



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 29 687 A1** 2004.01.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 29 687.1**
(22) Anmeldetag: **27.06.2002**
(43) Offenlegungstag: **22.01.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01B 7/02**
H02K 41/035

(71) Anmelder:
Universität Stuttgart, 70174 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Gundelsweiler, Bernd, Dipl.-Ing., 71116
Gärtringen, DE; Schinköthe, Wolfgang, Prof.
Dr.-Ing., 70437 Stuttgart, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu
ziehende Druckschriften:

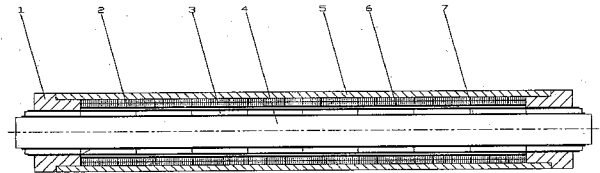
DE 199 06 638 C1
DE 197 48 647 C2
DE 196 05 413 A1
EP 11 50 416 A1
EP 04 57 389 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem**

(57) Zusammenfassung: Aufgabe des erfindungsgemäßen Verfahrens zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren ist es, Flussdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem als interne sensorische Eigenschaft eines Motors zu detektieren und als Wegmesssignal aufzubereiten. Anwendbar ist das Verfahren beispielsweise auf Gleichstromlinearmotoren (Fig 1), bei denen das magnetbehaftete Teilsystem aus einem zentralen Eisenkern zur Flussführung mit radial darauf angeordneten radial magnetisierten ringförmigen Magneten (3) bzw. einer Anzahl von Segmentmagneten, die jeweils Ringe bilden, in axialer Richtung mehrfach hintereinander gereiht, mit wechselnder magnetischer Polarität besteht. Dadurch entstehen im inneren Rückschlusskern (4) von der axialen Position abhängige Flussdichteänderungen, die als Permeabilitätsänderungen über eine Impedanzmessung eines Stranges zur Wegmessung detektiert werden.



Beschreibung

[0001] Die Endung betrifft ein Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren. Derartige Motoren nutzen die Kraftwirkung auf bewegte Ladungen im vorzugsweise permanenterregten Magnetfeld. Dazu wird eine der beiden Hauptkomponenten des Motors, beispielsweise das Teilsystem mit Permanentmagneten, gestellfest angeordnet und das zweite Teilsystem, beispielsweise dann das Spulensystem, beweglich angeordnet, so dass zwischen beiden Teilsystemen eine Relativbewegung initiiert wird. Dabei kann sowohl das Teilsystem mit Permanentmagneten als auch das Teilsystem, das die Spulen enthält, die bewegliche Komponente darstellen.

Stand der Technik

[0002] Motoren dieser Bauform werden im Allgemeinen mit einem zusätzlichen äußeren Messsystem in einem geschlossenen Regelkreis betrieben. Bekannt sind dabei sowohl an den Motor angekoppelte externe Messsysteme oder auch in den Gesamtaufbau mechanisch integrierte Messsysteme, die jedoch im Allgemeinen von der Antriebswicklung unabhängige separate Bauteile, beispielsweise Messspulen nutzen.

[0003] Bekannt sind jedoch auch Verfahren und spezielle dafür ausgelegte Motoren, die vorhandene interne sensorische Eigenschaften von Gleichstromlinearmotoren zur Wegerfassung ausnutzen bzw. gezielt solche internen sensorischen Eigenschaften initiieren. EP 457 389 nutzt beispielsweise Kopplungen von verschiedenen Teilspulen über eine Kurzschlusswicklung, die im passiven Motorteil angeordnet ist. Diese elektromagnetische Verkopplung ist dann abhängig von der Lage des passiven Motorteils im Spulensystem. Nachteilig bei dieser Lösung sind einerseits die Notwendigkeit einer Kurzschlusswicklung und andererseits die Tatsache, dass der aktive Motorteil keine eigenen transformatorischen Kopplungen in Form eines leitfähigen magnetischen Rückchlusses tragen darf. Dies verringert die Schubkräfte des Motors erheblich.

[0004] Eine andere Lösung nach Gebrauchsmuster Nr. 297 05 315.9 detektiert Eisenteile, die sich ähnlich einem Differenzialtransformator-Messsystem bzw. einem Differenzialdrossel-Messsystem aus einer symmetrischen Mittellage innerhalb zweier Teilspulen bzw. einer Spule mit Mittelanzapfung unsymmetrisch herausbewegen und damit über eine Induktivitätsmessung ein Maß für den Hub abzuleiten gestatten. Nachteil derartiger Lösungen ist die Notwendigkeit symmetrischer Teilspulen, in die jeweils in eine Teilspule Eisen hinein bzw. aus der anderer Teilspule Eisen heraus bewegt wird.

[0005] Dies erfordert Stränge mit Mittelanzapfung bzw. Stränge aus zwei Teilspulen mit nach außen geführten Anschlüssen aus der Mitte jedes Stranges. Derartige Mittelanzapfungen sind sehr aufwendig zu realisieren, sie stören das Wickelbild durch zurückgeführte Leitungen (Mittelanzapfungen) und vermindern damit die für die Schubkrafterzeugung angestrebten möglichst vollständige Ausnutzung des Luftspaltes.

[0006] In EP 1150416 wird gleiches Messverfahren basierend auf dem Prinzip des Differenzialdrosselsystems zum Detektieren einer Eisensättigung im Kern eines Motors ausgenutzt, wobei der Stator des Motors sich im Inneren befindet und aus einem Spulensystem auf einem Eisenkern besteht, wohingegen der Läufer einen Außenläufer darstellt, der radial magnetisierte Ringmagnete mit alternierender Polarität enthält, die im Inneren eines äußeren Rückschlussrohres angeordnet sind. Dieser bewegliche Magnetläufer mit alternierender magnetischer Polarität und damit alternierend polarisiertem Luftspaltfeld erzeugt im Kern der feststehenden Wicklung des Spulensystems bei Bewegung eine Änderung der Flussdichte. Diese Änderung der Flussdichte wird durch das oben genannte Differenzialdrosselprinzip detektiert. Nachteilig bei dieser Bauform ist die Tatsache, dass einerseits die Nachteile der Mittelanzapfung eines Differenzialdrosselsystems verbleiben und andererseits die Genauigkeit der Positionsmessung durch die Einflüsse der Spulentrückwirkungen sehr stark vermindert wird. Die verschiedenen hohen Flusskonzentrationen im inneren Kern des Spulensystems werden durch das äußere Magnetsystem bewirkt, auf den gleichen Kern wirken jedoch auch die unmittelbar auf diesen Kern gewickelten Antriebsspulen. Es kommt somit bei einem Stromfluss zu einer erheblichen Feldverdrängung und damit zu einem der Höhe des Stromes direkt proportionalen Messfehler.

Aufgabenstellung

[0007] Aufgabe des erfindungsgemäßen Verfahrens zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem ist es, diese Nachteile zu beseitigen. Dazu werden die Flussdichteänderungen im magnetbehafteten Teilsystem detektiert und nicht diejenigen, die im zweiten Teilsystem, dem Spulensystem, vom magnetbehafteten Teilsystem erst erzeugt werden.

[0008] Eine erste erfindungsgemäße Anwendung des Messverfahrens nach Patentanspruch 1 bezieht sich dabei beispielsweise auf einen Gleichstromlinearmotor, bei dem das magnetbehaftete Teilsystem innen und das spulenbehaftete außen angeordnet ist. Dabei besteht das magnetbehaftete Teilsystem aus einem zentralen Eisenkern zur Flussführung mit radial darauf angeordneten radial magnetisierten ringförmigen Magneten

bzw. einer Anzahl von Segmentmagneten, die jeweils Ringe bilden, in axialer Richtung mehrfach hintereinander gereiht mit wechselnder magnetischer Polarität. Dadurch entsteht im inneren Rückschlusskern eine von der axialen Position abhängige Flussdichteänderung, die als interne sensorische Eigenschaft des Antriebes über eine Impedanzmessung eines Stranges zur Wegmessung ausgenutzt wird.

[0009] In den in radialer Richtung außen angeordneten Spulen bzw. Spulensystemen in ein- oder mehrsträngiger Ausführung können nun über eine hinlänglich bekannte Impedanzmessung positionsabhängig unterschiedliche Impedanzen detektiert werden, die ein Maß für die Istposition bzw. für die Relativposition zwischen Spulensystem und Magnetsystem darstellen. Die nicht unmittelbar sondern nur über einen Luftspalt und zusätzlich über die Dauermagnete hinweg auf das Eisen einwirkenden Spulen können mit ihrer Spulentrückwirkung (entspricht der Ankerückwirkung bei rotatorischen Motoren) diese sensorischen Eigenschaften nur unwesentlich beeinflussen.

[0010] Die Impedanzmessung kann dabei über den gesamten Strang vorgenommen werden, es ist keine spezielle Anpassung der Konstruktion hinsichtlich der Abstände zwischen den Teilspulensystemen und den Magnetabschnitten aus Sicht des integrierten Wegmessverfahrens mehr erforderlich. Außerdem entfällt die Notwendigkeit einer Mittelanzapfung und damit wird der Aufbau wesentlich vereinfacht.

[0011] Nach Patentanspruch 2 schwankt die entstehende und detektierte Flussdichte im Eisenkern dabei von einem Maximalwert an der Position der Trennfugen der Magnete bis zu einem Minimalwert im Eisenkern an der Position der Mitte der Magnete. Bei einer Sättigung vermeidenden Dimensionierung des Eisenkernes führt diese Flussdichteänderung im Permanentmagnet behafteten Teilsystem dann zu einer Änderung der Permeabilität im flussführenden Eisen, wobei diese Permeabilitätsänderungen dann nach Patentanspruch 3 über eine Impedanzmessung eines Stranges als interne sensorische Eigenschaft des Antriebes zur Wegmessung ausgenutzt werden kann.

[0012] Das magnetbehafte Teilsystem mit den Permanentmagneten und dem inneren Eisenkern kann dabei nach den Patentansprüchen 4 und 5 entweder den Stator oder den Läufer des Motors bilden.

[0013] Nach den Ausgestaltungen in den Patentansprüchen 6 und 7 kann die Impedanzmessung eines kompletten Motorstranges in einer Bestromungs- bzw. Messpause in dem zur Schubkraftenerzeugung bestromten Strang oder in einem nicht zur Schubkraftenerzeugung bestromten Strang erfolgen, wobei diese Messwerte das wegproportionale Signal bilden.

[0014] Nach Patentanspruch 8 besteht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung darin, dass nacheinander oder gleichzeitig in zwei Strängen verfahrensgemäße Wegsignalerfassungen vorgenommen werden und aus der Phasenverschiebung beider Signale eine Richtungsinformation nach bekannten Verfahren der Technik abgeleitet wird.

[0015] Diese Wegsignale werden nach Patentanspruch 9 als wiederkehrende inkrementale Messwerte für die Wegposition genutzt.

[0016] Vorteilhafter Weise koppelt man das Signal der integrierten Wegmessung nach Patentanspruch 10 in eine elektronische Regelschaltung ein, die das gemessene Wegsignal mit einem vorgegebenen Wegsollwert vergleicht und aus der Differenz der beiden Signale die Eingangsgröße für einen Positions- oder Bahnregler liefert, der wiederum die Antriebssignale so steuert, dass die Läuferposition auf den Positionssollwert oder die Bewegung auf eine Soll-Fahrkurve ausgeregelt wird.

[0017] Das vorgeschlagene Verfahren ist dabei nach Patentanspruch 11 nicht an rotationssymmetrische Aufbauten gebunden. Auch kastenförmige Spulensysteme, die rechteckförmige Magnetsysteme mit einem inneren Eisenkern umschließen, sind in gleicher Weise für dieses Messverfahren geeignet.

[0018] Ein Ausführungsbeispiel zu dem Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafte Teilsystem und dafür geeigneten Motoren ist in den Zeichnungen dargestellt und wird nachfolgend näher beschrieben.

Ausführungsbeispiel

[0019] Es stellen dar:

[0020] **Fig. 1** eine Schnittdarstellung des Prinzipaufbaus einer rotationssymmetrischen Ausführungsform eines für die Anwendung des Messverfahrens geeigneten Gleichstromlinearmotors, speziell mit bewegtem Spulensystem,

[0021] **Fig. 2** den prinzipiellen Flussdichteverlauf im weichmagnetischen Stator Kern des rotationssymmetrischen Motors als Ausschnitt über zwei Magnete,

[0022] **Fig. 3** den prinzipiellen, aus dem Flussdichteverlauf resultierenden Permeabilitätsverlauf im weichmagnetischen Stator Kern des rotationssymmetrischen Motors als Ausschnitt über zwei Magnete,

[0023] **Fig. 4** die prinzipiellen Verläufe der komplexen Spulengesamtwiderstände in drei Motorsträngen in Abhängigkeit der Läuferposition (gemessen an einem realen Motor),

[0024] **Fig. 5** die prinzipiellen Verläufe des ohmschen Anteils der Spulengesamtwiderstände in Form des Realteils der Impedanz in drei Motorsträngen in Abhängigkeit der Läuferposition (gemessen an einem realen Mo-

tor),

[0025] **Fig. 6** ein Blockschaltbild einer Ansteuerung eines Gleichstromlinearmotors mit integrierter Wegmessung in Form einer Impedanzmessung in den Motorsträngen,

[0026] **Fig. 7** eine Prinzipskizze einer Wechselstrommessbrücke zur Impedanzmessung nach bekannten Verfahren der Technik.

[0027] Ein für die Anwendung des Messverfahrens geeigneten Gleichstromlinearmotors kann beispielsweise nach **Fig. 1** ausgebildet sein. Bei diesem Motor handelt es sich um einen dreisträngigen elektronisch kommutierten Gleichstromlinearmotor mit bewegter Spule und feststehenden wechseipoligen Magnetsystem.

[0028] Der Stator besteht aus einem weichmagnetischen Rundmaterial (**4**), optional zusätzlich aus einer aufgeschobenen weichmagnetischen Hülse (**7**), den aufgeklebten Segmentoder Ringmagneten (**3**) und ebenfalls optional aus einer Edelhülse (**6**) darüber. Die Länge des feststehenden Stators ist in Abhängigkeit des erforderlichen Hubes zu dimensionieren.

[0029] Die Magnete (**3**) bestehen im konkreten Fall pro Ring aus insgesamt 4 Magnetviertelschalen, die diametral magnetisiert sind. Der Einsatz von Magnetringen ist ebenso möglich. Das Gesamtsystem ist wechseipolig auf die Stahlhülse (**7**) geklebt. Durch die Anordnung der Magnete, die Materialauswahl und die Dimensionierung des inneren weichmagnetischen Kerns ist die Flussverteilung im Stator Kern fest voreingestellt. Vermeidet man bei der Dimensionierung eine Sättigung im Eisen, ist damit auch die Permeabilitätsverteilung eindeutig vorgegeben. Der direkte Kontakt der Magnete zu den inneren Flussführungen vermindert zudem den Einfluss von Spulentrückwirkungen des Läufers.

[0030] Der Läuferaufbau besteht aus den Komponenten Rückschluss (**5**), Endstück/Führungsbuchse (**1**) und Spulensystem (**2**) mit Spulenträger. Der weichmagnetische Rückschluss (**5**) dient der magnetischen Flussführung. Das Spulensystem ist dreisträngig aufgebaut. Die Spulenlänge beträgt aufgrund der dreisträngigen Anordnung ein Drittel der Magnetlänge.

[0031] Den Flussdichteverlauf im Eisenkern zeigt **Fig. 2**, eingeschränkt auf einen Ausschnitt mit einem Bereich von zwei Magneten. Die entstehende und detektierbare Flussdichte im flussführenden Eisenkern schwankt von einem Maximalwert im Eisenkern an der Position der Trennfugen der Magnete bis zu einem Minimalwert im Eisenkern an der Position der Mitte der Magnete. Das Wegmessverfahren basiert auf der Auswertung der unterschiedlichen, durch die Magnete fest voreingestellten Flussdichteverteilungen im Stator Kern und der dadurch hervorgerufener Permeabilitätsänderungen. Den zugehörigen Permeabilitätsverlauf zeigt **Fig. 3**.

[0032] Diese Permeabilitätsänderungen rufen eine Änderung des komplexen Gesamtwiderstandes der einzelnen Motorstränge (**Fig. 4**) hervor. Die Änderungen des komplexen Gesamtwiderstandes sind in inkrementalen Abschnitten dem Motorhub nahezu proportional und werden schließlich zur Wegmessung mit aus dem Stand der Technik bekannten Schaltungen ausgewertet. Die Permeabilitätsänderung im Stator Kern bei unterschiedlicher Feldstärke hängt dabei vom vernetzten Kernwerkstoff und dem Kerndurchmesser ab. Beides ist entsprechend dem gewünschten Verhalten zu dimensionieren. Für ein optimales Auswertesignal ist ein starker Permeabilitätswechsel im Kern erforderlich, so dass Bereiche mit magnetischer Sättigung vermieden werden sollten.

[0033] Den Signalverlauf des ohmschen Anteils des Spulengesamtwiderstandes in Form des Realteils der Impedanz in den Motorsträngen in Abhängigkeit der Läuferposition zeigt **Fig. 5**. Der Kurvenverlauf zeigt gleichfalls ein alternierendes Signalverhalten beim Wechsel der Materialien verschiedener Permeabilität. Dies zeigt die Notwendigkeit der Nutzung der Impedanzmessung zur Erzeugung eines Wegmesssignals, da durch eine reine Induktivitätsmessung Informationen verloren gehen und damit nur eine weniger genaue Erfassung des Weges möglich ist.

[0034] **Fig. 6** zeigt ein Blockschaltbild einer Ansteuerung eines Gleichstromlinearmotors mit integrierter Wegmessung in Form einer Impedanzmessung in den Motorsträngen. Die Spulenstränge des Motors sind durch R-L-Glieder symbolisiert, deren Impedanzverhalten beim Verfahren des Läufers nach einer Signalverstärkung und Konditionierung mit einer Impedanzmessung ausgewertet wird. Die erhaltenen Messsignale werden über einen A-D-Wandler dem Mikroprozessor bereitgestellt, der die aktuellen Weginformationen mit den vorgegebenen Sollwerten vergleicht und die Vollbrücken des Leistungsstellgliedes entsprechend ansteuert.

[0035] Die Impedanzmessung wird dabei nach bekannten Verfahren der Technik durchgeführt. Die Messsignalverarbeitung erfolgt prinzipiell beispielsweise mittels Wechselstrommessbrücken nach Maxwell und Wien. **Fig. 7** zeigt eine Prinzipskizze einer Wechselstrommessbrücke zur Impedanzmessung.

[0036] Berechnungsvorschriften:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2} \quad (1)$$

$$L_x = R_1 \cdot R_4 \cdot C_2 \quad (2)$$

[0037] Die einzelnen Widerstandsanteile (Real- und Imaginärteil) der Antriebsstränge können zur Impedanz zusammengefasst werden.

[0038]

$$X_L = \omega \cdot L_x \text{ Blindwiderstand} \quad (3)$$

$$X_R = R_x \text{ Wirkwiderstand} \quad (4)$$

$$\vec{Z} = X_L + X_R \text{ Impedanz (Scheinwiderstand)} \quad (5)$$

$$|Z| = \sqrt{(X_L^2 + X_R^2)} \quad \text{Betrag} \quad (6)$$

[0039] Der Verlauf der ermittelten Impedanzkennwerte bei der Verfahrbewegung kann dann zur Generierung der erforderlichen Positionssignale beispielsweise in einem Mikrorechner herangezogen werden. Dazu wird die Potenzialdifferenz der Messbrücke über einen A-D-Wandler in den Mikroprozessor eingelesen und in den inneren Inkrementen nahezu proportionalen Weg umgerechnet. Durch den Vergleich mit den vorgegebenen Positionssollwerten kann über einen Regler das Leistungsstellglied mit der entsprechenden PWM angesteuert werden.

[0040] Die Impedanzmessung kann an einem kompletten nicht zur Schubkraftherzeugung bestromten Strang oder auch in einer Bestromungs- bzw. Messpause in einem zur Schubkraftherzeugung bestromten Strang erfolgen. Werden nacheinander oder gleichzeitig in zwei Strängen verfahrensgemäße Wegsignalerfassungen vorgenommen, lassen sich nach bekannten Verfahren der Technik aus der Phasenverschiebung beider Signale Richtungsinformationen ableiten.

[0041] Das vorgenannte Verfahren ist nicht daran gebunden, dass das magnetbehafte Teilsystem mit den Permanentmagneten und dem inneren Eisenkern den Stator des Motors bildet, auch das spulenbehafte Teilsystem kann als Stator verwendet werden.

[0042] Das Messverfahren ist auch auf Gleichstromlinearmotoren in nicht rotationssymmetrischer Bauform anwendbar, beispielsweise auf Motoren mit kastenförmigen Spulensystemen, die rechteckförmige Magnetsysteme mit einem inneren Eisenkern umschließen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafte Teilsystem **dadurch gekennzeichnet**, dass Flussdichteänderungen im Permanentmagnet behafte Teilsystem von Gleichstromlinearmotoren als interne sensorische Eigenschaft des Antriebes über eine Impedanzmessung eines Stranges zur Wegmessung ausgenutzt werden, wobei die Flussänderungen in einem flussführenden zentralen Eisenkern durch radial auf diesen, in axialer Richtung mit alternierender Polarität angeordnete, radial magnetisierte Magnetringe oder aus Magnetsegmenten gebildete Ringe hervorgerufen werden.

2. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafte Teilsystem nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die entstehenden und detektierten Flussdichteänderungen im flussführenden Eisenkern von einem Maximalwert im Eisenkern an der Position der Trennfugen der Magnete bis zu einem Minimalwert im Eisenkern an der Position der Mitte der Magnete schwanken.

3. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehafte Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flussdichteänderungen im Permanentmagnet behafte Teilsystem von Gleichstromlinearmotoren eine Änderung der Permeabilität im flussführenden Eisen bewirken und diese Permeabilitätsänderungen über eine Impedanzmessung eines Stranges als interne sensorische Eigenschaft des

Antriebes zur Wegmessung ausgenutzt werden.

4. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das magnetbehäftete Teilsystem mit den Permanentmagneten und dem inneren Eisenkern den Stator des Motors bildet.

5. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der Patentansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das spulenbehäftete Teilsystem als Stator verwendet wird.

6. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzmessungen eines kompletten Motorstranges in einer Bestromungs- bzw. Messpause in dem zur Schubkraftzeugung bestromten Strang erfolgen und diese Messwerte als wegproportionales Signal genutzt werden.

7. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Impedanzmessungen eines kompletten Motorstranges in einem nicht zur Schubkraftzeugung bestromten Strang erfolgen und diese Messwerte als wegproportionales Signal genutzt werden.

8. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nacheinander oder gleichzeitig in zwei Strängen verfahrensgemäße Wegsignalerfassungen vorgenommen werden und aus der Phasenverschiebung beider Signale eine Richtungsinformation nach bekannten Verfahren der Technik abgeleitet wird.

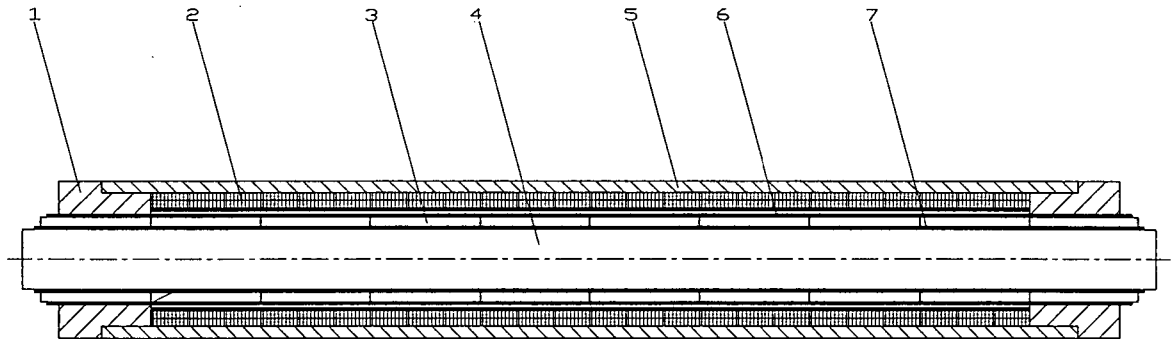
9. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese Impedanzmessungen an kompletten Motorsträngen wegen der fortlaufenden alternierend angeordneten Dauermagnet- und Flussführungsscheiben bzw. -ringen wiederkehrende inkrementale Messwerte für die Wegposition darstellen.

10. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Gesamtsystem eine elektronische Regelschaltung umfasst, welche das gemessene Wegsignal mit einem vorgegebenen Wegsollwert vergleicht und aus der Differenz der beiden Signale die Eingangsgröße für einen Positions- oder Bahnregler liefert, der wiederum die Antriebssignale so steuert, dass die Läuferposition auf den Positionssollwert oder die Bewegung auf eine Soll-Fahrkurve ausgeregelt wird.

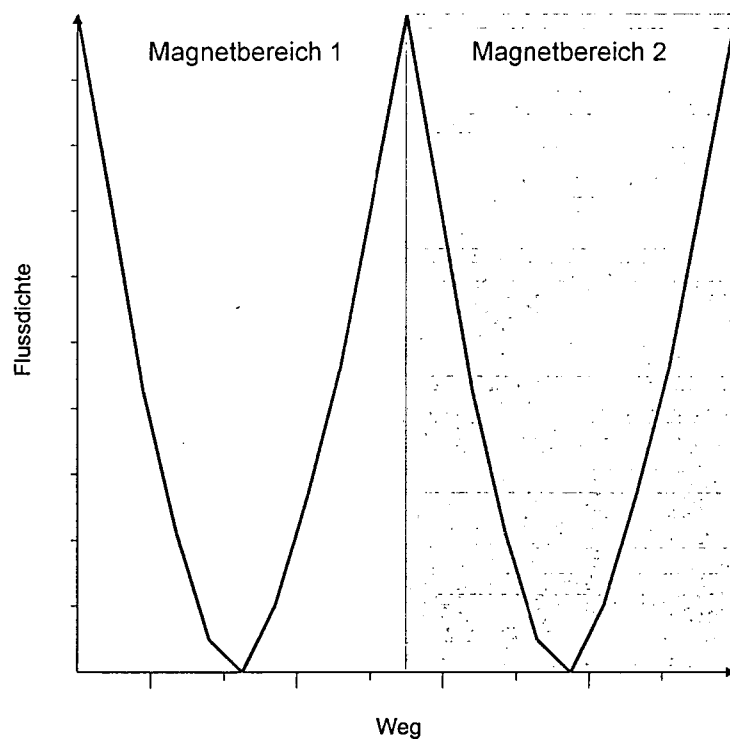
11. Verfahren zur integrierten Wegmessung in Gleichstromlinearmotoren unter Ausnutzung von Flussdichteänderungen im magnetbehäfteten Teilsystem nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses Messverfahren auf Gleichstromlinearmotoren in nicht rotationssymmetrischer Bauform angewandt wird, beispielsweise auf Motoren mit kastenförmigen Spulensystemen, die rechteckförmige Magnetsysteme mit einem inneren Eisenkern umschließen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

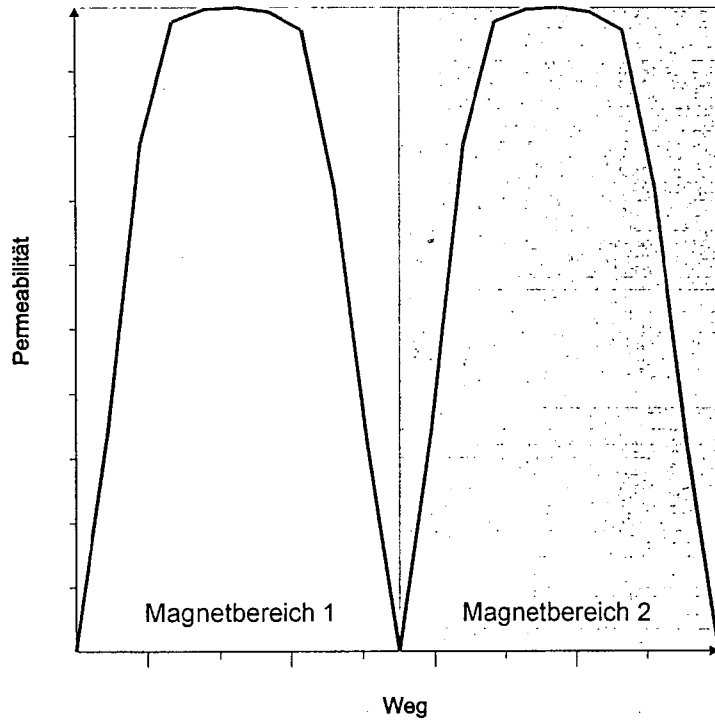
Zeichnungen



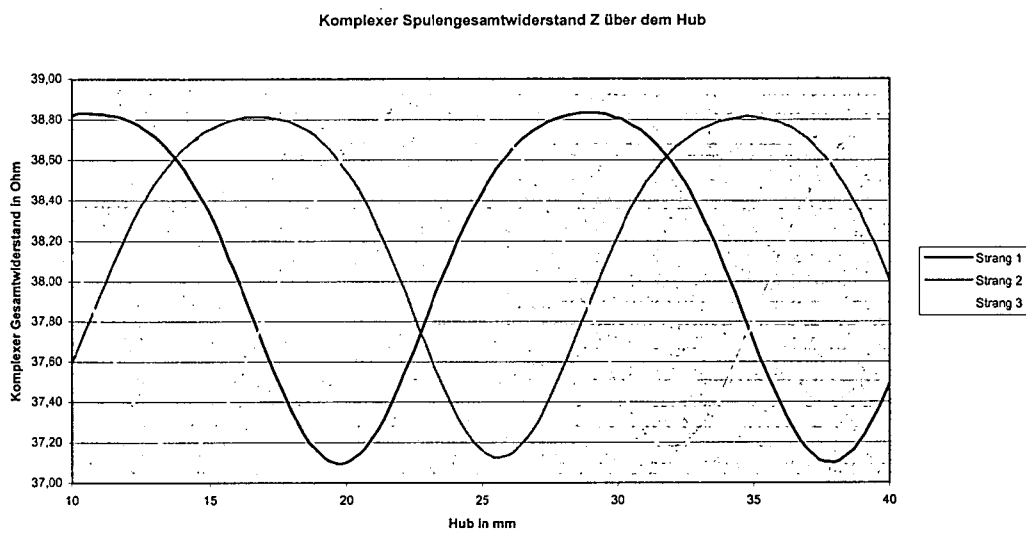
Figur 1: Schnittdarstellung des Prinzipaufbaus einer Ausführungsform eines für die Anwendung des Messverfahrens geeigneten Gleichstromlinearmotors, speziell mit bewegtem Spulensystem,



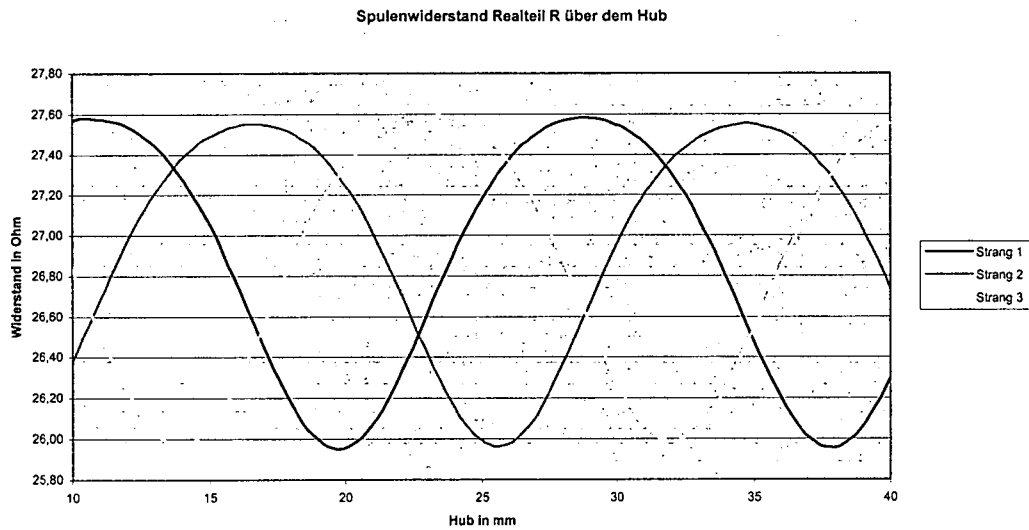
Figur 2: Prinzipieller Flussdichteverlauf im weichmagnetischen Statorkern des rotationssymmetrischen Motors als Ausschnitt über zwei Magnete,



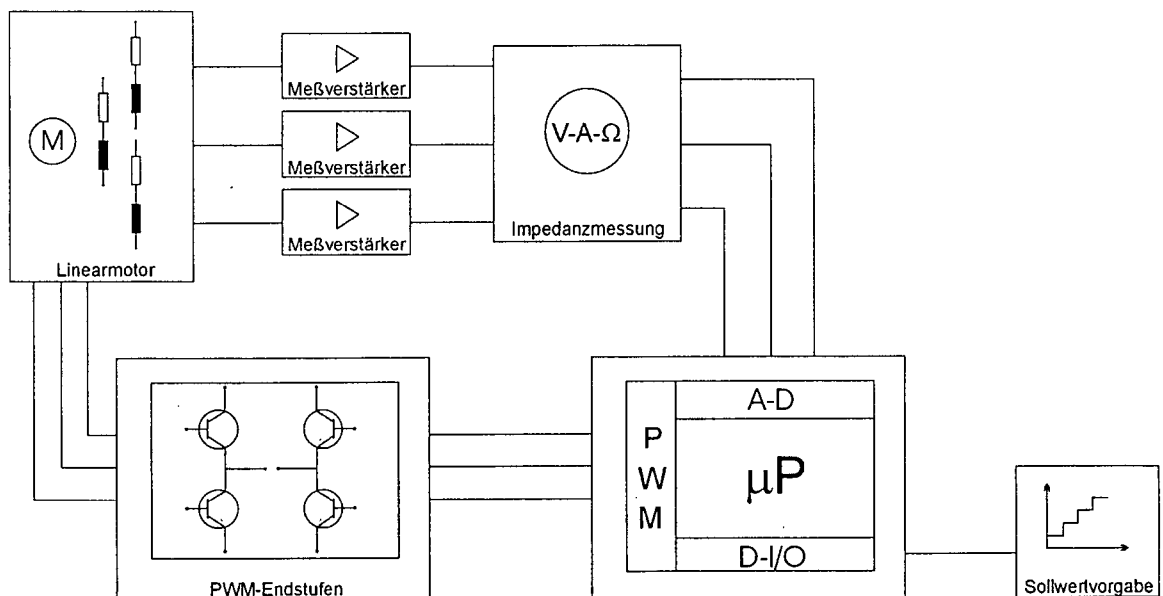
Figur 3: Prinzipieller Permeabilitätsverlauf im weichmagnetischen Stator Kern des Motors als Ausschnitt über zwei Magnete,



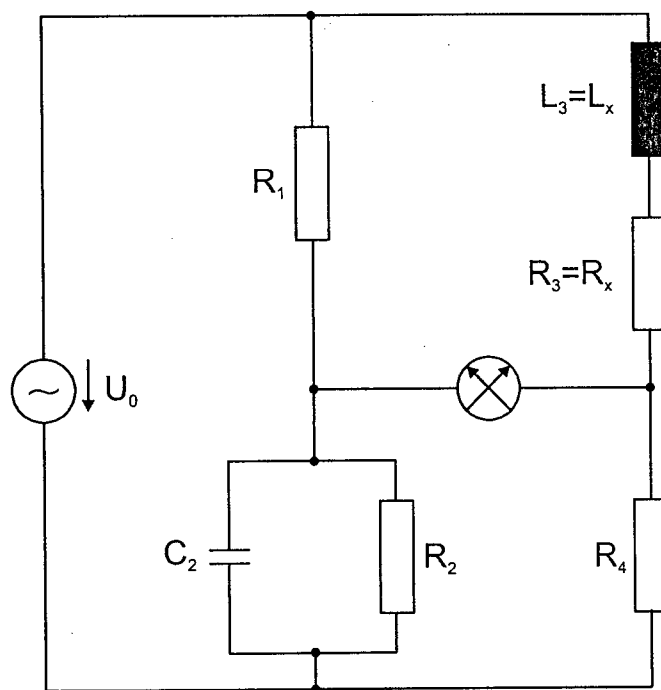
Figur 4: Prinzipielle Verläufe der komplexen Spulengesamtwiderstände in drei Motorsträngen in Abhängigkeit der Läuferposition (gemessen an einem realen Motor),



Figur 5: Prinzipielle Verläufe des ohmschen Anteils der Spulengesamtwiderstände in Form des Realteils der Impedanz in drei Motorsträngen in Abhängigkeit der Läuferposition (gemessen an einem realen Motor),



Figur 6: Blockschaubild einer Ansteuerung eines Gleichstromlinearmotors mit integrierter Wegmessung in Form einer Impedanzmessung in den Motorsträngen,



Figur 7: Prinzipskizze einer Wechselstrommessbrücke zur Impedanzmessung nach bekannten Verfahren der Technik.