



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

(19) DD (11) 250 613 A1

4(51) H 02 K 41/03

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 02 K / 270 998 5

(22) 18.12.84

(44) 14.10.87

(71) Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, PSF 964, Karl-Marx-Stadt, 9010, DD

(72) Krauß, Manfred, Prof. Dr.-Ing. habil.; Rauch, Manfred, Doz. Dr. sc. techn.; Gottwald, Thomas, Dipl.-Ing., DD

(54) Linearschrittmotor mit permanentmagnetischem Stator

(57) Die Erfindung betrifft einen Linearschrittmotor mit permanentmagnetischem Stator, der zur Umwandlung diskreter elektrischer Signale in mechanische Bewegung dient. Er ist überall dort anwendbar, wo mechanische Positionieraufgaben zu erfüllen sind, die durch digital arbeitende elektronische Systeme gesteuert werden wie z. B. in der Druck-, Zeichen- und Handhabetechnik. Ziel und Aufgabe der Erfindung sind es, die Herstellungskosten von Linearschrittmotoren zu verringern, einen Motor zu entwickeln, der mit preiswerten Oxidferrit-Permanentmagneten ausgestattet ist und einen leicht herstellbaren Aufbau aufweist. Erfindungsgemäß besteht der Motor aus zwei parallel zueinander angeordneten, aus ferromagnetischem Material bestehenden Statorschienen, zwischen denen sich Permanentmagnete befinden, und einem Läufer, der eine oder mehrere Läuferwicklungen besitzt, welche die vom Stator-Permanentmagnet erzeugten Magnetflüsse gezielt über unterschiedlich verzahnte Läuferpole umleiten können. Fig. 1

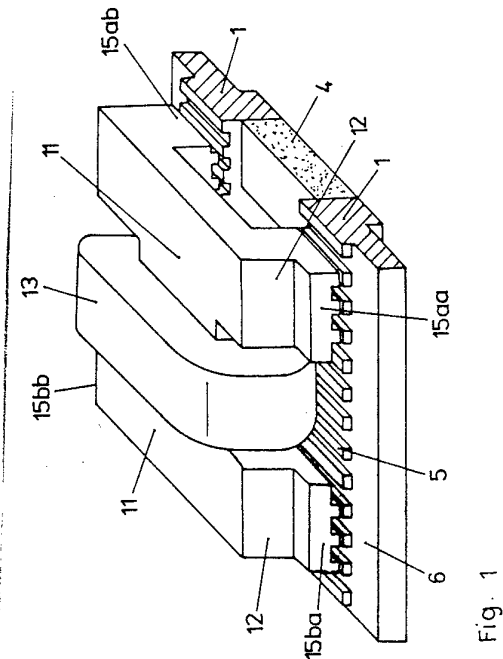


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Linearschrittmotor mit permanentmagnetischem Stator, der in Längsrichtung zahnstangenartige Formen aufweist und entlang dessen sich ein mit elektrischen Wicklungen versehener Läufer bewegt, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Stator von zwei parallel zueinander angeordneten, aus ferromagnetischem Material bestehenden Statorschienen (1) gebildet wird, zwischen denen sich ein oder mehrere gleich orientierte Permanentmagnete (4) befinden, so daß die eine Statorschiene (1) über ihre gesamte Länge einen magnetischen Nord- und die andere einen Südpol bildet und der dazugehörige Läufer mehrere Läuferpole enthält, die jeweils Verzahnungen besitzen, welche der Stator-Verzahnung (5) nahe gegenüberstehen und untereinander unterschiedlichen Versatz aufweisen, und die über die Läuferpole und sie verbindende ferromagnetische Leitstücke (11) die beiden Statorschienen (1) magnetisch verbinden, wobei die ferromagnetischen Leitstücke (11) des Läufers von Läuferwicklungen (13) umgeben sind.
2. Linearschrittmotor nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Läufer ein ferromagnetisches Leitstück (11) enthält, welches in Längsrichtung angeordnet und von einer Läuferwicklung (13) umgeben ist und sich an seinen beiden Enden dergestalt aufzweigt, daß sich vier Läuferpole (15 aa, 15 ab, 15 ba, 15 bb) ergeben.
3. Linearschrittmotor nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Läufer mindestens zwei Spulen-Anordnungen nach Anspruch 2 enthält, wobei die Verzahnungen der verzahnten Läuferpole (15 aa, 15 ab, 15 ba, 15 bb) jeweils so ausgeführt sind, daß, wenn die Zähne der diagonal angeordneten Läuferpole (15 aa und 15 bb) Zahn zu Zahn den Statorschienen (1) gegenüberstehen, die Zähne der anderen Läuferpole (15 ab und 15 ba) den Statorschienen (1) Zahn zu Zahnlücke gegenüberstehen, während die Verzahnungen der Läuferpole zu den entsprechenden Läuferpolen der anderen Spulen-Anordnungen jeweils einen Versatz um $T/2n$ aufweisen, wobei T der Abstand der Zahnmitte eines beliebigen Zahnes zur Mitte seines benachbarten Zahnes und n die Anzahl der Spulen-Anordnungen sind.
4. Linearschrittmotor nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß zwei Läuferpole (15 aa und 15 ba) eine Einrichtung zur Magnetflußbegrenzung (12) aufweisen und die gleiche Zahnteilung besitzen, während die Zähne der anderen Läuferpole (15 ab und 15 bb) um $T/3$ jeweils versetzt sind, wobei T der Abstand der Zahnmitte eines beliebigen Zahnes zur Mitte seines benachbarten Zahnes ist.
5. Linearschrittmotor nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Einrichtung zur Magnetflußbegrenzung (12) durch eine Querschnittsverringeringung der flußleitenden Teile gebildet wird.
6. Linearschrittmotor nach Anspruch 4, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Einrichtung zur Magnetflußbegrenzung (12) durch den Einsatz eines Werkstoffes mit niedriger Sättigungsinduktion gebildet wird.
7. Linearschrittmotor nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Läufer drei Läuferpole (15 c, 15 d, 15 e) besitzt, deren Verzahnungen untereinander um jeweils $T/3$ versetzt sind, und von denen einer (15 c) der einen Statorschiene (1) gegenübersteht, wobei die Läuferpole 15 c und 15 d sowie die Läuferpole 15 c und 15 e durch je ein ferromagnetisches Leitstück (11) miteinander verbunden und die Leitstücke (11) mit Läuferwicklungen (13) umwickelt sind und durch ihre Querschnittsgestaltung gleichzeitig eine Magnetflußbegrenzung darstellen.
8. Linearschrittmotor nach Ansprüchen 1 bis 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Statorschienen (1) gleichzeitig geeignete Flächen zur Führung des Läufers (6) besitzen.
9. Linearschrittmotor nach Anspruch 4 oder 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Stromzufuhr für die Läuferwicklung (13) über die Führungseinrichtung des Läufers oder geeignete Schleifkontakte erfolgt.
10. Linearschrittmotor nach Anspruch 4 oder 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Stator einen magnetischen Nebenschluß besitzt, der die Stabilisatoren (1) verbindet.
11. Linearschrittmotor nach Ansprüchen 1 bis 10, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Statorschienen (1) so ausgebildet und angeordnet sind, daß ein kreisförmiger Statorquerschnitt entsteht.
12. Linearschrittmotor nach Ansprüchen 1 bis 11, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Statorschienen (1) so ausgebildet und angeordnet sind, daß ein eckiger Statorquerschnitt entsteht.
13. Linearschrittmotor nach Anspruch 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Läuferwicklungen (13) zu einer einzigen Wicklung zusammengeschaltet sind.
14. Linearschrittmotor nach Anspruch 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Läuferwicklungen (13) getrennt geschaltet sind.

15. Linearschrittmotor nach Anspruch 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß Teile der Läuferwicklungen (13) über im Läufer untergebrachte Halbleiterdioden stromrichtungsabhängig in den Strompfad einbezogen werden, wobei die Verschaltung aller Teile der Läuferwicklungen (13) einen einzigen, bipolar betreibbaren Zweipol darstellt.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Linearschrittmotor mit permanentmagnetischem Stator, der zur Umwandlung diskreter elektrischer Signale in mechanische Bewegungen dient. Er ist überall dort einsetzbar, wo mechanische Positionieraufgaben zu erfüllen sind, die insbesondere durch digital arbeitende elektronische Systeme gesteuert werden sollen. Solche Motoren sind für den Einsatz in der Druck-, Zeichen- oder Handhabetechnik geeignet und können zum Beispiel Drückköpfe, Schreibstifte, Bohrer, Greifer und andere Werkzeuge bewegen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In bekannten technischen Lösungen werden Linearschrittmotoren mit Permanentmagneten ausgestattet, um die Wicklungen bipolar nutzen zu können und somit Spulen einzusparen. Sollen große Kräfte bei geringem Magnetvolumen erzielt werden, so ist der Einsatz eines Dauermagnetmaterials mit großem Energieprodukt nötig. Solche Werkstoffe (Seltenerd-Magnete) sind jedoch außerordentlich teuer. Preiswerte Dauermagnetstoffe erfordern aufgrund ihres geringen Energieproduktes einen großen Volumeneinsatz. Sollen die Dauermagnete im Läufer eines Linearschrittmotors untergebracht werden (DE-0931 28834), so ist im Hinblick auf ein günstiges Masse/Leistungs-Verhältnis nur der Einsatz teurer Seltenerd-Werkstoffe geboten.

Die Verwendung preiswerter oxidischer Ferrite ist möglich, wenn die Dauermagnete im Stator des Linearschrittmotors untergebracht werden. Bekannte technische Lösungen beinhalten dazu komplizierte Anordnungen (DE-0928 22830), deren technologisch aufwendige Herstellung alle sonstigen Vorzüge zunichte macht. Da dort die Zähne des Stators abwechselnd Nord- und Südpole bilden, ist nicht nur die Herstellung eines solchen Aufbaues aufwendig, sondern ist auch die Auflösung (Feinheit der Zähne) durch technologische und werkstoffbedingte Einschränkungen begrenzt. Daher sind solche Anordnungen allenfalls für elektrodynamische Linearmotoren (DE-0926 54075, DE-0946 147) brauchbar.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, die dynamischen und energetischen Eigenschaften von Linearschrittmotoren zu verbessern und ihre Herstellungs- und Materialkosten zu senken.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Linearschrittmotor zu schaffen, der mit Dauermagneten ausgestattet ist und dessen Aufbau den Einsatz preisgünstiger Oxidferrite zuläßt, ohne daß deren großes Volumen nachteilige Wirkungen zeigt, und der sich zudem durch einen leicht herstellbaren Aufbau auszeichnet.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Motor gelöst, dessen Stator aus zwei parallel zueinander angeordneten Statorschienen, die aus ferromagnetischem Material bestehen, gebildet wird. Zwischen den Statorschienen, die eine Verzahnung tragen, sind ein oder mehrere gleich orientierte Permanentmagnete so angeordnet, so daß die eine Statorschiene über ihre gesamte Länge als magnetischer Nordpol und die andere als magnetischer Südpol wirkt. Weiterhin besitzen die Statorschienen geeignete Flächen, die eine gute Führung des Läufers gewährleisten. Je nach Anwendungsfall können die Statorschienen so ausgebildet und angeordnet sein, daß ein kreisförmiger oder ein eckiger Statorquerschnitt entsteht. Beide Statorschienen können, um das Abdrängen des elektrisch erregten Magnetflusses zu erleichtern, durch einen magnetischen Nebenschluß verbunden sein.

Der dazugehörige Läufer, der als Ein- oder Mehr-Spulen-Anordnung ausgebildet sein kann, besteht aus mehreren Läuferpolen, die jeweils eine Verzahnung mit unterschiedlichem Versatz aufweisen, und sie verbindenden ferromagnetischen Leitstücken, welche von Läuferwicklungen umgeben sind. Durch die die Läuferpole verbindenden ferromagnetischen Leitstücke sind beide Statorschienen magnetisch miteinander verbunden. Die Stromzufuhr für die Läuferwicklung kann über die Führungseinrichtung des Läufers oder durch geeignete Schleifkontakte realisiert werden. Besteht der Läufer aus einer Ein-Spulen-Anordnung, enthält dieser ein ferromagnetisches Leitstück, welches in Längsrichtung angeordnet und von einer Läuferwicklung umgeben ist und sich an seinen beiden Enden dergestalt aufzweigt, daß sich vier Läuferpole ergeben. Zwei Läuferpole, die die gleiche Zahnteilung besitzen, erhalten eine Einrichtung zur Magnetflußbegrenzung, während die Zähne der anderen Läuferpole um $\frac{T}{3}$ jeweils versetzt sind, wobei T der Abstand der Zahnmitte eines beliebigen Zahnes zur Mitte seines benachbarten Zahnes ist. Die Einrichtung zur Magnetflußbegrenzung wird durch eine Querschnittsverringerng der flußleitenden Teile oder durch den Einsatz eines Werkstoffes mit niedriger Sättigungsinduktion erzielt. Bei der Mehr-Spulen-Anordnung werden mindestens zwei Ein-Spulen-Anordnungen mechanisch so gekoppelt, daß sie sich untereinander magnetisch nicht beeinflussen können. Die

Verzahnungen der Läuferpole sind dabei so ausgeführt, daß bei der ersten Spulen-Anordnung die Zähne der diagonal angeordneten Läuferpole Zahn zu Zahn den Statorschienen und die Zähne der beiden anderen Läuferpole Zahn zu Zahnlücke gegenüberstehen, die Verzahnungen der Läuferpole zu den entsprechenden Läuferpolen der anderen Spulen-Anordnungen sind jeweils um $T/2n$ versetzt, wobei T der Abstand der Zahnmitte eines beliebigen Zahnes zur Mitte seines benachbarten Zahnes und n die Anzahl der Spulen-Anordnungen sind.

Weiterhin kann der Läufer mit drei Läuferpolen ausgestattet sein, von denen einer der einen Statorschiene gegenübersteht und die anderen zwei der anderen Statorschiene gegenüberstehen und mit dem erstgenannten Läuferpol durch ferromagnetische Leitstücke verbunden sind. Der Querschnitt der Leitstücke ist so bemessen, daß sie einen bestimmten Magnetfluß leiten können und darüber hinaus flußbegrenzend wirken. Die Leitstücke sind mit je einer Läuferwicklung umgeben, welche getrennt betrieben oder miteinander verschaltet sein können. Die Verschaltung der Läuferwicklungen kann dabei unmittelbar oder über im Läufer untergebrachte Halbleiterdioden stromrichtungsabhängig erfolgen. Alle drei Läuferpole tragen Verzahnungen, welche untereinander einen Versatz um $T/3$ aufweisen.

Der von den Permanentmagneten erregte Magnetfluß wird über die Statorschienen dem Läufer des Linearschrittmotors zugeleitet, dessen Flußleitstücke über verzahnte Läuferpole die Statorschienen magnetisch verbinden und damit den Magnetkreis schließen. Durch Beschaltung der Läuferwicklungen werden Teile des permanenterrregten Magnetflusses umgeleitet, so daß die verzahnten Läuferpole unterschiedlich stark durchflossen werden. Durch zyklische Stromumschaltungen, deren Rhythmus von der Ausführung des Läufers abhängt, realisiert sich die Bewegung des Läufers.

Da der Stator genügend Platz bietet, ist es möglich, auch mit Hilfe von Permanentmagnet-Werkstoffen mit geringem spezifischen Energieprodukt große Magnetflüsse zu erzielen. Der Einsatz von Permanentmagneten gestattet die doppelte Ausnutzung der Läuferwicklungen durch bipolaren Betrieb und damit eine Verringerung der Anzahl der Wicklungen. Dadurch werden Masse und Volumen des Läufers verkleinert und seine dynamischen Eigenschaften verbessert.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird an drei Ausführungsbeispielen und anhand von Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1: eine mögliche Form des Läufers und seine Stellung zum Stator (ohne Führungsräder)

Fig. 2: eine weitere mögliche Form des Läufers

Fig. 3: eine weitere Ausführungsform des Läufers

Fig. 4: eine Ausführungsform des Stators

Fig. 5: eine Ausführungsform des Stators mit kreisförmigem Querschnitt (Ansicht in Längsrichtung)

Der Stator des Linearschrittmotors besteht aus zwei parallelen ferromagnetischen Statorschienen 1, zwischen denen sich ein oder mehrere gleichsinnige gepolte Permanentmagnete 4 befinden. Die Abmessungen der Permanentmagnete 4 werden durch den gewünschten Magnetfluß und durch die Kennwerte des verwendeten Magnetwerkstoffes bestimmt. Da das Platzangebot an dieser Stelle ausreichend ist, können preiswerte Oxidferrite mit geringem Energieprodukt eingesetzt werden.

Beide Statorschienen 1 tragen in Längsrichtung eine gleichmäßige Stator-Verzahnung 5.

Für den Querschnitt des Stators sind viele Formen denkbar. Stellvertretend sind in Fig. 4 ein eckiger und in Fig. 5 ein kreisförmiger Querschnitt dargestellt.

Die Statorschienen 1 wirken über ihre gesamte Länge wie die zwei Pole eines Permanentmagnets.

Der Läufer des Schrittmotors enthält mehrere Läuferpole 15aa, 15ab, 15ba, 15bb oder 15c, 15d, 15e, die jeweils Verzahnungen besitzen, welche der Stator-Verzahnung 5 nahe gegenüberstehen und je nach Ausführung unterschiedlichen Versatz zueinander aufweisen. Diese Läuferpole sind durch ferromagnetische Leitstücke 11 miteinander verbunden. Die Leitstücke 11 sind mit Läuferwicklungen 13 umwickelt, welche bipolar betrieben werden und bei entsprechenden Ausführungen miteinander verschaltet sein können. Bei einigen Ausführungen genügt eine einzige Läuferwicklung 13, um die Funktion des Linearschrittmotors zu gewährleisten.

Drei unterschiedliche Ausführungsbeispiele sollen die Vorteile und Gestaltungsmöglichkeiten des erfindungsgemäßen Linearschrittmotors andeuten.

Das erste Ausführungsbeispiel soll anhand Fig. 1 erläutert werden. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, besitzen die zwei Läuferpole 15aa und 15ba die gleiche Zahnteilung. Die Zähne der Läuferpole 15ab und 15bb sind jedoch um $+1/3$ bzw. $-1/3$ einer Periode versetzt. Die Pole 15aa und 15ba sind außerdem mit Einrichtungen zur Magnetflußbegrenzung 12 ausgestattet. Das können Querschnittsverengungen sein wie in Fig. 1, aber auch der Einsatz eines Werkstoffes mit niedriger Sättigungsinduktion ist an dieser Stelle möglich.

Der Stator-Permanentmagnet 4 erzeugt einen Magnetfluß, der sich auf die vier Läuferpole 15aa, 15ab, 15ba, 15bb aufteilt. Die Anordnung ist dabei so dimensioniert, daß sich der Magnetfluß gleichmäßig auf alle vier Läuferpole 15aa, 15ab, 15ba, 15bb aufteilen kann und sich die flußbegrenzten Läuferpole 15aa und 15ba nahe unterhalb der Sättigung befinden. An allen verzahnten Läuferpolen 15aa, 15ab, 15ba, 15bb treten infolge des Magnetflusses Kräfte auf, die sich gegenseitig teilweise aufheben.

Wegen der doppelten Repräsentation der Verzahnung an den Läuferpolen 15aa und 15ba steht die Resultierende der Kräfte zugunsten dieser beiden Läuferpole. Der Läufer nimmt eine Läuferposition bezüglich des Stators ein, in der die Zähne der Läuferpole 15aa und 15ba den Zähnen der Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen. Diese Position wird vom Läufer ohne jegliche elektrische Erregung des Schrittmotors beibehalten.

Soll sich der Läufer fortbewegen, so wird die Läuferwicklung 13 mit einem elektrischen Strom beaufschlagt. Den oben beschriebenen Magnetflüssen, die der Stator-Permanentmagnet 4 erzeugt, werden nun elektrisch erregte Flüsse überlagert, die aus den Läuferpolen 15aa und 15ab auf einer Seite aus dem Läufer austreten, durch die Statorschienen 1 geleitet werden und auf der anderen Seite des Läufers wieder durch die Läuferpole 15ba und 15bb in diesen eintreten. Angenommen, die permanent erregten Flüsse treten aus einer Statorschiene 1 in die Läuferpole 15ab und 15bb des Läufers ein und über die Läuferpole 15aa und 15ba wieder aus dem Läufer aus, um in die andere Statorschiene 1 zu gelangen, und die elektrisch erregten Flüsse verlassen

über die Läuferpole 15aa und 15ab den Läufer, um über die Läuferpole 15aa und 15bb wieder zurückzukehren, so kommt es in den Läuferpolen 15ba und 15ab zu einer Flußkompensierung. In den Läuferpolen 15aa und 15bb würde eine positive Überlagerung, also eine Flußverstärkung zustandekommen. Die Flußbegrenzungseinrichtung 12 des Läuferpoles 15aa verhindert jedoch eine wesentliche Vergrößerung des Magnetflusses durch diesen Läuferpol. Der Fluß wird hauptsächlich über den Läuferpol 15ab mit abgeleitet. Dort kommt es nunmehr nicht nur zu einer Flußkompensation, sondern sogar zu einer Flußumkehr. Da die Richtung des Magnetflusses durch den verzahnten Läuferpol für die Kraftentstehung belanglos ist, ändert sich das Kraftverhalten des Läuferpoles 15ab nur unwesentlich. Die Kraftwirkung der Läuferpole 15aa und 15ba, die gleich verzahnt sind, nimmt insgesamt ab. Der Fluß und damit die Kraftwirkung des Läuferpoles 15bb erhöht sich jedoch wesentlich, so daß diese Kraft nunmehr die Resultierende bestimmt und der Läufer eine Stellung bezüglich des Stators einnimmt, in der die Zähne des Läuferpoles 15bb denen der Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen. Das Abdrängen des elektrisch erregten Magnetflusses aus dem Läuferpol 15aa in den Läuferpol 15ab kann dabei durch einen magnetischen Nebenschluß erleichtert werden, welcher die Statorschienen 1 verbindet. Dadurch werden die beschriebenen Wirkungen bereits bei einem geringeren Wicklungsstrom erzielt, so daß sich bei richtiger Bemessung der Wirkungsgrad des Linearschrittmotors erhöht. Ein solcher Nebenschluß muß allerdings bei der Dimensionierung der Stator-Permanentmagnete 4 mit berücksichtigt werden. Wird der Strom durch die Läuferwicklung 13 umgepolt, so kehrt auch der von ihr erzeugte Magnetfluß seine Richtung um. Die oben beschriebenen Erscheinungen treten in spiegelbildlicher Form auf. Da die Läuferpole 15aa und 15ba symmetrisch aufgebaut sind, bleibt ihre Gesamtwirkung in der beschriebenen Abschwächung bestehen. Im Läuferpol 15ab tritt jedoch nun die Flußverstärkung ein, die im vorigen Fall für den Läuferpol 15bb kennzeichnend war. Der Läufer nimmt demzufolge im Ergebnis der Stromumpolung eine Stellung bezüglich des Stators ein, in der die Zähne des Läuferpoles 15ab denen der Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen.

Die drei Positionen innerhalb einer Periode, die bekanntlich eine definierte Richtungsbewegung des Schrittmotorläufers gestatten, werden bei dem dieser Erfindung zugrunde liegenden Linearschrittmotor durch die Schaltzustände „Strom aus“ — „Positiver Strom“ „Negativer Strom“ der Läuferwicklung 13 bestimmt. Als von zusätzlicher Bedeutung erweist sich dabei der Schaltzustand „Strom aus“, in dem eine Haltekraft ohne elektrische Energiezufuhr erzeugt wird.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel besteht der Läufer des Linearschrittmotors, wie Fig. 2 zeigt, aus zwei Magnetsystemen, die jeweils eine Läuferwicklung 13 und vier Läuferpole 15aa, 15ab, 15ba, 15bb besitzen. Die Läuferpole 15aa und 15bb sind gleich verzahnt, die Läuferpole 15ab und 15ba ebenfalls, jedoch ist ihre Verzahnung um $\frac{1}{2}$ von der Verzahnung der Läuferpole 15aa bzw. 15bb versetzt. Das zweite Magnetsystem ist genau wie das erste aufgebaut und mit diesem starr, aber magnetisch entkoppelt verbunden. Die Verbindung kann durch nichtmagnetische Gehäuseteile oder Verguß- oder Klebmassen hergestellt werden. Beide Magnetsysteme sind in Längsrichtung der Statorschienen 1 hintereinander angeordnet. Zwischen den Läuferpolen 15aa, 15ab, 15ba, 15bb des ersten und den entsprechenden des zweiten Magnetsystems besteht dabei ein Versatz aller Verzahnungen um $\frac{1}{4}$. Stehen beispielsweise die Zähne der Läuferpole 15aa und 15bb den Zähnen der Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüber, so sind die Zähne der Läuferpole 15ab und 15ba um $\frac{1}{2}$ versetzt (d. h. sie stehen Zahn zu Lücke), während die Zähne der Läuferpole des zweiten Magnetsystems um $+\frac{1}{4}$ bzw. um $-\frac{1}{4}$ versetzt dazu stehen.

Bei dieser Anordnung sind vier Läuferstellungen möglich, in denen jeweils zwei Läuferpole den Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen. Diese beiden Läuferpole können dann über ein Leitstück 11 den vom Permanentmagnet 4 erzeugten Magnetfluß von einer Statorschiene 1 zur anderen leiten und damit den Magnetkreis schließen. Diese vier Läuferstellungen können durch entsprechende Beschaltung der Läuferwicklungen 13 erzwungen werden. Die Läuferwicklungen 13 werden dabei bipolar genutzt. Beispielgebend soll im folgenden das Erzwingen einer solchen Läuferstellung beschrieben werden. Im stromlosen Zustand treten Anteile des Magnetflusses aus einer Statorschiene 1 nahezu gleichverteilt in die vier ihr nahestehenden Läuferpole beider Magnetsysteme ein, um nach Passieren des Läufers über die anderen vier Läuferpole beider Magnetsysteme denselben wieder zu verlassen und in die andere Statorschiene 1 zurückzukehren. Es soll nun eine Läuferwicklung 13 so mit einem dosierten Strom beaufschlagt werden, daß ein zusätzlicher Magnetfluß erregt wird, der über die Läuferpole 15aa und 15ab des betreffenden Magnetsystems den Läufer verläßt und über die Läuferpole 15ba und 15bb nach Passieren der Statorschienen 1 wieder in das Magnetsystem des Läufers zurückkehrt. Teile des permanent und des elektrisch erregten Flusses überlagern sich in den einzelnen Läuferpolen 15aa, 15ab, 15ba, 15bb dieses Magnetsystems des Läufers. Im genannten Fall addieren sich die Teilflüsse in den Läuferpolen 15aa und 15bb im Sinne einer Verstärkung, während sich die Teilflüsse in den Läuferpolen 15ab und 15ba kompensieren. Der Wicklungsstrom und damit der erregte Magnetfluß seien so dimensioniert, daß sich die Flüsse in den letztgenannten Läuferpolen genau aufheben. Diese Läuferpole üben somit keine Fortbewegungskraft aus. Die Läuferpole 15aa und 15bb hingegen führen nunmehr den doppelten Magnetfluß und bestimmen so die resultierende Kraft aller Läuferpole zu ihren Gunsten. Die Kräfte der vier Läuferpole des nicht bestromten Magnetsystems heben sich im wesentlichen auf und leisten keinen nennenswerten Beitrag. Der Läufer wird also eine Stellung bezüglich des Stators einnehmen, in der die Zähne der Läuferpole 15aa und 15bb des bestromten Magnetsystems der Stator-Verzahnung 5 der Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen.

Durch Umpolen des Stromes wird eine Läuferstellung erzielt, in der die Pole 15ab und 15ba den Statorschienen 1 Zahn zu Zahn gegenüberstehen. Durch Beschalten der Wicklung 13 des zweiten Magnetsystems des Läufers können zwei weitere Stellungen angefahren werden, so daß vier sogenannte konstruktive Läuferstellungen innerhalb einer Teilung T realisierbar sind. Werden die Spulenbeschaltungen miteinander kombiniert, so ergeben sich entsprechende Zwischenstellungen, die als acht sogenannte elektrische Schritte pro Teilung T bezeichnet werden.

Es ist ebenso möglich, nicht zwei, sondern drei der in Fig. 2 gezeigten Läufer-Magnetsysteme zu einem Läufer zusammenzustellen. Bei entsprechend veränderten Versatz der Verzahnungen der Läuferpole dieser Läufer-Magnetsysteme zueinander sind dann durch Beschaltungen der drei Wicklungen 13 sechs konstruktive bzw. zwölf elektrische Schritte pro Teilung T realisierbar.

Das dritte Ausführungsbeispiel wird anhand Fig. 3 erläutert. Bei diesem enthält der Läufer drei Läuferpole 15c, 15d, 15e. Ein Läuferpol 15c ist mit seiner Verzahnung der einen Statorschiene 1 gegenüber angeordnet, während die anderen beiden Läuferpole 15d und 15e sich gegenüber der anderen Statorschiene 1 befinden. Alle drei Läuferpole 15c, 15d, 15e sind verzahnt, wobei ihre Verzahnungen untereinander einen Versatz von jeweils $\frac{1}{3}$ aufweisen. Die Läuferpole 15c und 15d sind durch ein ferromagnetisches Leitstück 11 miteinander verbunden, ebenso die Läuferpole 15c und 15e. Der Querschnitt der Leitstücke 11 ist

so bemessen, daß sie nur einen bestimmten Magnetfluß leiten können und darüber hinaus flußbegrenzend wirken. Beide Leitstücke 11 sind je mit einer Läuferwicklung 13 umwickelt. Diese zwei Wicklungen können getrennt betrieben, aber auch miteinander verschaltet werden. Im Falle ihrer Verschaltung entsteht ein Linearschrittmotor, der nur eine einzige elektrische Wicklung besitzt, wodurch sich der Ansteueraufwand verringert und Zuleitungen entfallen können. Hier soll bei der Erläuterung der Funktion davon ausgegangen werden, daß beide Wicklungen zu einer Läuferwicklung 13 zusammengeschaltet sind.

Der Läufer schließt über seine Läuferpole 15c, 15d, 15e und über seine Leitstücke 11 den Magnetkreis des permanentmagnetischen Stators. Tritt der Magnetfluß aus einer Statorschiene 1 in den Läuferpol 15c über, so teilt er sich dort auf beide Leitstücke 11 auf und gelangt über die Läuferpole 15d und 15e in die andere Statorschiene 1. Infolge des symmetrischen Aufbaues teilt sich der Fluß gleichmäßig auf beide Läuferpole 15d, 15e auf. Da die Läuferpole 15d und 15e nur halb so viel Magnetfluß führen wie der Läuferpol 15c, stellt sich ein Kraftübergewicht zugunsten des Läuferpols 15c ein, so daß im stromlosen Zustand der Läufer eine Position einnimmt, in der die Zähne des Läuferpols 15c der Stator-Verzahnung 5 Zahn zu Zahn gegenüberstehen.

Wird nun die Läuferwicklung 13 mit Strom beaufschlagt, so treibt sie über ihre beiden zusammengeschalteten Teilwicklungen, welche die beiden Leitstücke 11 umgeben, einen Magnetfluß an, der angenommen aus dem Läuferpol 15d in die Statorschiene 1 übertritt und über den Läuferpol 15e in den Läufer zurückkehrt. Er soll so stark sein, daß der permanenterreichte Fluß im Läuferpol 15e bis zur vollen Richtungsumkehr überlagert wird. In diesem Fall würde im Läuferpol 15d durch gleichsinnige Überlagerung der Magnetfluß verdreifacht. Die Leitstücke 11 sollen jedoch so ausgelegt sein, daß der dreifache Fluß nicht möglich ist, sondern nur der doppelte. Ein Teil des Flusses wird somit in den Läuferpol 15c abgedrängt, wo es zu einer teilweisen Kompensierung des permanenterreichten Magnetflusses kommt. Im Ergebnis führt nun der Läuferpol 15c nur noch halbsoviel Fluß wie vorher, der Fluß durch den Läuferpol 15d hat sich verdoppelt, und der Fluß durch den Läuferpol 15e hat seine Richtung geändert, seinen Betrag aber beibehalten. Somit ist jetzt der Läuferpol 15d doppelt so stark wie die Läuferpole 15c und 15e, so daß der Läufer eine Position bezieht, in der die Zähne des Läuferpols 15d der Stator-Verzahnung 5 Zahn zu Zahn gegenüberstehen.

Das Ableiten eines Teiles des elektrisch erregten Magnetflusses aus dem Läuferpol 15d in den Läuferpol 15c kann dabei durch einen magnetischen Nebenschluß erleichtert werden, welcher die Statorschienen 1 verbindet. Die beschriebene Wirkung wird dadurch bereits bei einem geringeren Wicklungsstrom erzielt, so daß sich bei richtiger Bemessung der Wirkungsgrad des Linearschrittmotors erhöht. Ein solcher Nebenschluß muß allerdings auch bei dieser Ausführung bei der Dimensionierung der Stator-Permanente 4 mit berücksichtigt werden. Wird der Wicklungsstrom umgepolt, so stellen sich analoge Verhältnisse ein, nur daß infolge des symmetrischen Aufbaus die für Läuferpol 15d beschriebenen Erscheinungen für Läuferpol 15e gelten und umgekehrt. Am Läuferpol 15c tritt die gleiche Wirkung ein. Der Läufer bezieht eine Stellung, in der die Zähne des Läuferpols 15e nun der Stator-Verzahnung 5 Zahn zu Zahn gegenüberstehen.

Werden die beiden Teile der Läuferwicklung 13 nicht zusammengeschaltet, sondern getrennt beschrieben, so kann auf die Manipulation des Magnetflusses mittels der Querschnitte der Leitstücke 11 verzichtet werden, indem die Einzelwicklungen, die die Leitstücke 11 umgeben, mit unterschiedlichen Strömen beschaltet werden.

Das wird auch erreicht, wenn einzelne Wicklungsteile über im Läufer untergebrachte Halbleiterdioden stromrichtungsabhängig hinzu- oder abgeschaltet werden. Auf diese Weise werden die Wicklungen der Leitstücke 11 stromrichtungsabhängig mit unterschiedlichen Amperewindungen versehen, wobei der Vorzug erhalten bleibt, daß die Läuferwicklung 13 nach außen hin als eine einzige Wicklung zu betrachten ist, und die damit verbundenen, bereits genannten Vereinfachungen erzielt werden.

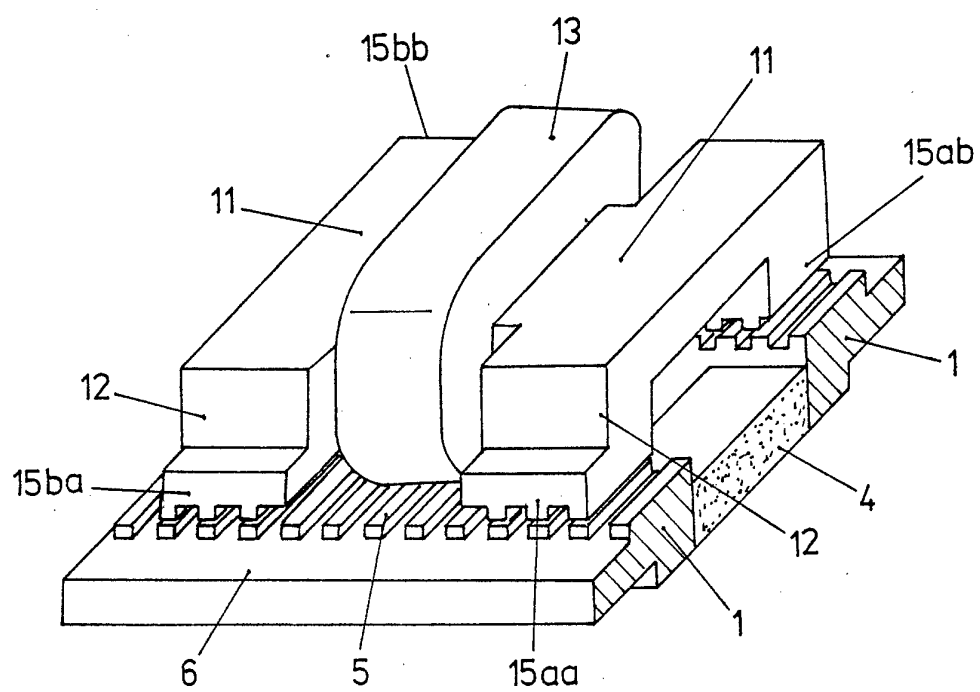


Fig. 1

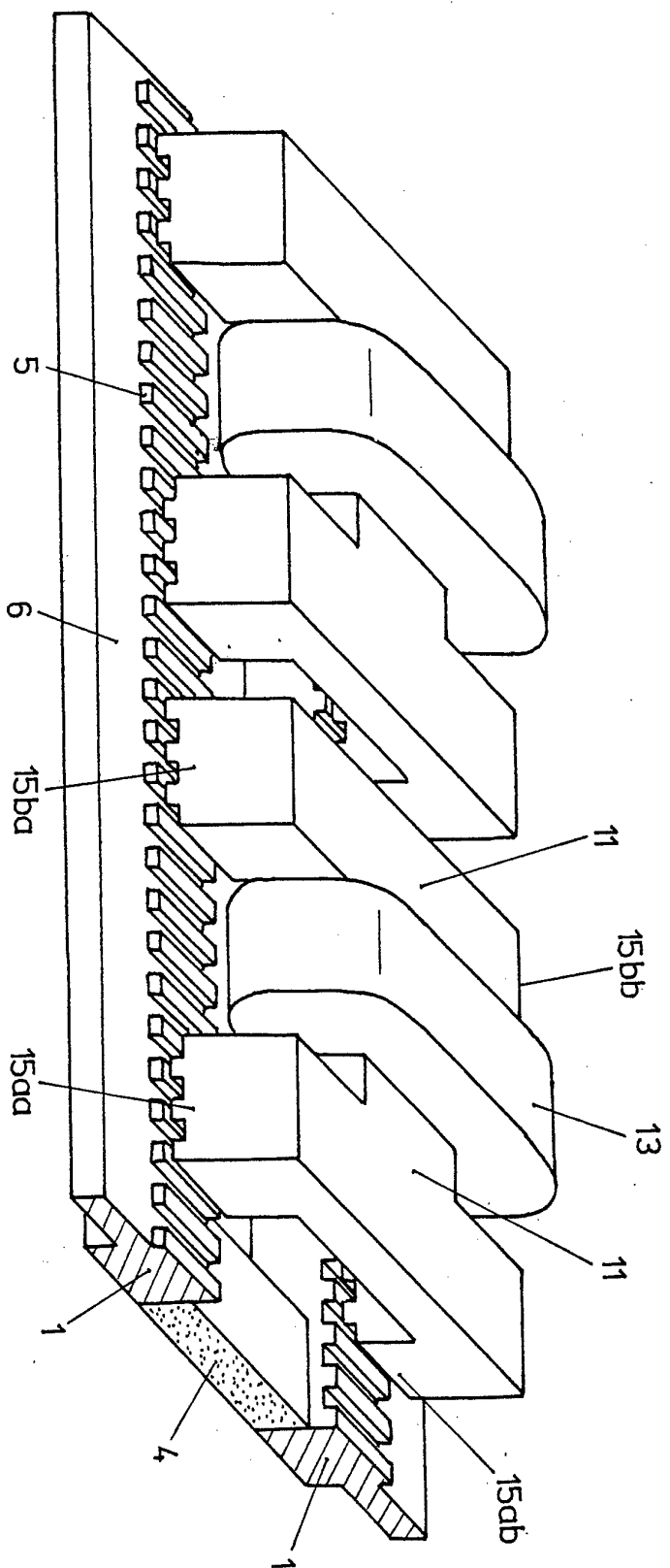


Fig. 2

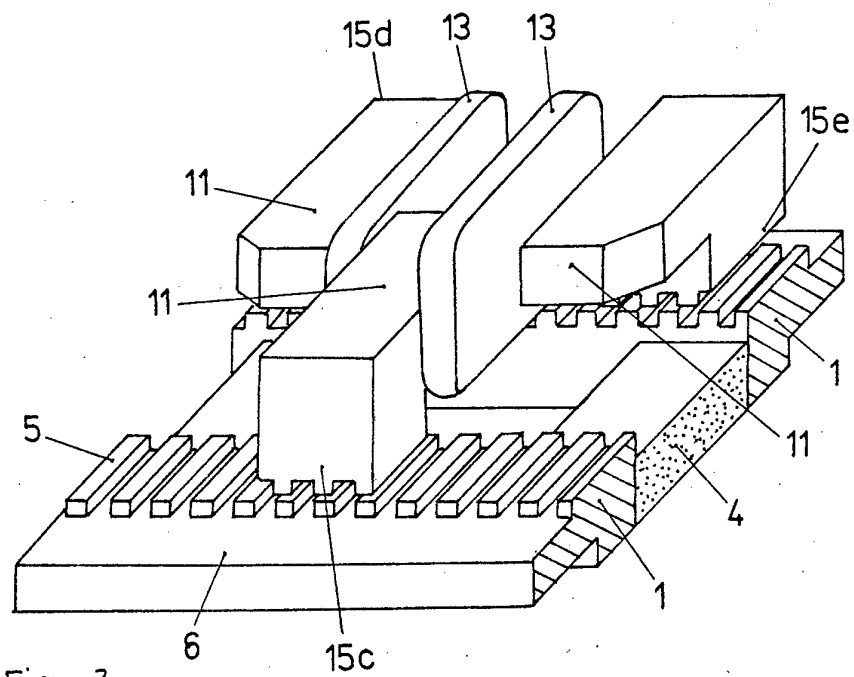


Fig. 3

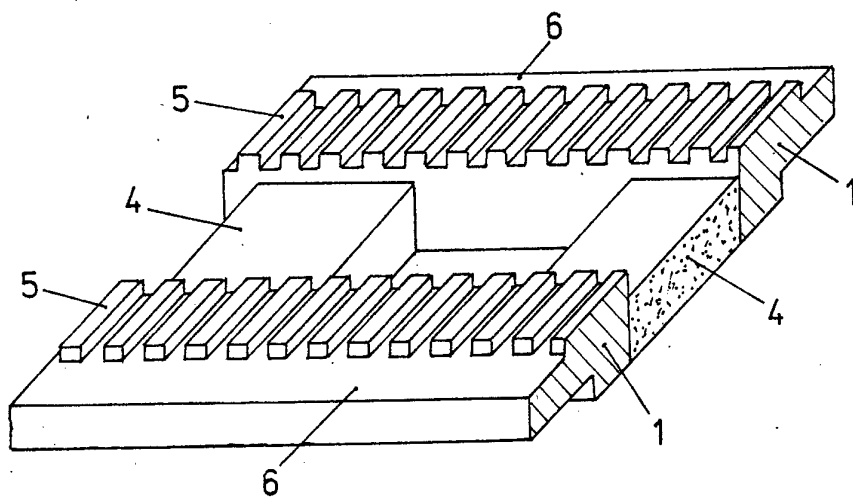


Fig. 4

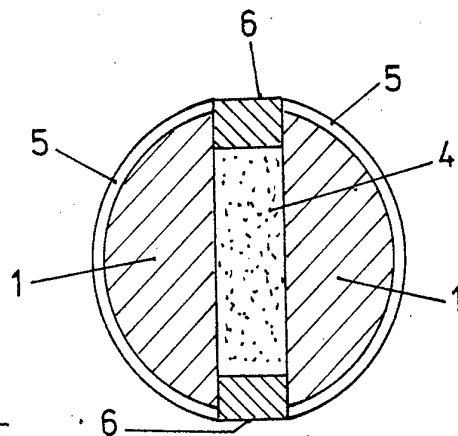


Fig. 5