwicklung und eine zweite Empfängerwicklung umfasst, die phasenverschoben angeordnet sind.

11. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 3, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren eine erste Empfängerwicklung, eine zweite Empfängerwicklung sowie eine dritte Empfängerwicklung umfasst und jede Wicklung in einer Gruppe entlang der Messachse entsprechend einer räumlichen Phasentrennung von 60° oder 120° in Bezug auf eine Raumwellenlänge eines räumlich modulierten Flusses positioniert ist, der von dieser Gruppe von Empfängerwicklungen erfasst wird.

12. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 3, wobei jede der Empfängerwicklungen in einer Gruppe von Magnetfluss-Sensoren bei der gleichen Wellenlänge wie ein Muster eines räumlich modulierten Flusses räumlich moduliert ist, der von dieser Gruppe von Wicklungen erfasst wird.

13. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 3, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (224, 226) N Empfängerwicklungen umfasst und N größer oder gleich 4 ist und jede Wicklung in einer Gruppe entlang der Messachse entsprechend einer räumlichen Phasentrennung von 360°/N in Bezug auf die Raumwellenlänge des räumlich modulierten Flusses positioniert ist, der von dieser Gruppe von Wicklungen empfangen wird.

14. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 1, wobei:

für wenigstens eine Teil-Vielzahl der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten, die entlang der Messachse voneinander auf eine Weise beabstandet sind, die mit der ersten Wellenlänge zusammenhängt, und für wenigstens eine Teil-Vielzahl der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten der

Gruppe von Kopplungsschleifenabschnitten, die voneinander entlang der Messachse auf eine Weise beabstandet sind, die mit der zweiten Wellenlänge zusammenhängt, die erste und die zweite Teil-Vielzahl einen übereinstimmenden Bereich entlang der Messachse haben, die räumliche Phasenbeziehung zwischen der ersten und der zweiten Wellenlänge für jede Position entlang der Messachse innerhalb einer Spanne einzigartig ist, die in dem übereinstimmenden Bereich eingeschlossen ist.

15. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 1, wobei das erste Element ein Lesekopfelement ist und das zweite Element ein Skalenelement ist.

16. Verfahren zum Betreiben eines induktiven Absolut-Positionssensors zum Bestimmen einer Absolutposition eines ersten Elementes relativ zu einem zweiten Element entlang einer Messachse, wobei der induktive Absolut-Positionssensor umfasst: ein erstes Element (214); ein zweites Element (202) mit einer Messachse (212), wobei das erste Element (214) und das zweite Element (202) relativ zueinander entlang der Messachse (212, 320, 416, 620, 720) und wenigstens einer Vielzahl von Flusskopplungsschleifen (204, 304, 408, 418, 518, 520, 622, 624, 626, 722, 724) an dem zweiten Element (202) bewegt werden können, und jede Flusskopplungsschleife wenigstens einen ersten Kopplungsschleifenabschnitt (206, 310, 410, 420, 522, 528, 628, 634, 640, 726, 732) und einen zweiten Kopplungsschleifenabschnitt (208, 312, 414, 424, 524, 530, 632, 638, 644, 730, 736) hat; und wenigstens eine Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (302) an dem ersten Element (214), wobei jede der wenigstens einen Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (302) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein aktivierendes Ansteuersignal anspricht und einen ersten veränderlichen Magnetfluss in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens zwei Gruppen von Magnetfluss-Sensoren (306, 308) umfasst, die außerhalb des wenigstens einen entsprechenden primären Flussbereiches an dem ersten Element (214) angeordnet sind; oder wenigstens zwei Magnetfeld-Erzeugungseinrichtungen (402, 404) an dem ersten Element (214), wobei jede Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (402, 404) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein aktivierendes Ansteuersignal anspricht und einen ersten veränderlichen Magnetfluss in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (406) umfasst, die außerhalb der entsprechenden primären Flussbereiche an dem ersten Element (214) angeordnet sind; oder wenigstens zwei Magnetfeld-Erzeugungseinrichtungen (216, 218, 502, 504, 602, 604, 606, 702, 704) an

dem ersten Element (214), wobei jede Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (216, 218, 502, 504, 602, 604, 606, 702, 704) wenigstens eine Flusserzeuger-Wicklung, die auf ein aktivierendes Ansteuersignal anspricht und ein erstes veränderliches Magnetfeld in einem entsprechenden aktivierten primären Flussbereich erzeugt, und wenigstens zwei Gruppen von Magnetfluss-Sensoren (224, 226, 510, 512, 514, 612, 614, 616, 618, 714, 716, 718) umfasst, wobei jede Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (224, 226, 510, 512, 514, 612, 614, 616, 618, 714, 716, 718) außerhalb wenigstens eines der entsprechenden primären Flussbereiche an dem ersten Element (214) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass: wenn das erste Element und das zweite Element betriebsfähig angeordnet sind: eine erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse auf eine Weise beabstandet sind, die mit einer ersten Wellenlänge ( $\lambda_1$ ) entlang der Messachse (212, 320, 416, 516, 620, 720) zusammenhängt; und eine zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren ausgerichtet und voneinander entlang der Messachse auf eine Weise beabstandet sind, die mit einer zweiten Wellenlänge ( $\lambda_2$ ) entlang der Messachse (212, 320, 416, 516, 620, 720) zusammenhängt, wobei sich die erste Wellenlänge von der zweiten Wellenlänge unterscheidet; und jeder Kopplungsschleifenabschnitt der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten elektrisch mit einem entsprechenden Kopplungsschleifenabschnitt verbunden ist, der quer über die Messachse von der ersten Vielzahl von Kopplungsabschnitten angeordnet ist, wobei die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachsenrichtung auf eine angrenzende Flusserzeuger-Wicklung ausgerichtet sind, die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf einen ersten veränderlichen Magnetfluss dieser angrenzenden Flusserzeuger-Wicklung ansprechen und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss in der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten außerhalb eines Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung erzeugen, wobei die Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind, auf den zweiten veränderlichen Magnetfluss in der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ansprechen und ein erstes Ausgangssignal erzeugen, eine Änderung des ersten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position der ersten und der zweiten Elemente entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der

ersten Wellenlänge entspricht; und jeder Kopplungsschleifenabschnitt der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten elektrisch mit einem entsprechenden Kopplungsschleifenabschnitt verbunden ist, der quer über die Messachse von der zweiten Vielzahl von Kopplungsabschnitten angeordnet ist, die entsprechend verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachsenrichtung auf eine angrenzende Flusserzeuger-Wicklung ausgerichtet sind, die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf den ersten veränderlichen Magnetfluss dieser angrenzenden Flusserzeuger-Wicklung ansprechen und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss in der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten außerhalb eines Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung erzeugen, wobei die Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind, auf den zweiten veränderlichen Magnetfluss in der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ansprechen und ein zweites Ausgangssignal erzeugen, eine Änderung des zweiten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position der ersten und der zweiten Elemente entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der zweiten Wellenlänge entspricht; und das erste Ausgangssignal sowie das zweite Ausgangssignal verwendet werden können, um eine Absolutposition des ersten Elementes relativ zu dem zweiten Element über einen Bereich zu bestimmen, der länger ist als die erste oder die zweite Wellenlänge, wobei das Verfahren umfasst:

Ansteuern der Flusserzeuger-Wicklung, die entlang der Messachse auf die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist, um den ersten veränderlichen Magnetfluss dieser Flusserzeuger-Wicklung zu erzeugen und einen Strom in den entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitten der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten zu induzieren und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss außerhalb des Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung in der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf Basis des induzierten Stroms zu erzeugen;

Erfassen des zweiten veränderlichen Magnetflusses der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten mit der Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind;

Erzeugen eines ersten Ausgangssignals auf Basis des erfassten zweiten veränderlichen Magnetflusses der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten, wobei eine Änderung des ersten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position des ersten und des zweiten Elementes entlang

der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der ersten Wellenlänge entspricht;

Ansteuern der Flusserzeuger-Wicklung, die entlang der Messachse auf die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet ist, um den ersten veränderlichen Magnetfluss dieser Flusserzeuger-Wicklung zu erzeugen und einen Strom in den entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitten der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten zu induzieren und einen zweiten veränderlichen Magnetfluss außerhalb des Bereiches dieser Flusserzeuger-Wicklung in der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf Basis des induzierten Stroms zu erzeugen;

Erfassen des zweiten veränderlichen Magnetflusses der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten mit der Gruppe von Magnetfluss-Sensoren, die auf die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ausgerichtet sind;

Erzeugen eines zweiten Ausgangssignals auf Basis des erfassten zweiten veränderlichen Magnetflusses der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten, wobei eine Änderung des zweiten Ausgangssignals in Bezug auf eine Änderung der relativen Position des ersten und des zweiten Elementes entlang der Messachsenrichtung eine Änderung einschließt, die der zweiten Wellenlänge entspricht; und

Verwenden des ersten Ausgangssignals und des zweiten Ausgangssignals, um eine Absolutposition des ersten Elementes relativ zu dem zweiten Element zu bestimmen.

17. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 2, der eine einzelne Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (302) aufweist, die eine einzelne Flusserzeuger-Wicklung an dem ersten Element umfasst, wobei:

jede Flusskopplungsschleife des Weiteren einen dritten Kopplungsschleifenabschnitt umfasst, der sich zwischen dem ersten Kopplungsschleifenabschnitt und dem zweiten Kopplungsschleifenabschnitt befindet und entlang der Messachse auf die einzelne Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung ausgerichtet ist, und die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten und entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten die gleiche Vielzahl dritter Kopplungsschleifenabschnitten umfassen, so dass jeder der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten über einen der dritten Kopplungsschleifenabschnitte elektrisch mit einem der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten verbunden ist; und

die Flusserzeuger-Wicklung, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ist, und die

Flusserzeuger-Wicklung, die nahe an wenigstens einer Teil-Vielzahl der entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten ist, die einzelne Flusserzeuger-Wicklung umfassen.

18. Induktiver Absolut-Positionssensor nach Anspruch 1, der eine erste und eine zweite Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (**402**, **404**) und eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren (**406**) umfasst, wobei jeder Magnetfeldsensor eine Empfängerwicklung umfasst, die entlang der Messachse bei einer Wellenlänge räumlich moduliert ist, die ungefähr die gleiche ist wie die erste und die zweite Wellenlänge, wobei:

die erste Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten und die zweite Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten entlang der Messachse auf die eine Gruppe von Magnetfluss-Sensoren und aufeinander ausgerichtet sind;

die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der ersten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf den ersten veränderlichen Magnetfluss der ersten Flusserzeuger-Wicklung (**402**) ansprechen und ihren jeweiligen zweiten veränderlichen Magnetfluss erzeugen, und die entsprechenden verbundenen Kopplungsschleifenabschnitte der zweiten Vielzahl von Kopplungsschleifenabschnitten auf den ersten veränderlichen Magnetfluss der zweiten Flusserzeuger-Wicklung (**402**) ansprechen und ihren jeweiligen zweiten veränderlichen Magnetfluss erzeugen; und

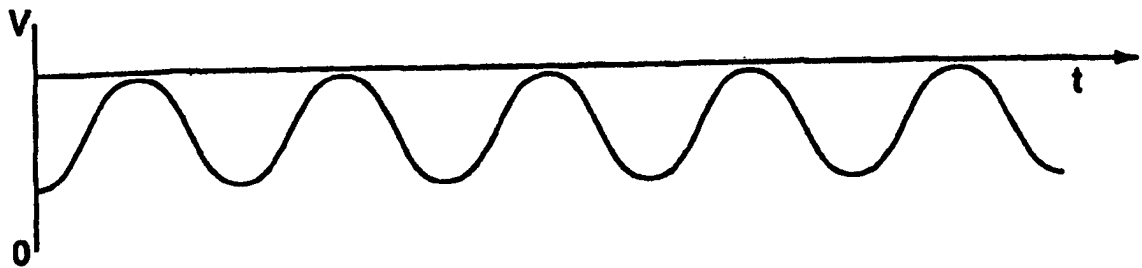
eine erste von der ersten und der zweiten Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung (**402**, **404**) während eines ersten Zeitraums aktiviert wird und eine zweite von der ersten und der zweiten Magnetfeld-Erzeugungseinrichtung während eines zweiten Zeitraum aktiviert wird, der nach dem ersten Zeitraum auftritt.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen



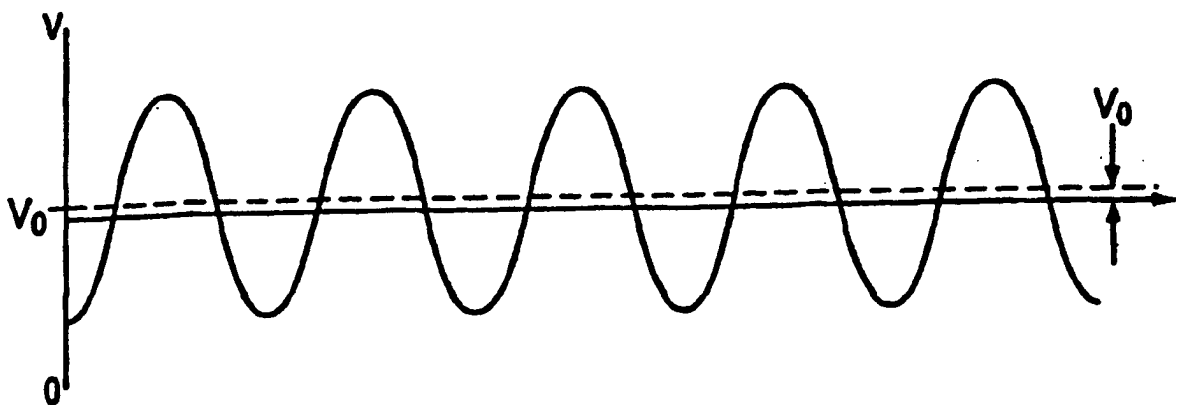
**FIG. 1A**

STAND DER TECHNIK



**FIG. 1B**

STAND DER TECHNIK



**FIG. 1C**

STAND DER TECHNIK

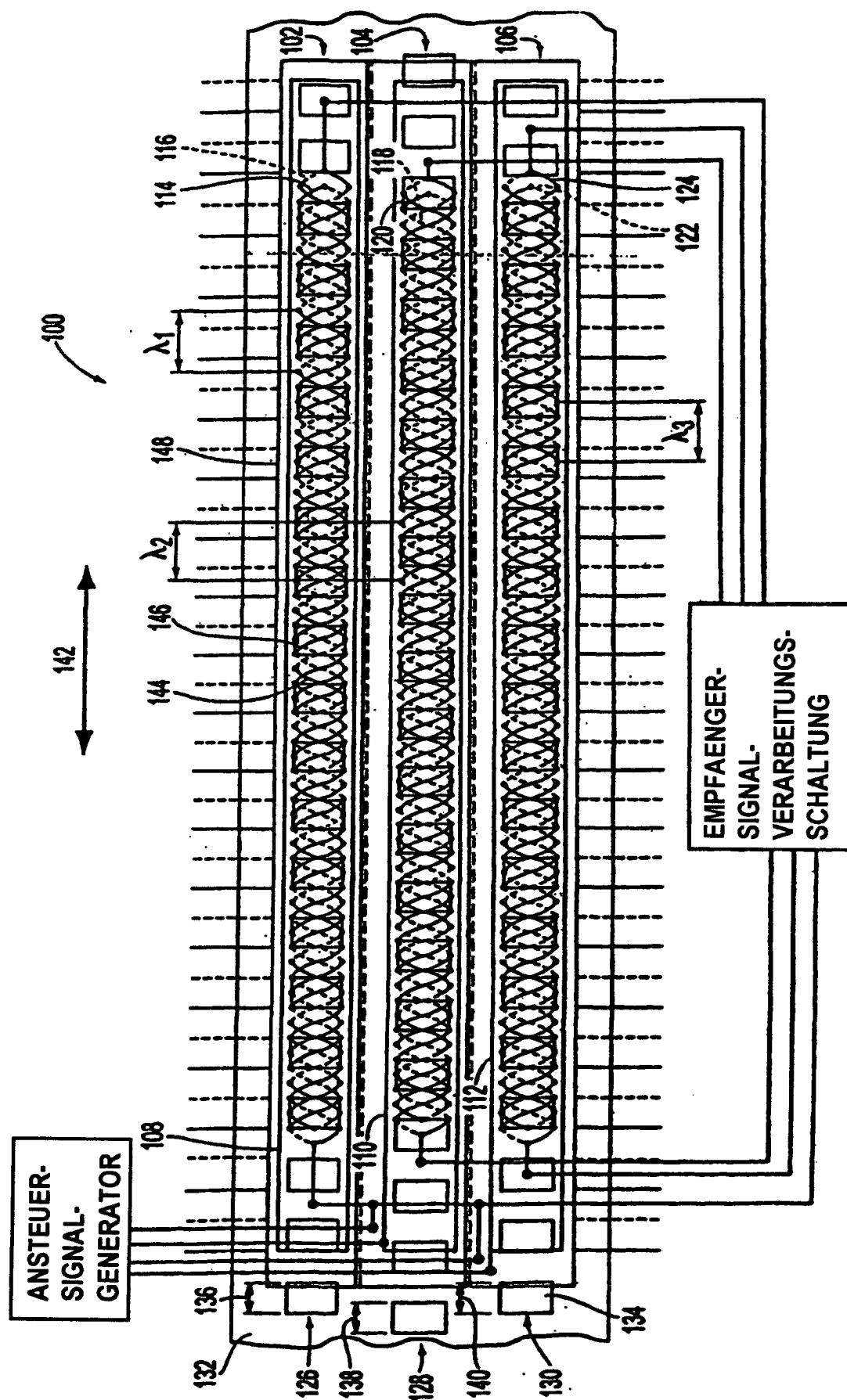


FIG. 2

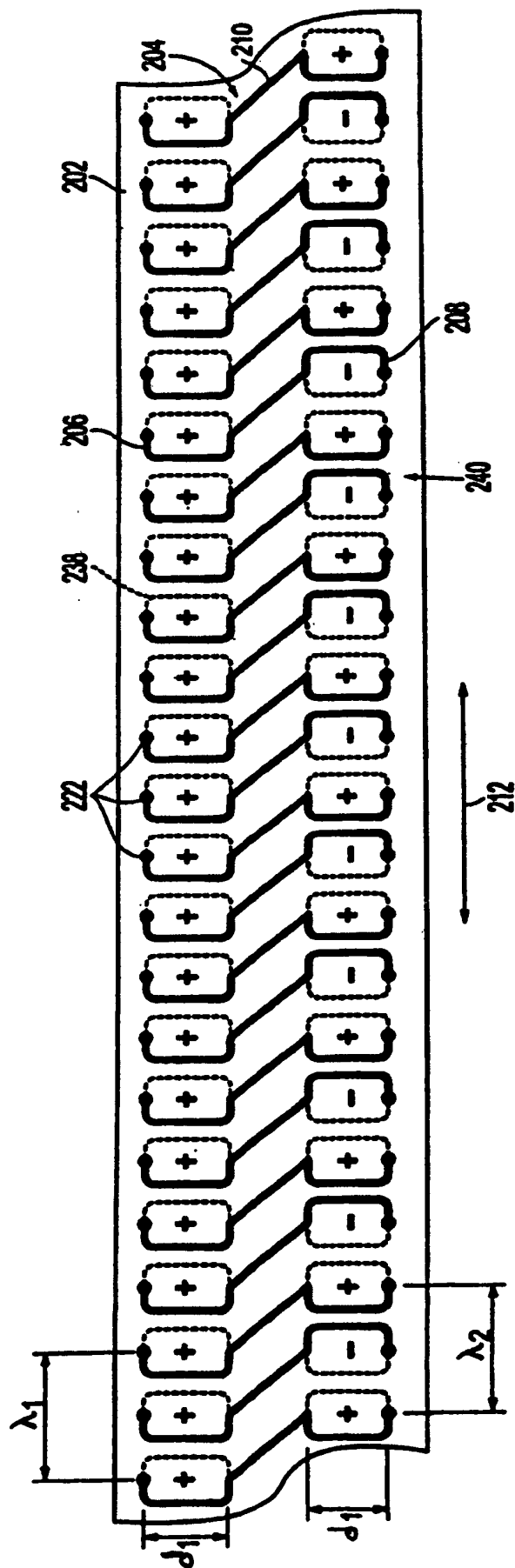


FIG. 3

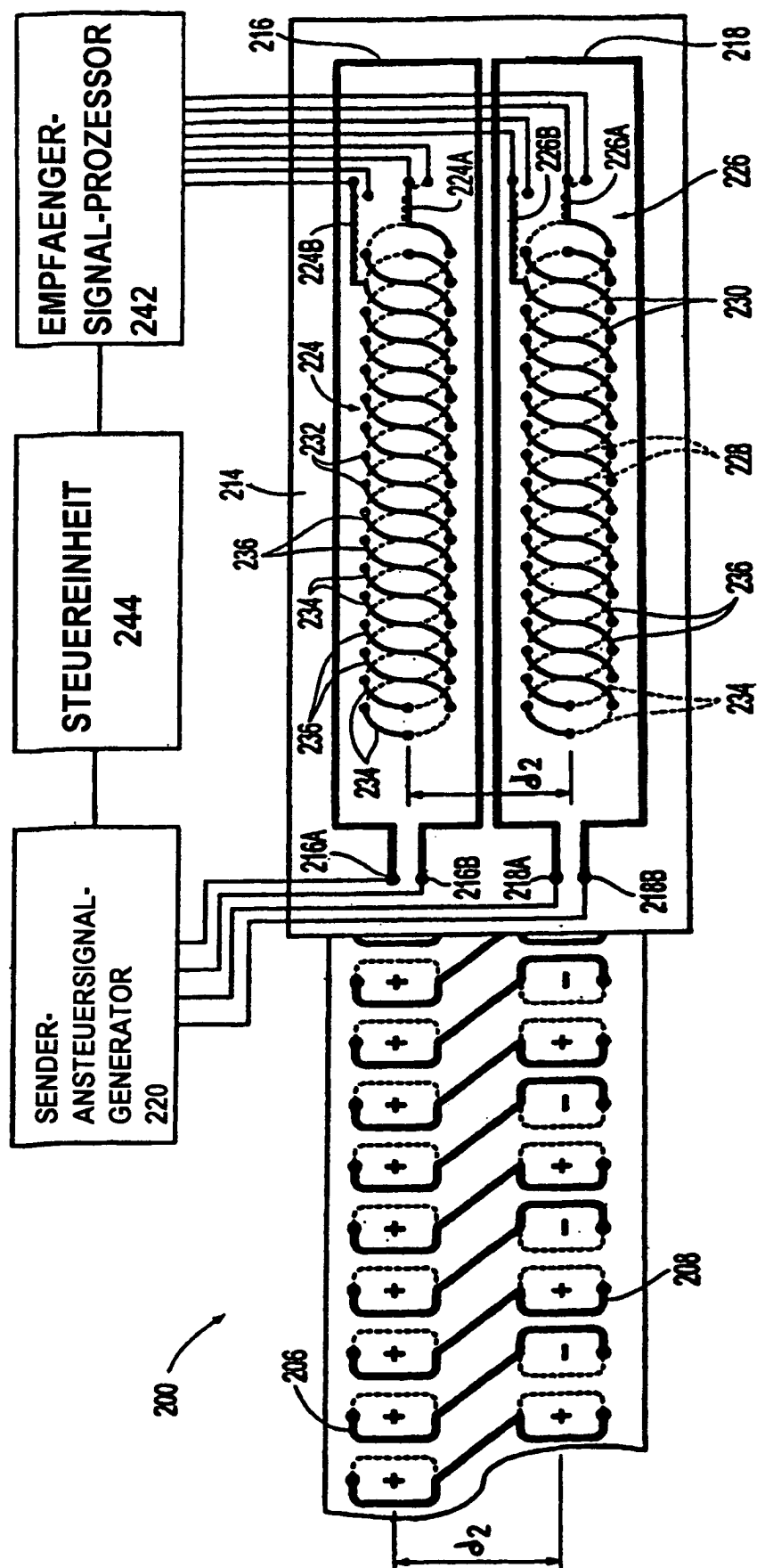


FIG. 4

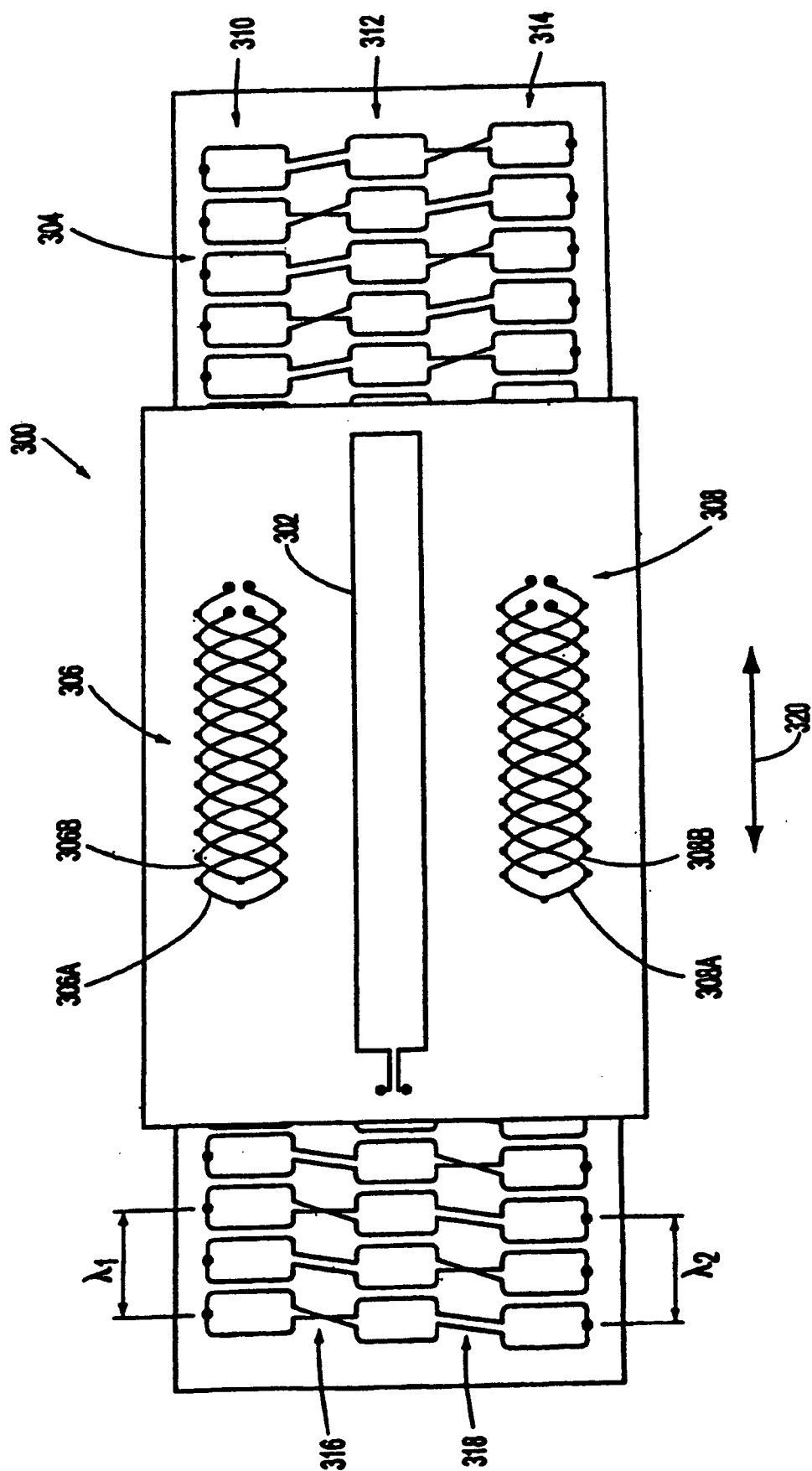


FIG. 5

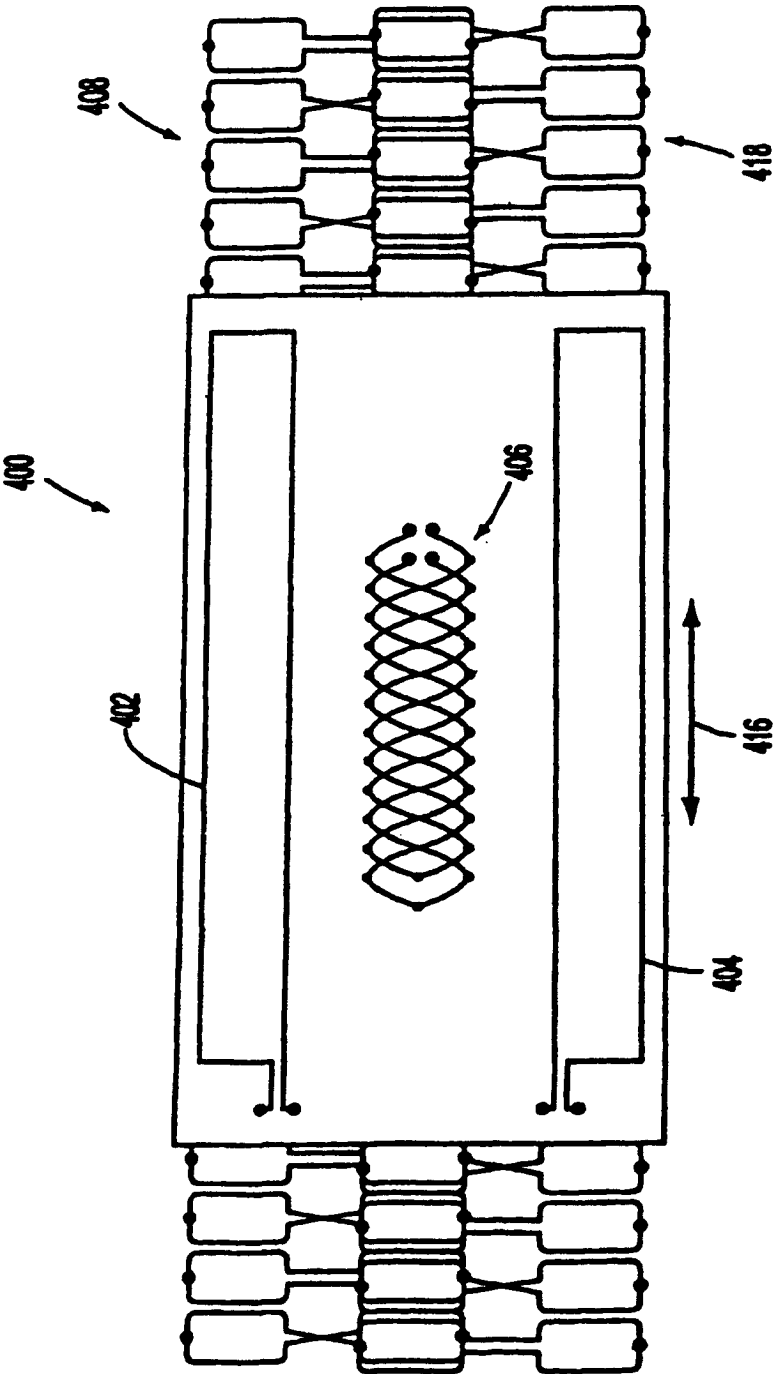


FIG. 6A

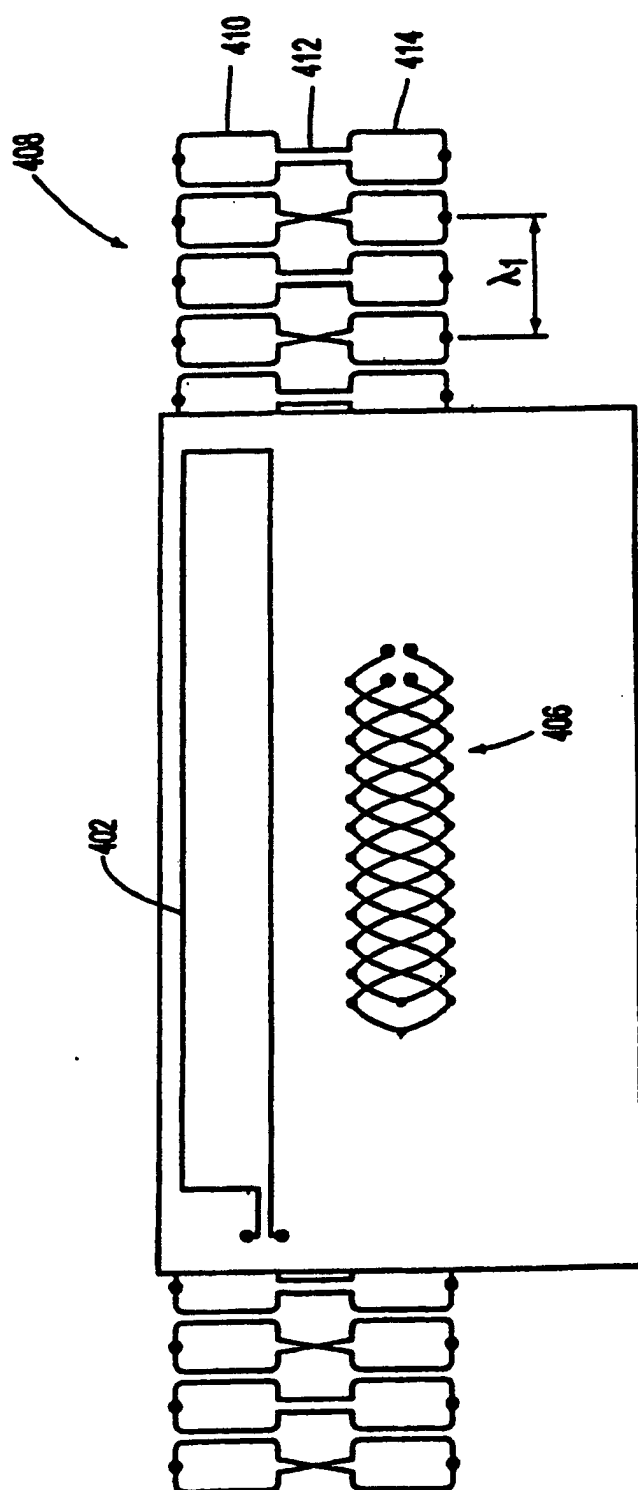


FIG. 6B

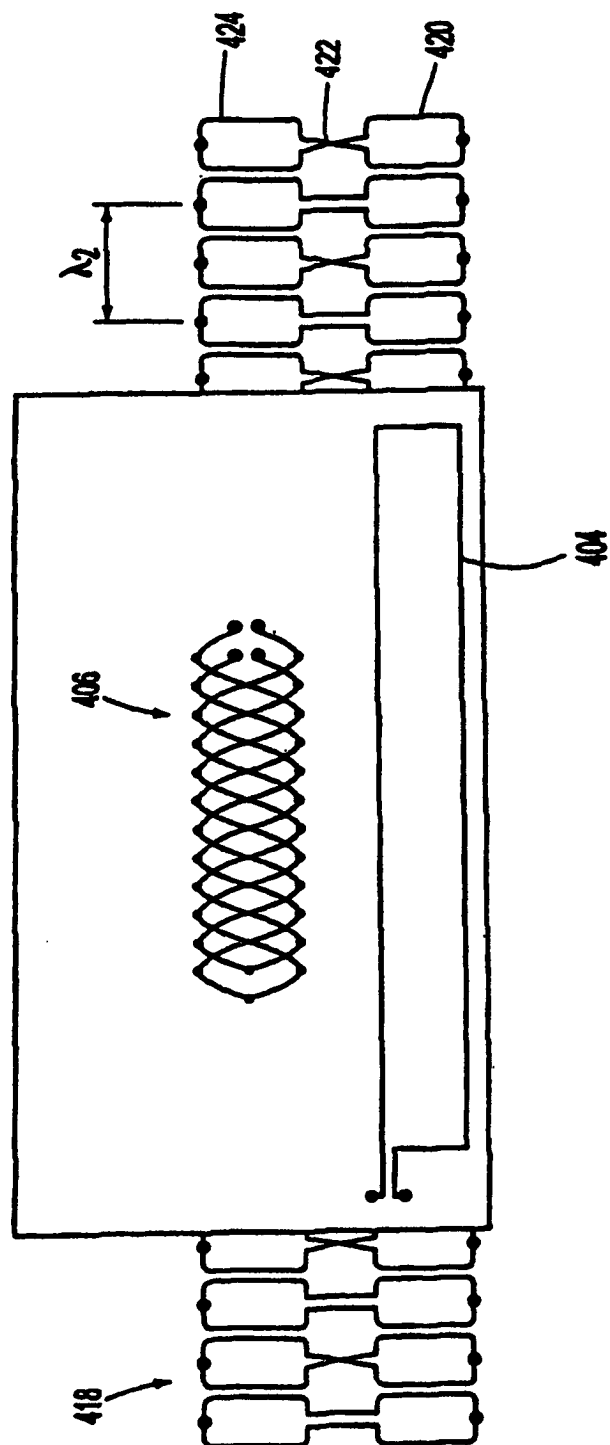


FIG. 6C

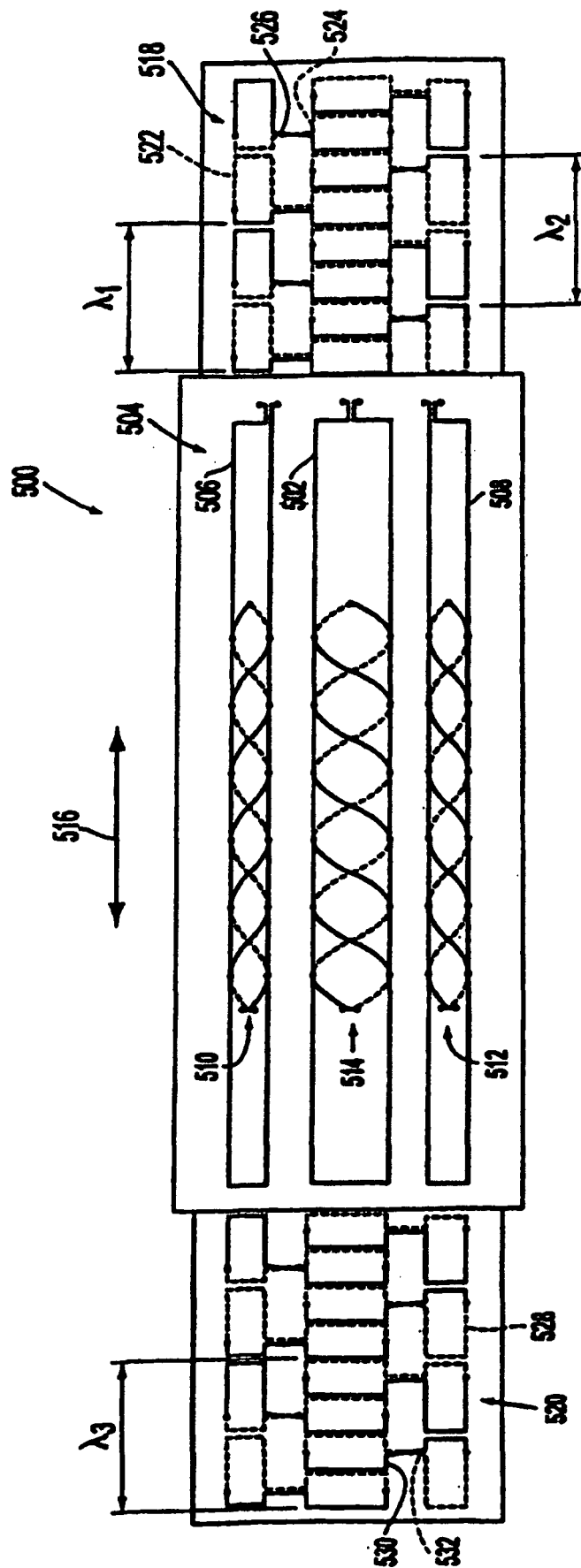


FIG. 7

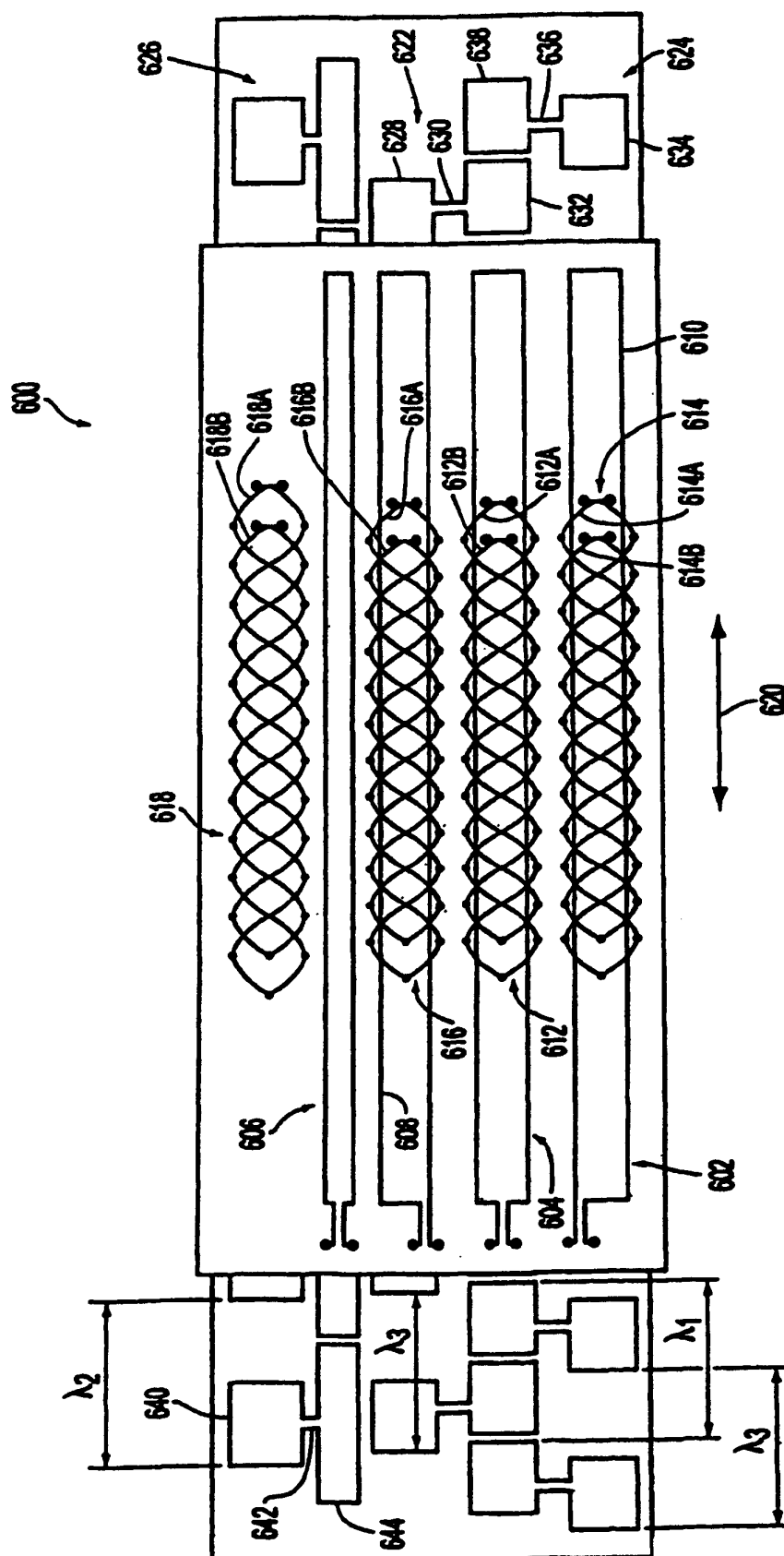


FIG. 8

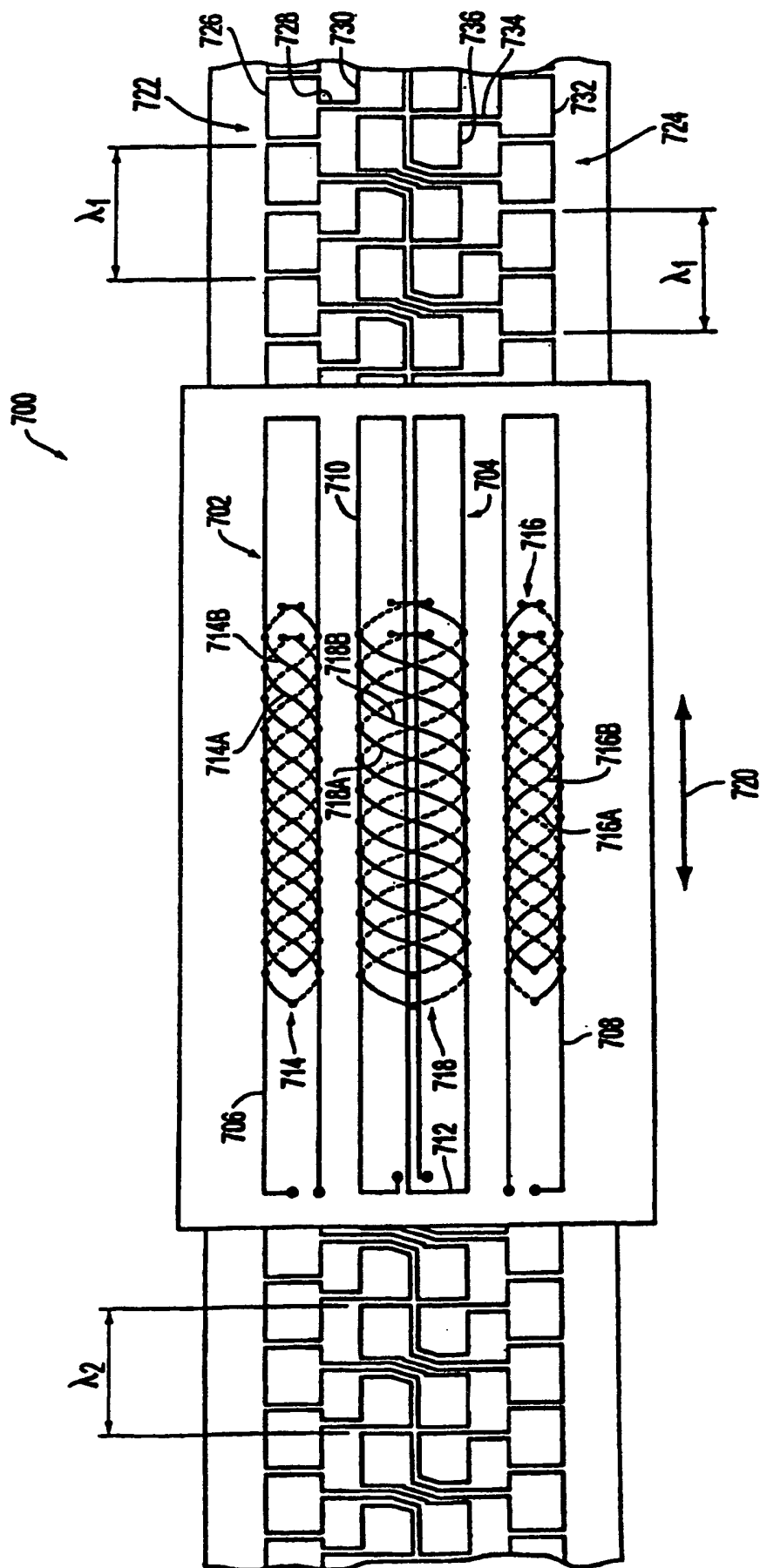


FIG. 9