



⑫ AUSLEGESCHRIFT A3

⑪ 616 051 G

⑲ Gesuchsnummer: 331/76

⑳ Anmeldungsdatum: 13.01.1976

㉓ Priorität(en): 25.09.1975 JP 50-114897

㉔ Gesuch bekanntgemacht: 14.03.1980

㉖ Auslegeschrift veröffentlicht: 14.03.1980

㉗ Patentbewerber:
Citizen Watch Company, Limited,
Shinjuku-ku/Tokyo (JP)

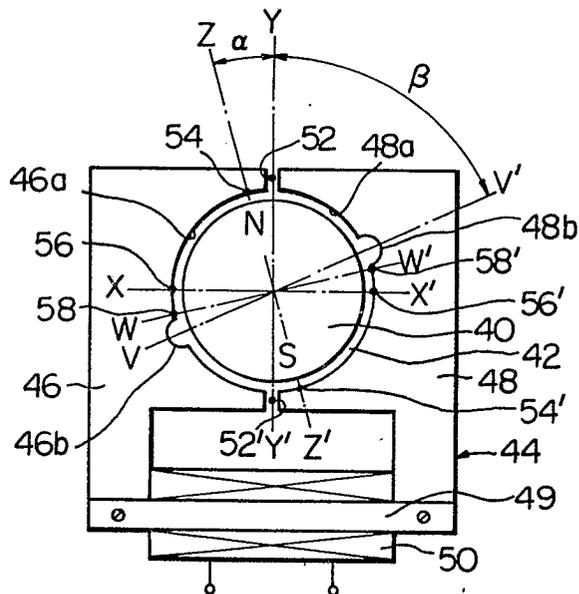
㉘ Erfinder:
Fumio Nakajima, Tokyo (JP)
Takayasu Machida, Iruma-shi/Saitama-ken (JP)
Kenji Yamada, Koganei-shi/Tokyo (JP)

㉚ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

㉛ Recherchenbericht siehe Rückseite

⑤④ Schrittmotor.

⑤⑦ Der Schrittmotor weist Statorpolstücke (46,48) mit nach innen gerundeten Randpartien (46a,48a) auf, die durch Luftspalten (52,52') voneinander getrennt sind. Die Statorstücke sind mit Abschnitten (46b,48b) versehen, die an den Randpartien entlang einer Achse (V,V'), welche mit einer Mittellinie zwischen den Statorpolstücken einen Winkel von 60° einschliesst, angeordnet sind, um eine Achse (Z,Z') statischen Gleichgewichts in einem Winkel von 30° bezüglich der Mittellinie zwischen den Luftspalten (52,52') zu bilden. Die Statorpolstücke sind durch eine um ein magnetisch leitendes Organ (49) gewickelte Antriebsspule (50) magnetisch verbunden. Ferner ist ein Permanentmagnetrotor (40) vorgesehen, der im Raum zwischen den Statorpolstücken angeordnet ist. An die Antriebsspule (50) ist eine Treiberschaltung angeschlossen, die ein an eine Taktimpulsquelle angeschlossenes Gatter enthält, um abwechselnd Zweiphasenimpulse an die Antriebsspule anzulegen, um die Statorpolstücke abwechselnd mit einer Nord- und Südpolarität so zu erregen, dass der Permanentmagnetrotor (40) in einer normalen Drehrichtung dreht. Ferner ist eine Schaltung vorgesehen, um der an der Antriebsspule anliegenden Speisefolge der Zweiphasenimpulse zu wechseln, so dass der Permanentmagnetrotor in der Gegenrichtung dreht.



PATENTANSPRUCH

Schrittmotor für einen elektronischen Zeitmesser, bestehend aus Statorpolstücken (46, 48) mit nach innen gerundeten Randpartien (46a, 48a), die durch Luftspalte (52, 52') voneinander getrennt sind, wobei die Statorpolstücke Abschnitte (46b, 48b) aufweisen, die an den gerundeten Randpartien entlang einer Achse ($V-V'$), welche mit einer Mittellinie ($Y-Y'$) der genannten Luftspalte (52, 52') zwischen den Statorpolstücken einen Winkel von 60° einschliesst, vorgesehen sind, um eine Achse ($Z-Z'$) statischen Gleichgewichts in einem Winkel von 30° bezüglich der Mittellinie ($Y-Y'$) zwischen den Luftspalten (52, 52') zu schaffen und wobei die Statorpolstücke durch ein magnetisch leitendes Organ (49), um das eine Antriebsspule (50) gewickelt ist, miteinander magnetisch verbunden sind, und aus einem Permanentmagnetrotor (40), der in einem zwischen den gerundeten Randabschnitten der Statorpolstücke bestimmten Raum angeordnet ist und in radialer Richtung einen Nord- und Südpol hat, gekennzeichnet durch eine Treiberschaltung (66), die an die Antriebsspule (50) angeschlossen ist und Gatter (70, 72) enthält, welche an eine Taktimpulsquelle (60) angeschlossen sind, um abwechselnd Zweiphasenimpulse an die Antriebsspule (50) anzulegen, um die genannten Statorpolstücke abwechselnd mit einer Nord- und Südpolarität so zu erregen, dass der genannte Permanentmagnetrotor in einer normalen Drehrichtung dreht, und durch einen Schaltkreis (74, 76, 78, 88, 90), der an einen Schalter (86) angeschlossen und auf ein vom Schalter (86) abgegebenes Schaltsignal anspricht, um durch die Gatter (70, 72) die Speisefolge der Zweiphasenimpulse, die an die Antriebsspule (50) innerhalb eines vorbestimmten Zeitraumes angelegt sind, zu wechseln, derart, dass der Permanentmagnetrotor (40) in der Gegenrichtung dreht.

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Schrittmotor für einen elektronischen Zeitmesser bestehend aus Statorpolstücken mit nach innen gerundeten Randpartien, die durch Luftspalte voneinander getrennt sind, wobei die Statorpolstücke Abschnitte aufweisen, die an den gerundeten Randpartien entlang einer Achse, welche mit einer Mittellinie der genannten Luftspalte zwischen den Statorpolstücken einen Winkel von 60° einschliesst, vorgesehen sind, um eine Achse statischen Gleichgewichts in einem Winkel von 30° bezüglich der Mittellinie zwischen den Luftspalten zu schaffen und wobei die Statorpolstücke durch ein magnetisch leitendes Organ, um das eine Antriebsspule gewickelt ist, miteinander magnetisch verbunden sind, und aus einem Permanentmagnetrotor, der in einem zwischen den gerundeten Randabschnitten der Statorpolstücke bestimmten Raum angeordnet ist und in radialer Richtung einen Nord- und Südpol hat.

Bekanntlich finden Schrittmotoren infolge der Einführung der digitalen Impulstechnik vermehrte industrielle Anwendung. Ein typisches Anwendungsgebiet sind die elektronischen Zeitmesser mit elektromechanischen Uhrwerken, die durch Schrittmotoren angetrieben werden. Solche Motoren drehen nur in einer Richtung und drehen typischerweise um 180° pro Eingangsimpuls. Der Schrittmotor umfasst gewöhnlich einen Rotor und einen Stator, der mit einer Antriebsspule versehen ist.

Der Stator hat zwei Polstücke, die bezüglich einer zentralen Achse zwischen den Polstücken gegeneinander versetzt sind. Mit dieser Anordnung ist es schwierig, die Statorpolstücke zusammenzubauen, so dass eine stabile Betriebsweise des Rotors gewährleistet ist.

Es sind verschiedene Arten von reversiblen Schrittmotoren für elektronische Zeitmesser vorgeschlagen worden. Jeder dieser Schrittmotoren ist gewöhnlich mit mehr als drei Statorpolstücken und zwei Antriebsspulen versehen, was eine grössere Konstruktion bedingt. Solche Schrittmotoren sind demzufolge nicht für elektronische Zeitmesser geeignet, in denen nur ein kleiner Raum für den Schrittmotor vorhanden ist. Da diese Schrittmotoren weiter durch vierphasige Impulse angetrieben werden, ist eine komplizierte Treiberschaltung erforderlich.

Bei einer anderen Ausführungsform sind die Statorpolstücke einstückig ausgebildet und durch Stanzen geformt. Das bedingt ein kompliziertes Stanzwerkzeug für die einzelnen Statorpolstücke. Zusätzlich kann der Schrittmotor dieser Art nicht in Gegenrichtung gedreht werden, und zwar als Folge seiner Konstruktion.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift Nr. 2 509 883 ist ein Schrittmotor für eine elektronische Uhr bekannt bei dem die Statorpolstücke Einkerbungen haben, die an den inneren gerundeten Randbereichen der Statorpolstücke entsprechend ausgebildet sind. Die Statorpolstücke sind hier einstückig ausgebildet, und es ist kein Luftspalt vorhanden.

Da die Statorpolstücke einstückig ausgebildet sind und somit keine Luftspalte vorhanden sind, ist eine grössere Zeitspanne erforderlich, bis der Magnetfluss, der durch die Antriebsspule erzeugt wird, in den Verbindungsteilen die Sättigung erreicht. Der Magnetfluss in den Verbindungsteilen ist schwach und unzureichend, so dass ein ausreichender Drehmomentwert nicht erreicht werden kann. Die Anlassbereitschaft ist somit gering. Ferner sollten die Verbindungsteile mit einer Dicke d kleiner als 200 Mikron hergestellt werden, was schwierig herzustellen ist.

Zweck der Erfindung ist es, die angegebenen Nachteile zu beheben.

Es stellt sich die Aufgabe, einen Schrittmotor der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem ein ausreichendes Anlaufmoment sofort erzielt werden kann, um den Schrittmotor schnell anlaufen zu lassen und durch einen Wechsel der Speisefolge der Zweiphasenimpulse für die Antriebsspule eine normale und entgegengesetzte Drehrichtung des Schrittmotors erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit dem Kennzeichen des Anspruchs gelöst.

Der Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Statorpolstücke zwei Teile sind, zwischen denen durchgehende Luftspalte liegen, so dass, wenn die Treiberimpulse an die Antriebsspule angelegt sind, das Anlaufmoment am Rotor sofort auftritt und den Schnellanlauf des Rotors ermöglicht.

Ein Schrittmotor dieser Art ist aus der französischen Auslegeschrift 2 225 869 bekannt. Bei diesem Schrittmotor sind die Ränder der Statorpolstücke neben den oberen Luftspalten so ausgebildet, dass ein Winkel α vorgesehen wird, um dadurch einen statischen Gleichgewichtspunkt für einen Rotor zu schaffen.

Der Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt demgegenüber darin, dass der Rotor mit Statorpolstücken zusammengesetzt ist, die Einkerbungen haben, welche an den gerundeten Randpartien entlang einer Achse, welche mit einer Mittellinie der Luftspalte zwischen den Statorpolstücken einen Winkel von 60° einschliesst, ausgebildet sind. Dadurch wird eine einfache Ausführung erhalten, bei der es möglich ist, durch Wechseln der Speisefolge der an der Antriebsspule angelegten Impulse den Schrittmotor in entgegengesetzter Richtung zu drehen.

Im folgenden werden anhand der Zeichnung Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstandes näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Schrittmotor für elektronische Zeitmesser bekannter Bauart,

Fig. 2 eine weitere Ausführungsform eines bekannten Schrittmotors für elektronische Zeitmesser,

Fig. 3 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel eines Schrittmotors gemäss der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4A bis 4C die Wirkungsweise des Schrittmotors gemäss Fig. 3,

Fig. 5A bis 5C in zu den Fig. 4A bis 4C analoger Darstellung eine weitere Wirkungsweise des Schrittmotors gemäss Fig. 3,

Fig. 6 ein Blockdiagramm eines elektrischen Schaltkreises für einen elektronischen Zeitmesser mit einem Treiberschaltkreis für den Schrittmotor gemäss Fig. 3,

Fig. 7 ein detailliertes Schaltdiagramm eines Beispiels einer Treiberschaltung gemäss Fig. 6,

Fig. 8 und 9 Impulsdigramme von verschiedenen Impulsen, die in der Treiberschaltung gemäss Fig. 7 erzeugt werden,

Fig. 10A ein Diagramm, das den vom Schrittmotor gemäss Fig. 3 in Vorwärtsdrehrichtung des Rotors verbrauchten elektrischen Strom zeigt,

Fig. 10B ein Diagramm, das die Änderungen im Drehwinkel des Rotors, welcher durch den elektrischen Strom gemäss Fig. 10A gedreht wird, zeigt,

Fig. 11A in zur Fig. 10A analoger Darstellung den Stromverbrauch des Schrittmotors gemäss Fig. 3 während Rückwärtsdrehrichtung des Rotors,

Fig. 11B in zur Fig. 10B analoger Darstellung die Änderungen des Drehwinkels des Rotors, welcher durch den elektrischen Strom gemäss Fig. 11A gedreht wird,

Fig. 12 ein Drehmomentdiagramm, das die Wirkungsweise des Schrittmotors gemäss Fig. 3 in Vorwärtsdrehrichtung zeigt,

Fig. 13 in zur Fig. 12 analoger Darstellung ein Drehmomentdiagramm in Rückwärtsdrehrichtung des Rotors,

Fig. 14 schematisch eine abgeänderte Ausführungsform des Schrittmotors gemäss Fig. 3,

Fig. 15 schematisch eine weitere abgeänderte Ausführungsform des Schrittmotors gemäss Fig. 3, und

Fig. 16 schematisch eine andere abgeänderte Ausführungsform des Schrittmotors gemäss Fig. 3.

In Fig. 1 ist schematisch ein Beispiel eines Schrittmotors bekannter Bauart gezeigt, wie er für elektronische Zeitmesser verwendet wird. Wie gezeigt, weist der Schrittmotor einen Permanentmagnetrotor 10 und einen Stator 12 auf, der zwei Statorpolstücke 14 und 16 hat, die durch eine Antriebsspule 18 erregt werden. Diese Statorpolstücke 14 und 16 sind so angeordnet, dass die Zentren der Krümmungsradien um den Abstand Δt versetzt sind, so dass der Rotor 10 in einer Achse A-A' des statischen Gleichgewichtes stabil sein kann. Der Rotor wird demzufolge in einer Richtung in Drehung versetzt durch Anlegen von alternierenden Stromimpulsen an die Antriebsspule 18. Eine Drehung in der Gegenrichtung ist nicht möglich. Ein anderer Nachteil dieses bekannten Schrittmotors liegt darin, dass es schwierig ist, die Statorpolstücke genau zusammenzubauen.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel eines herkömmlichen reversiblen Schrittmotors. Wie gezeigt, weist der reversible Schrittmotor einen Rotor 20 und einen Stator 22 auf. Der Stator 22 hat vier Statorpolstücke 30 und 32, die sich teilweise überlappen und mittels Schrauben 34 magnetisch miteinander verbunden sind. Jedes Polstück wird durch eine Antriebsspule 36 erregt, die um einen Teil des Polstückes gewickelt ist. Diese Konstruktion erlaubt ein Drehen des Rotors 20 in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung, und zwar durch Anlegen von vierphasigen Impulsen an die Antriebsspulen 36. Dieser Schrittmotor ist daher nicht für den Gebrauch in einem elektronischen Zeitmesser, z. B. einer Armbanduhr, geeignet, da in solchen Zeit-

messern nur ein kleiner Raum für den Einbau des Schrittmotors vorhanden ist.

Die vorliegende Erfindung sieht nun die Schaffung eines verbesserten Schrittmotors vor, der von einfacher Konstruktion und leicht herzustellen ist. Eine bevorzugte Ausführungsform eines Schrittmotors zum Erreichen des obigen Zieles ist in Fig. 3 dargestellt. Wie in dieser Figur gezeigt, weist der Schrittmotor einen Permanentmagnetrotor 40 auf, der drehbar in einem Luftspalt 42, der im Stator 44 vorgesehen ist, angeordnet ist. Der Stator 44 weist Statorpolstücke 46 und 48 auf, die mittels eines magnetisch leitenden, länglichen Organs 49 magnetisch miteinander verbunden sind. Um das magnetisch leitende, längliche Organ 49 ist eine Antriebsspule 50 gewickelt, die auf noch zu beschreibende Weise gespeist wird. Die Statorpolstücke 46 und 48 haben nach innen gerundete Randpartien 46a und 48a, die symmetrisch sind bezüglich der Mittellinie Y-Y' von Luftspalten 52 und 52' zwischen den Statorpolstücken 46 und 48. Gemäss einem wesentlichen Aspekt der vorliegenden Erfindung weisen die Statorpolstücke 20 Abschnitte auf mit maximaler Kraftflussreluktanz in einer Achse, die mit der Mittellinie Y-Y' der Luftspalte 52, 52' einen Winkel zwischen 60 und 90° einschliesst. Die Achse statischen Gleichgewichtes für den Rotor ist in einem Winkel zwischen 0 und 30° angeordnet. Als Folge davon liegt die 25 Phasendifferenz zwischen dem Antriebsdrehmoment und der Anziehungskraft, die an den Rotor angelegt wird, in einem Bereich zwischen 60 und 90° (elektrischer Winkel) in normaler Drehrichtung des Rotors und in einem Bereich von 90 bis 120° (elektrischer Winkel) in entgegengesetzter Drehrichtung des Rotors. Die Statorpolstücke 46 und 48 weisen Einkerbungen 46b und 48b auf, die auf einer Achse V-V' liegen, die mit der Mittellinie Y-Y' einen bestimmten Winkel β von etwa 60 bis 90° einschliesst. Mit dieser Anordnung ist der Rotor 40 statisch in einer Achse Z-Z' des statischen 35 Gleichgewichtes, die mit der Mittellinie Y-Y' einen Winkel α von etwa 0 bis 30° einschliesst. Auf dieser Achse Z-Z' liegen die statischen Gleichgewichtspunkte 54 und 54', die an den Statorpolstücken 46 und 48 vorgesehen sind.

Fig. 6 zeigt ein Blockdiagramm eines elektronischen Zeitmessers mit einem Quarzkristalloszillator, welcher einen Schrittmotor der vorliegenden Erfindung aufweist. Der elektronische Zeitmesser umfasst eine Frequenznormale 60 mit einem nicht gezeigten Quarzkristall, einen Frequenzteiler 62, eine Wellenformschaltung 64 und eine Treiberschaltung 66, 45 die mit einem Steuerschalter 68 und der Antriebsspule 50 des Schrittmotors verbunden ist. Wie in Fig. 7 gezeigt, weist die Treiberschaltung 66 erste und zweite NAND-Tore 70 und 72 auf. Das erste NAND-Tor 70 erhält an seinem Eingang einen Taktimpuls Φ_1 , der von der Wellenformschaltung 64 herrührt, 50 welche ebenfalls einen Taktimpuls Φ_2 erzeugt, der an eine Eingangsklemme des zweiten NAND-Tores 72 angelegt wird. Ausgang f des NAND-Tores 70 ist mit der Rückstellklemme eines ersten Flip-Flops 74 und einer Setzklemme eines zweiten Flip-Flops 76 über ein OR-Tor 78 verbunden. Der Ausgang g des zweiten NAND-Tores 72 ist mit einer Setzeingangsklemme des ersten Flip-Flops 74 und über das OR-Tor 78 mit der Setzeingangsklemme des zweiten Flip-Flops 76 verbunden. Eine Rückstelleingangsklemme des zweiten Flip-Flops 76 ist mit dem Steuerschalter 68 verbunden. Dieser 60 Steuerschalter 68 weist einen stationären Kontakt 80, der mit der positiven Klemme 82 einer Speisequelle verbunden ist, einen stationären Kontakt 84, der mit der geerdeten Klemme der Speisequelle verbunden ist, und einen beweglichen Kontaktarm 86 auf, der entweder mit dem einen oder dem anderen der stationären Kontakte 80 und 84 in Berührung gebracht werden kann. Der Ausgang b der «F»-Seite des ersten Flip-Flops 74 ist mit einer Eingangsklemme eines dritten NAND-Tores 88 verbunden. Der Ausgang a der «F»-Seite

des zweiten Flip-Flops 76 ist mit einer andern Eingangsklemme des dritten NAND-Tores 88 und einer Eingangsklemme eines vierten NAND-Tores 90 verbunden. Die Ausgangsklemme c der «F»-Seite des ersten Flip-Flops 74 ist mit einer andern Eingangsklemme des vierten NAND-Tores 90 verbunden. Die Ausgangsklemme d des dritten NAND-Tores 88 ist an eine andere Eingangsklemme des ersten NAND-Tores 70 angeschlossen. Die Ausgangsklemme e des vierten NAND-Tores 90 ist mit einer andern Eingangsklemme des zweiten NAND-Tores 72 verbunden. Der Ausgang f des ersten NAND-Tores 70 ist ebenfalls an eine Invertierverstärkerschaltung 92 angeschlossen, die mit der Antriebsspule 50 des Schrittmotors verbunden ist. An diese Antriebsspule 50 ist weiter der Ausgang g des zweiten NAND-Tores 72 angeschlossen, und zwar über einen Invertierverstärker 94.

Normalerweise ist der bewegliche Kontaktarm 86 des Steuerschalters 68 in Kontakt mit dem stationären Kontakt 80, der mit der positiven Klemme 82 einer Speisequelle verbunden ist. Unter diesen Umständen ist der Ausgang a des zweiten Flip-Flops 76 tief, und die Ausgänge d und e des dritten und vierten NAND-Tores 88 und 90 sind hoch. In diesem Zeitpunkt werden die Ausgangssignale f und g des ersten und zweiten NAND-Tores 70 und 72 abwechselungsweise an die Antriebsspule 50 des Schrittmotors angelegt, der dadurch gedreht wird in seiner normalen Drehrichtung, und zwar auf eine noch zu beschreibende Weise.

Wird im Gegensatz dazu der Kontaktarm 86 in Kontakt mit dem stationären Kontakt 84, der mit der geerdeten Klemme der Speisequelle verbunden ist, in einem Zeitpunkt t_1 gebracht, so wird der Ausgang a des zweiten Flip-Flops 76 hoch, wie das in Fig. 8 gezeigt ist. Da in diesem Zeitpunkt der Ausgang b des ersten Flip-Flops 74 in Abhängigkeit vom Eingangsimpuls Φ_2 , der vor dem Zeitpunkt t_1 angelegt worden ist, hoch ist, wird der Ausgang d des dritten NAND-Tores 88 tief, wodurch das erste NAND-Tor 70 gesperrt wird. Da andererseits der Ausgang c des ersten Flip-Flops 74 tief ist, ist der Ausgang e des NAND-Tores 90 hoch. Dadurch wird der Taktimpuls Φ_2 durch das zweite NAND-Tor 72 geleitet und dabei invertiert. Der zweite Flip-Flop 76 wird rückgestellt in Abhängigkeit vom invertierten Impuls Φ_2 und der Ausgang a des zweiten Flip-Flops 76 wird tief. Dadurch wird der Ausgang d des dritten NAND-Tores 88 hoch, so dass der Taktimpuls Φ_1 durch das erste NAND-Tor 70 geleitet wird. Wenn also der Steuerschalter mit der geerdeten Seite der Speisequelle im Zeitpunkt t_1 verbunden wird, so wird der Treiberimpuls Φ_2 nacheinander an die Antriebsspule 50 des Schrittmotors angelegt, und zwar in einem vorbestimmten Zeitintervall, wie das im Impulsdiagramm g in Fig. 8 dargestellt ist. Hernach werden die Treiberimpulse Φ_1 und Φ_2 abwechselungsweise an die Antriebsspule 50 angelegt, wodurch der Rotor auf noch zu beschreibende Weise in der Gegenrichtung gedreht wird. Wird, wie in Fig. 9 gezeigt, der Kontaktarm 86 im Zeitpunkt t_2 in Kontakt mit dem stationären Kontakt 84 gebracht, so wird der Ausgang a des zweiten Flip-Flops 76 hoch. Da zur gleichen Zeit der Ausgang c des ersten Flip-Flops 74 in Abhängigkeit vom Ausgangssignal f des ersten NAND-Tores 70, das vor dem Zeitpunkt t_2 an den ersten Flip-Flop 74 angelegt worden ist, hoch ist, so ist der Ausgang e des vierten NAND-Tores 90 tief und das zweite NAND-Tor 72 ist gesperrt, wie das im Impulsdiagramm g der Fig. 9 gezeigt ist. Da andererseits der Ausgang b des ersten Flip-Flops 74 tief ist, so ist der Ausgang d des dritten NAND-Tores 88 hoch, so dass der Taktimpuls Φ_1 durch das erste NAND-Tor 70 geleitet wird. Der Ausgang des ersten NAND-Tores 70 wird durch die Wellenform f in Fig. 9 dargestellt. Der zweite Flip-Flop 76 wird in Abhängigkeit vom Ausgang f des ersten NAND-Tores 70 zurückgestellt und der Ausgang a ist tief, wodurch der Taktimpuls Φ_2 durch das zweite NAND-Tor hindurchgeleitet wird. Daher wird der

Treiberimpuls Φ_1 nacheinander an die Antriebsspule 50 des Schrittmotors angelegt, und zwar innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls, wie das in Fig. 9 (Wellendiagramm f) gezeigt ist. Anschließend werden abwechselungsweise die Treiberimpulse Φ_1 und Φ_2 an die Antriebsspule 50 angelegt, wodurch der Rotor, der in der Gegenrichtung gedreht hat, in der normalen Drehrichtung angetrieben wird, wie das später noch im Detail beschrieben werden wird.

Fig. 10A zeigt eine graphische Darstellung des vom Schrittmotor während seiner normalen Drehrichtung benötigten elektrischen Stromes. Fig. 10B zeigt eine Kurve des Drehwinkels des Rotors des Schrittmotors, wenn der in Fig. 10A gezeigte elektrische Strom dem Motor zugeführt wird.

Fig. 11A zeigt eine graphische Darstellung des elektrischen Stromes, der vom Schrittmotor während seiner Rückwärtsdrehrichtung gebraucht wird. Fig. 11B zeigt den Drehwinkel des Rotors des Schrittmotors, wenn dieser mit dem in der Fig. 11A dargestellten elektrischen Strom gespeist wird.

Fig. 12 zeigt das Drehmoment in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Rotors des sich in normaler Drehrichtung drehenden Schrittmotors. In Fig. 12 entspricht die Kurve P_1 einem Antriebsdrehmoment und die Kurve T_1 entspricht einer Anziehungskraft, die an den Rotor des Schrittmotors angelegt wird.

Fig. 13 zeigt das Drehmoment in Abhängigkeit des Drehwinkels des Rotors des sich in Rückwärtsdrehrichtung drehenden Schrittmotors. In Fig. 13 stellt die Kurve P_2 ein Antriebsdrehmoment dar, während die Kurve T_2 eine Anziehungskraft darstellt, die an den Rotor des Schrittmotors angelegt wird.

Normalerweise wird die Bewegungsgleichung des reversiblen Schrittmotors mit einem Permanentmagnetrotor wie folgt dargestellt:

$$J \cdot \frac{d^2\theta}{dt} + \mu \frac{d\theta}{dt} = A(\theta) i(t) - T(2\theta \pm \alpha) - \varrho(\theta) \quad (1)$$

$$L \cdot \frac{di(t)}{dt} + A(\theta) \frac{d\theta}{dt} + P_i(t) = E \quad (2)$$

worin

J = Trägheitsmoment des Rotors

μ = Flüssigkeitswiderstandskoeffizient

A = Drehmoment-Koeffizient oder Koeffizient der elektromechanischen Verbindung, welche mit einem Faktor von θ variiert

T = Anziehungskraft zwischen Stator und Rotor, welche mit dem Faktor 2θ variiert

θ = Drehwinkel des Rotors

$i(t)$ = Antriebsstrom

L = Induktivität der Antriebsspule des Schrittmotors

E = Vorbelastungsstrom

α = Phasenwinkel der Anziehungskraft T bezüglich der Mittellinie der Spalte der Statorpolstücke

ϱ = Belastungsdrehmoment

Der Koeffizient der elektromechanischen Verbindung und die Anziehungskraft des Schrittmotors, der in einem elektronischen Zeitmesser verwendet wird, werden gewöhnlich wie folgt in Beziehung zur Mittellinie der Luftspalte zwischen den Statorpolstücken dargestellt:

$$A(\theta) = A_0 \sin(\theta) + \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

$$T(2\theta \pm \alpha) = T_0 \sin(2\theta \pm \alpha) \quad (4)$$

$$P = A(\theta) i(t) = A_0 \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) \cdot i(t) \quad (5)$$

worin P = Antriebsmoment.

Die Kurven T und P sind, wie bereits erwähnt, in den Fig. 12 und 13 dargestellt. Während der Drehung des Rotors in nor-

maler Drehrichtung wird die Differenz θ_0 der Phasen zwischen der Anziehungskraft T und dem Antriebsdrehmoment P durch die Formel $\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \alpha$. Während der Drehung des Rotors in

Rückwärtsdrehrichtung wird die Differenz θ'_0 der Phasen zwischen der Anziehungskraft T und dem Antriebsdrehmoment P durch die Formel $\theta'_0 = \frac{\pi}{2} + \alpha$. Da der Rotor stabil ist

wenn $T = 0$, so stellt das Symbol « α » einen Winkel des statischen Gleichgewichts bezüglich der Mittellinie der Luftspalte zwischen den Statorpolstücken dar. Es ist zu erwähnen, dass die Summe von θ_0 und θ'_0 gleich π ist.

Die Wirkungsweise des Schrittmotors gemäss Fig. 3 wird im folgenden im Detail beschrieben:

Bei Drehung des Rotors in Normaldrehrichtung ist der Rotor 40 ursprünglich stationär, wobei die Nord- und Südpole des Rotors 40 in der Achse Z-Z' des statischen Gleichgewichtes liegen, die durch die statischen Gleichgewichtspunkte 54 und 54' hindurchgeht. Der statische Gleichgewichtspunkt 54 entspricht einem Punkt A in Fig. 12 und der statische Gleichgewichtspunkt 54' entspricht einem Punkt E in Fig. 12. In diesem Zustand wird ein Impuls Φ_1 an die Antriebsspule 50 des Schrittmotors angelegt, so dass das Statorpolstück 46 als Nordpol erregt wird, während das Statorpolstück 48 als Südpol erregt wird. In diesem Zeitpunkt wird der Nordpol des Rotors 40 durch den Nordpol des Statorpolstückes 46 abgestossen und angezogen durch den Südpol des Statorpolstückes 48. Gleichzeitig wird der Südpol des Rotors 40 abgestossen durch den Südpol des Statorpolstückes 48 und angezogen durch den Nordpol des Statorpolstückes 46. Als Folge davon wird der Rotor 40 in seiner Normalrichtung, d. h. in Uhrzeigersinn, wie in Fig. 4B gezeigt, gedreht. Das an den Rotor 40 angelegte Drehmoment wird positiv, nachdem der Rotor in eine Position gedreht worden ist, in welcher der Nordpol des Rotors mit der Achse W-W' fluchtet, welche durch einen Punkt 58' hindurchgeht, der einem Punkt B in Fig. 12 entspricht, in welchem $T_1 = 0$. Dementsprechend wird der Rotor weiter gedreht in eine Lage, in welcher der Nordpol des Rotors auf der Achse Z-Z' des statischen Gleichgewichtes liegt, welche durch den Punkt 54' geht, welcher dem Punkt E in Fig. 12 entspricht. Dabei ist zu bemerken, dass in diesem Zeitpunkt, auch wenn der Impuls Φ_1 nicht mehr an die Antriebsspule 50 angelegt wird, bevor der Nordpol des Rotors 40 den Punkt B in Fig. 12 erreicht hat, der Rotor 40 sich weiter dreht infolge seiner kinetischen Energie, falls die Impulsbreite so festgelegt wird, dass der Rotor gegen den Punkt B in Fig. 12 gedreht wird, und zwar durch die Kraft, die das Gegendrehmoment überwindet. Während die untere Grenze der Impulsbreite so ist, dass die kinetische Energie des Rotors im Punkt B in Fig. 12 Null ist, ist es wünschenswert, dass die Impulsbreite wenig grösser ist als die genannte untere Grenze, um das Belastungsdrehmoment zu überwinden. Obwohl die obere Grenze der Impulsbreite nicht festgelegt ist, weil die Anziehungskraft T_1 sich in einem positiven Bereich befindet und der Rotor in Normaldrehrichtung zu drehen tendiert im Punkt D, in welchem die Summe des Antriebsmomentes P_1 und die Anziehungskraft T_1 Null ist, ist es wünschenswert, dass die Impulsbreite in der Grössenordnung von z. B. 60 Millisekunden gewählt wird, und zwar aus Gründen der Minimalisierung des Stromverbrauches.

Fig. 4C zeigt, dass der Rotor um 180° gedreht wird in eine Position, in welcher der Nordpol des Rotors stabil ist im statischen Gleichgewichtspunkt 54'; der dem Punkt E in Fig. 12 entspricht. Die Wellenform des elektrischen Stromes, der der Antriebsspule 50 zugeführt wird, ist in Fig. 10A gezeigt. In Fig. 10A zeigte das Symbol « τ » eine Impulsbreite, und eine unterbrochene Linie zeigt die Wellenform des elektrischen Stromes, wenn der Rotor 40 gestoppt ist. Fig. 10B zeigt die

Drehweise des Rotors. Im Falle eines mit dem Schrittmotor ausgerüsteten elektronischen Zeitmessers ist der Koeffizient μ des Flüssigkeitswiderstandes verhältnismässig klein und dementsprechend wird der Rotor nach gedämpften Schwingungen gestoppt. Obwohl es möglich ist, den Schrittmotor durch Vergrössern des Wertes des Koeffizienten μ des Flüssigkeitswiderstandes zu bremsen, wird der Stromverbrauch dadurch erhöht.

Wird der Impuls Φ_2 an die Antriebsspule 50 angelegt, wenn der Rotor 50 stabil bleibt in einer Position gemäss Fig. 4C, so werden die Polaritäten der Statorpolstücke 46 und 48 umgekehrt, so dass der Nordpol des Rotors 40 abgestossen wird durch den Nordpol des Statorpolstückes 48 und angezogen wird durch den Südpol des Statorpolstückes 46, während der Südpol des Rotors 40 abgestossen wird durch den Südpol des Statorpolstückes 46 und angezogen durch den Nordpol des Statorpolstückes 48. Daher wird der Rotor 40 in normaler Drehrichtung um 180° in eine Position gedreht, die in Fig. 4A gezeigt ist. Auf diese Weise wird der Rotor 40 in seiner Normaldrehrichtung mittels zweiphasigen Impulsen, die abwechselungsweise an die Antriebsspule 50 angelegt werden, gedreht.

Die Betriebsweise bei Drehung in der entgegengesetzten Richtung des Rotors wird anhand der Fig. 5A bis 5C beschrieben. Fig. 5A zeigt den Zustand des Rotors in zur Fig. 4A analoger Weise. Wie bereits früher erwähnt, wird der Impuls Φ_2 an die Antriebsspule 50 angelegt, wenn der Rotor 40 stabil in einer Position ist, die in Fig. 4C dargestellt ist. Der Rotor 40 wird dadurch um 180° gedreht in eine Position gemäss Fig. 4A, welche der Fig. 5A entspricht. Unter diesen Bedingungen, und falls der Impuls Φ_2 erneut an die Antriebsspule 50 in der, im Impulsdigramm g in Fig. 8 dargestellten Weise angelegt wird, wird das Statorpolstück 46 als Südpol erregt, während das Statorpolstück 48 als Nordpol erregt wird. In diesem Zeitpunkt wird der Rotor 40 in seiner Gegendrehrichtung gedreht, d. h. im Gegenuhrzeigersinn wie in Fig. 5B gezeigt, und zwar durch die Anziehungskräfte, welche an den Rotor 40 angelegt werden. Das Antriebsdrehmoment P_2 für den Rotor ist Null im Punkt 56, welcher dem Punkt C' in Fig. 13 entspricht. Da jedoch die kinetische Energie des Rotors grösser ist als das negative Anziehungsdrehmoment T_2 , so dreht sich der Rotor 40 in eine Position gemäss Fig. 5B, welche einem Punkt B' in Fig. 13 entspricht, in welchem $T = 0$. In dieser Situation wird der Rotor 40 weiter gedreht durch die positive Anziehungskraft T, und zwar in eine Position, die in Fig. 5C gezeigt ist, d. h. in eine Position, in welcher der Nordpol des Rotors 40 den statischen Gleichgewichtspunkt 54' erreicht, der dem Punkt E' in Fig. 13 entspricht. Die Breite des Impulses Φ_2 wird in der oben beschriebenen Weise festgelegt. Da die Anziehungskraft T_2 , wie in Fig. 13 gezeigt, einen Wert innerhalb eines negativen Bereiches aufweist, wenn die Summe der Antriebskraft P_2 und der Anziehungskraft T_2 Null ist, wird der Rotor 40 zur Rückkehr zum Punkt D' in Fig. 13 veranlasst, falls die Breite des Impulses Φ_2 zu gross ist und, wenn die Zuführung von Impulsen Φ_2 zur Antriebsspule 50 unterbrochen wird, tendiert der Rotor 40 zum Punkt A' in Fig. 13 zu drehen, der dem statischen Gleichgewichtspunkt 54 entspricht. Dementsprechend ist es wünschenswert, dass die Breite der Impulse Φ_2 schmal gewählt wird, vorzugsweise im Bereich von 60 Millisekunden.

Wie vorstehend beschrieben, wird der Rotor um 180° in der Rückwärtsdrehrichtung gedreht in Abhängigkeit des Impulses Φ_2 und wird stabil im Punkt E', der dem statischen Gleichgewichtspunkt 54' entspricht, nach gedämpften Vibrationen von etwa 30 Millisekunden. Die Wellenform des der Antriebsspule 50 zugeführten elektrischen Stromes ist in Fig. 11A dargestellt. In Fig. 11A gibt das Symbol « τ » eine Breite des Impulses Φ_2 an. Fig. 11B zeigt die Drehweise des Rotors 40, wenn der Antriebsspule 50 ein elektrischer Strom

gemäss Fig. 11A zugeführt wird. Der Rotor wird gedämpften Vibrationen unterworfen, wenn die Zuführung von Impulsen Φ_2 unterbrochen wird. Die gedämpften Vibrationen werden jedoch früher aufhören als in der Normaldrehrichtung, weil die Drehgeschwindigkeit des Rotors in Rückwärtsdrehrichtung kleiner ist als in normaler Drehrichtung des Rotors.

Wird der Impuls Φ_1 an die Antriebsspule 50 angelegt, wenn der Rotor 40 stabil in der Position gemäss Fig. 5C ist, so wird das Statorpolstück 46 als Nordpol erregt, während das Statorpolstück 48 als Südpol erregt wird. In diesem Zustand wird der Nordpol des Rotors 40 abgestossen durch den Nordpol des Statorpolstückes 46 und angezogen durch den Südpol des Statorpolstückes 48, während der Südpol des Rotors 40 abgestossen wird durch den Nordpol des Statorpolstückes 48 und angezogen durch den Nordpol des Statorpolstückes 46. Dadurch wird der Rotor 40 um 180° in der Rückwärtsdrehrichtung in eine Position gemäss Fig. 5A gedreht. Auf diese Weise wird der Rotor 40 kontinuierlich in der Rückwärtsdrehrichtung gedreht in Abhängigkeit von zweiphasigen Impulsen, die abwechselungsweise an die Antriebsspule 50 angelegt werden.

Bei einem elektronischen Zeitmesser mit einem Kalendervorschubmechanismus ist es erforderlich, dass das Ausgangsdrehmoment des Schrittmotors grösser ist als die Last des Kalendervorschubmechanismus während Normaldrehrichtung des Schrittmotors. Da der Schrittmotor nur während dem Zurückstellen der Sekunden in der Rückwärtsdrehrichtung gedreht wird und die Last klein ist, ist es wünschenswert, dass die Phasendifferenz wie Θ_0 zwischen dem Antriebsdrehmoment und der Anziehungskraft so gewählt wird, dass der Schrittmotor während seiner Normaldrehrichtung einen maximalen Wirkungsgrad erreicht. Der passendste Wert dieser Phasendifferenz liegt in einem Bereich zwischen 60° und 90° (elektrischer Winkel) für normale Drehrichtung des Rotors und in einem Bereich zwischen 120° und 90° (elektrischer Winkel) für die Rückwärtsdrehrichtung des Rotors. In diesem Falle liegt der Winkel α des statischen Gleichgewichts in einem Bereich zwischen 0° und 30° . Falls die gleichen Betriebsbedingungen für die Normal- und Rückwärtsdrehrichtung des Rotors gewünscht werden, so wird die Phasendifferenz Θ_0 zwischen dem Antriebsdrehmoment und der Anziehungskraft so gewählt, dass sie einen Wert von 90° hat. In diesem Fall ist der statische Gleichgewichtswinkel Null und die Betriebscharakteristik des Schrittmotors ist während normaler Drehrichtung des Rotors ein wenig herabgesetzt.

Falls die Phasendifferenz zwischen dem Antriebsdrehmoment und der Anziehungskraft für die Rückwärtsdrehrichtung des Rotors so gewählt wird, dass sie einen Wert grösser als 120° annimmt, so dass das Antriebsdrehmoment Null wird, bevor die Anziehungskraft ihren maximalen Wert erreicht, kann der Rotor nicht in den Punkt B' in Fig. 13 gedreht werden, so dass der Rotor nicht in der Rückwärtsdrehrichtung gedreht werden kann, so dass der Rotor nur in seiner normalen Drehrichtung gedreht werden kann.

Eine abgeänderte Ausführungsform des Schrittmotors ist in Fig. 14 dargestellt, wobei gleiche oder sich entsprechende Teile mit denselben Bezugsziffern bezeichnet sind wie in Fig. 3. Diese Abänderung ist eine ähnliche Konstruktion mit der Ausnahme, dass die Einkerbungen 46b und 48b in der Achse V-V' vorgesehen werden, die einen Winkel β kleiner als 60° einnimmt, wobei die Achse Z-Z' des statischen Gleichgewichts einen Winkel α grösser als 30° aufweist, wodurch der Rotor in einer einzigen Richtung gedreht werden kann.

Fig. 15 zeigt ein weiteres abgeändertes Beispiel des Schrittmotors der vorliegenden Erfindung. In dieser gezeigten abgeänderten Ausführungsform haben die Statorpolstücke 46

und 48 einen ovalen inneren Rand 46'a und 48'a, deren Scheitelpunkte 96 und 98 in der Achse V-V' liegen, die einen Winkel β mit der Mittellinie Y-Y' der Luftspalte 52 und 52' zwischen den Statorpolstücken 46 und 48 bildet. Bei dieser Anordnung liegen die statischen Gleichgewichtspunkte 54 und 54' auf der Achse Z-Z', die mit der Mittellinie Y-Y' einen Winkel α bildet. Der Schrittmotor gemäss Fig. 15 arbeitet in ähnlicher Weise wie der in Fig. 3 gezeigte Schrittmotor. Dementsprechend wird auf eine detaillierte Beschreibung dieser Betriebsweise verzichtet. Jeder dieser ovalen inneren Ränder der Statorpolstücke kann durch zwei Bogen gebildet werden, die einen verschiedenen Krümmungsmittelpunkt aufweisen, falls das gewünscht wird.

Fig. 16 zeigt eine weitere geänderte Ausführungsform des Schrittmotors gemäss der vorliegenden Erfindung. Bei dieser gezeigten Ausführungsform sind die Einkerbungen 46b und 48b durch hohle Abschnitte 100 und 102 ersetzt, die in den Statorpolstücken 46 und 48 ausgebildet sind. Die Zentren 100a und 102a der hohlen Abschnitte 100 und 102 liegen auf der Achse V-V', die mit der Mittellinie Y-Y' einen Winkel β einschliesst, so dass die statischen Gleichgewichtspunkte 54 und 54' auf einer Achse Z-Z' mit einem Winkel α liegen. Der Schrittmotor gemäss Fig. 16 arbeitet in ähnlicher Weise wie der in Fig. 3 gezeigte Schrittmotor, so dass eine detaillierte Beschreibung der Betriebsweise nicht mehr notwendig ist.

Obwohl die Statorpolstücke 46 und 48 in einem Abstand voneinander dargestellt und beschrieben worden sind, welcher durch die Luftspalte 52 und 52' gebildet wird, wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Erfindung ebenfalls auf Schrittmotoren zutrifft, bei welchen diese Luftspalte wegfallen.

Aus der vorstehenden Beschreibung geht hervor, dass gemäss der vorliegenden Erfindung ein Schrittmotor einfacher in der Konstruktion ausgebildet werden kann unter Benützung eines Minimums von Komponenten. Ein solcher Schrittmotor ist ganz speziell für die Verwendung in elektronischen Zeitmessern, wie z. B. Armbanduhren, geeignet, in denen der Raum für jeden Bauteil beschränkt ist.

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass der Schrittmotor gemäss der vorliegenden Erfindung entweder in normaler oder in Rückwärtsdrehrichtung gedreht werden kann, durch Ändern der Reihenfolge der Speisung von wechselnden Stromimpulsen an eine einzige Antriebsspule. Zusätzlich zu dieser einzigen Antriebsspule weist der Schrittmotor zwei Statorpolstücke auf, was eine Miniaturisierung des Schrittmotors erlaubt.

Wird der Schrittmotor der vorliegenden Erfindung in einer Armbanduhr verwendet, so ist es möglich, innerhalb der kleinsten Periode eine Zeitkorrektur vorzunehmen, durch schnelles Vorwärts- oder Rückwärtsbewegen der Stundenzeiger, der Minutenzeiger oder des Sekundenzeigers, und zwar durch Anlegen eines Zeitkorrekturimpulses einer Frequenz, die grösser ist als die normalerweise an die Antriebsspule des Schrittmotors angelegte Frequenz. Der Steuerschalter zum Erzeugen der Zeitkorrekturimpulse kann mit einem äusseren Steuerschalter wie z. B. einem Druckknopf verbunden werden, wobei in diesem Fall auf eine Krone verzichtet werden kann. Zusätzlich kann ein Speicherschaltkreis vorgesehen werden, um die Winkellagen der Stundenzeiger, der Minutenzeiger oder des Sekundenzeigers zu speichern, damit eine Anzahl von Zeitkorrekturimpulsen erzeugt werden kann, welche in ihrer Anzahl dem numerischen Wert entspricht, der im Speicherschaltkreis während der Zeitkorrektur gespeichert worden ist.

Es muss ebenfalls in Betracht gezogen werden, dass der Schrittmotor gemäss der vorliegenden Erfindung einseitig wirkend ausgebildet werden kann, ohne dass komplizierte Komponenten verwendet werden müssen, so dass das Zusammen-

bauen einfach ist und die Herstellungskosten kleingehalten werden können.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsformen gezeigt und beschrieben worden ist,

ist darauf hinzuweisen, dass verschiedene Änderungen und Modifikationen gemacht werden können, ohne dass von der Idee der vorliegenden Erfindung abgewichen werden muss.

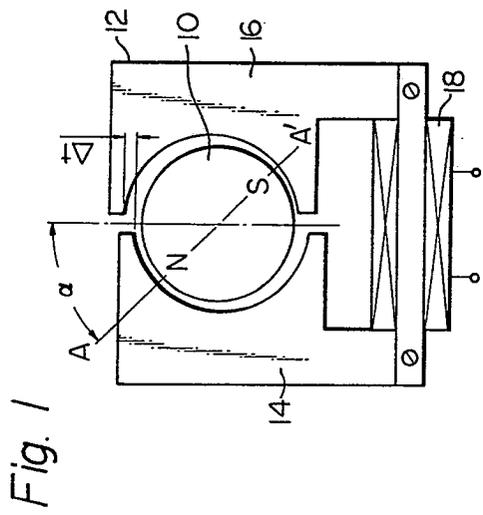


Fig. 1

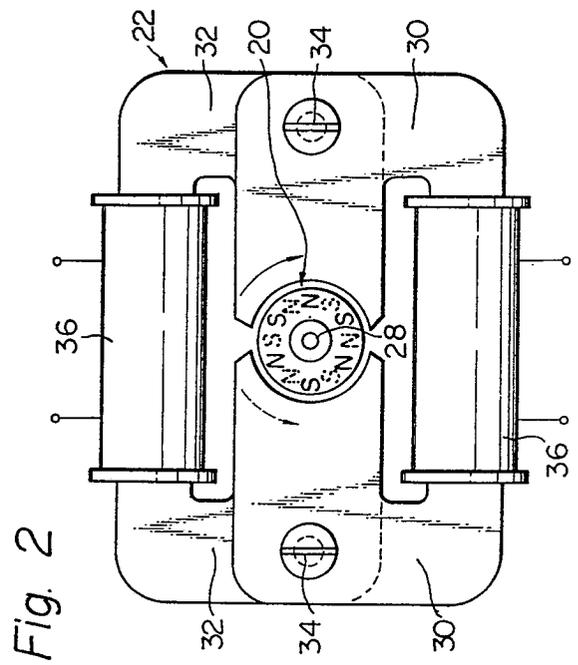


Fig. 2

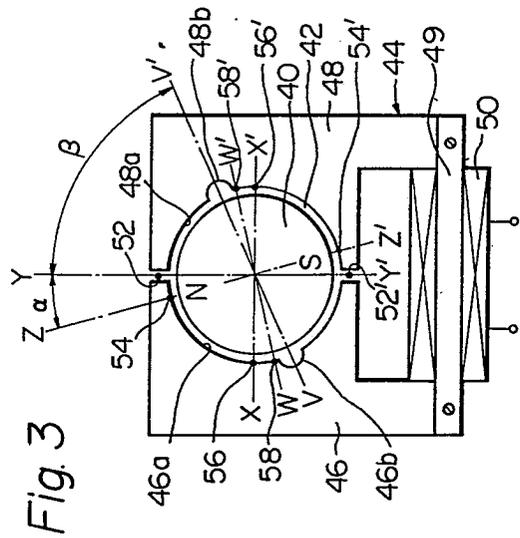


Fig. 3

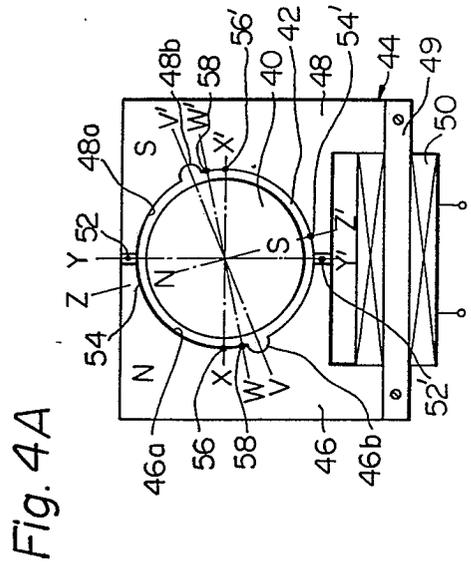


Fig. 4A

Fig. 5A

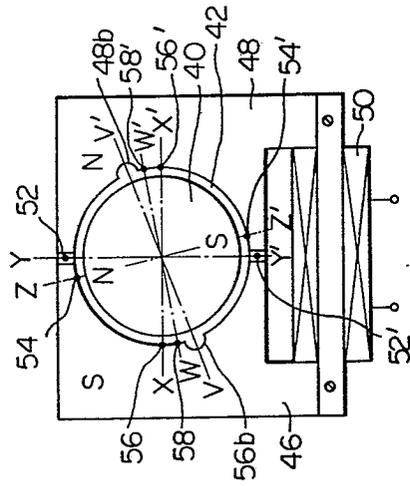


Fig. 5B

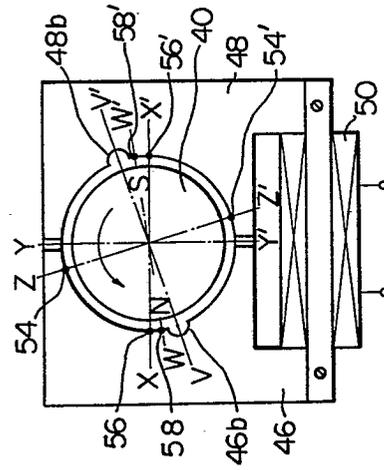


Fig. 4B

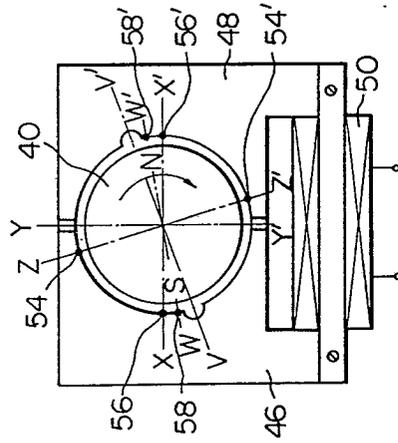
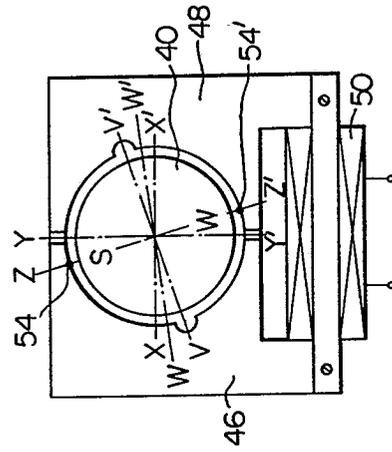


Fig. 4C



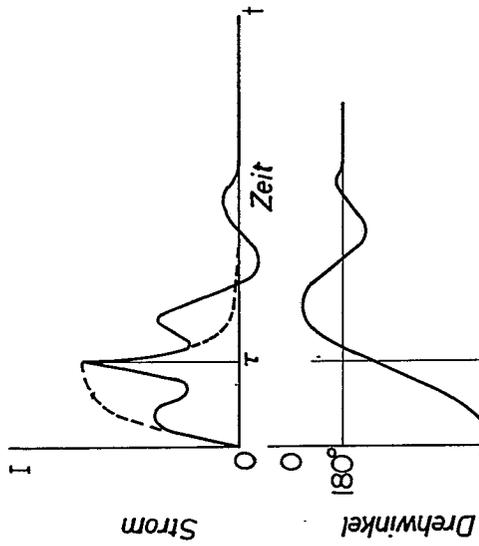


Fig. 10A

Fig. 10B

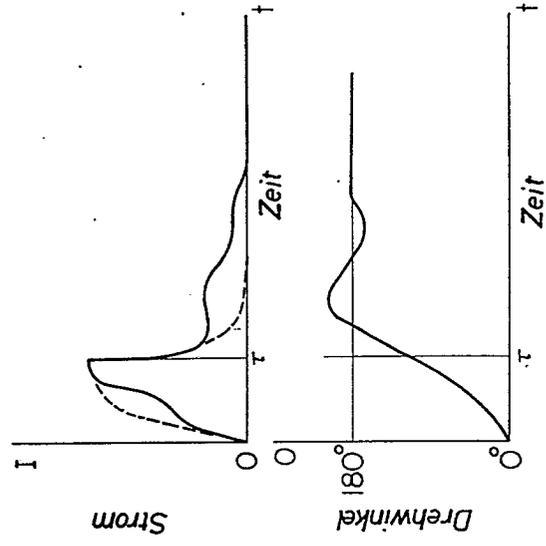


Fig. 11A

Fig. 11B

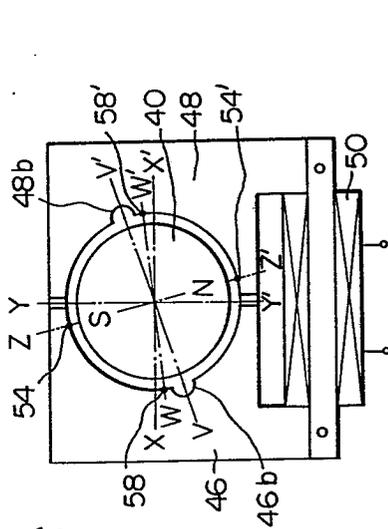


Fig. 5C

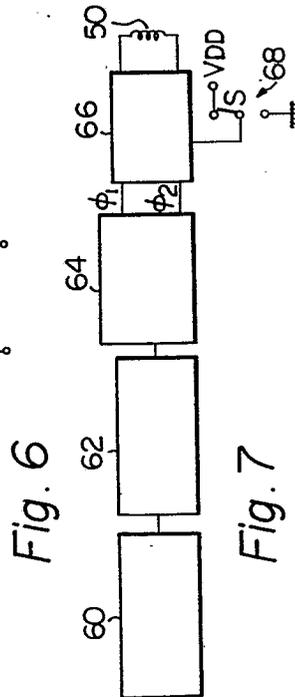


Fig. 6

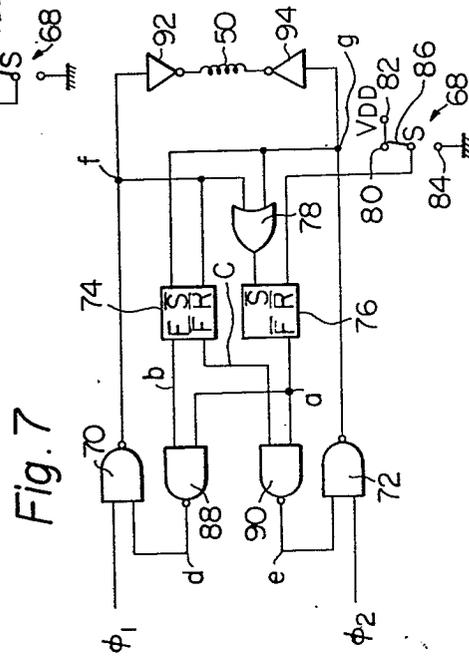


Fig. 7

Fig. 8

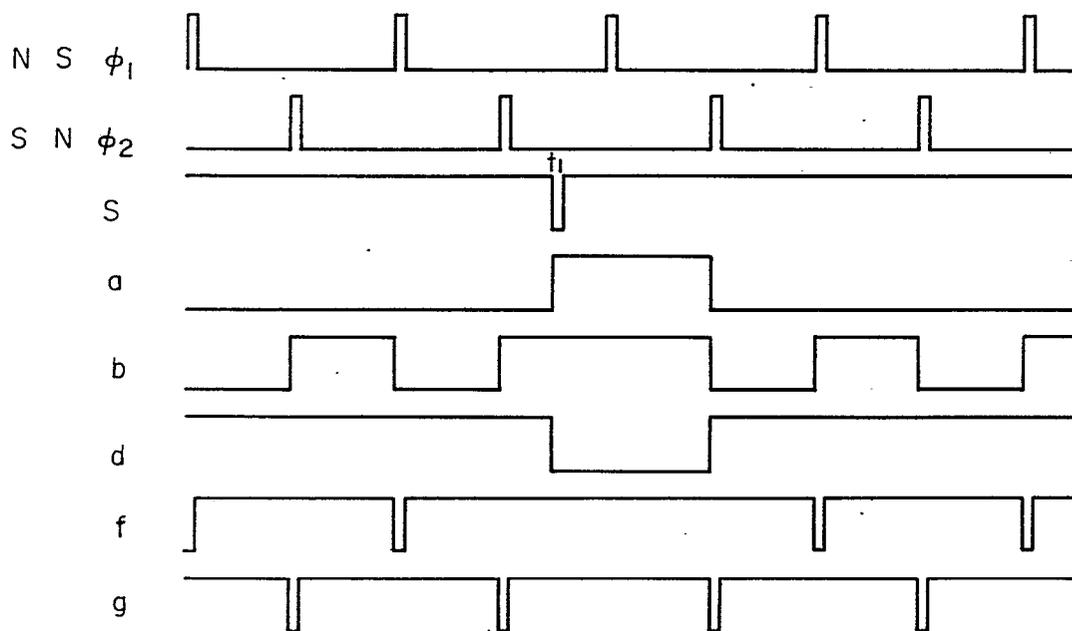
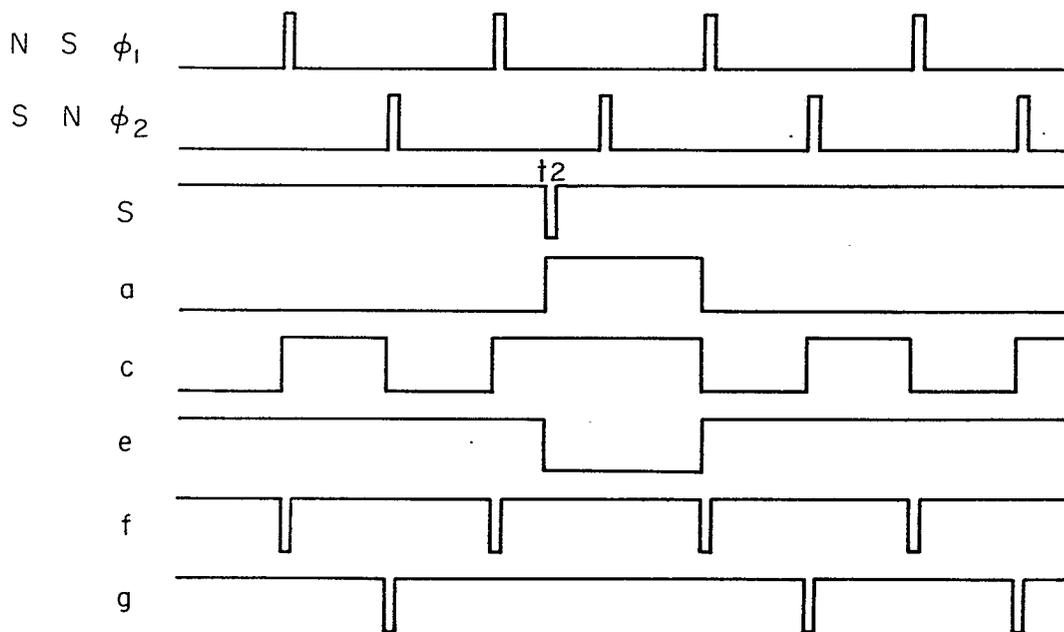


Fig. 9



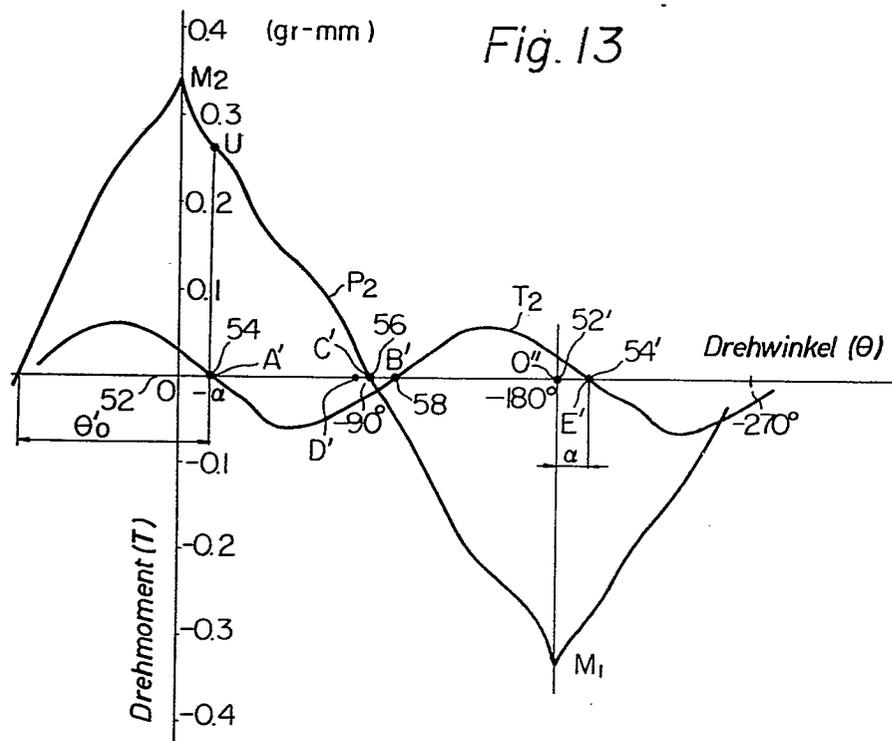
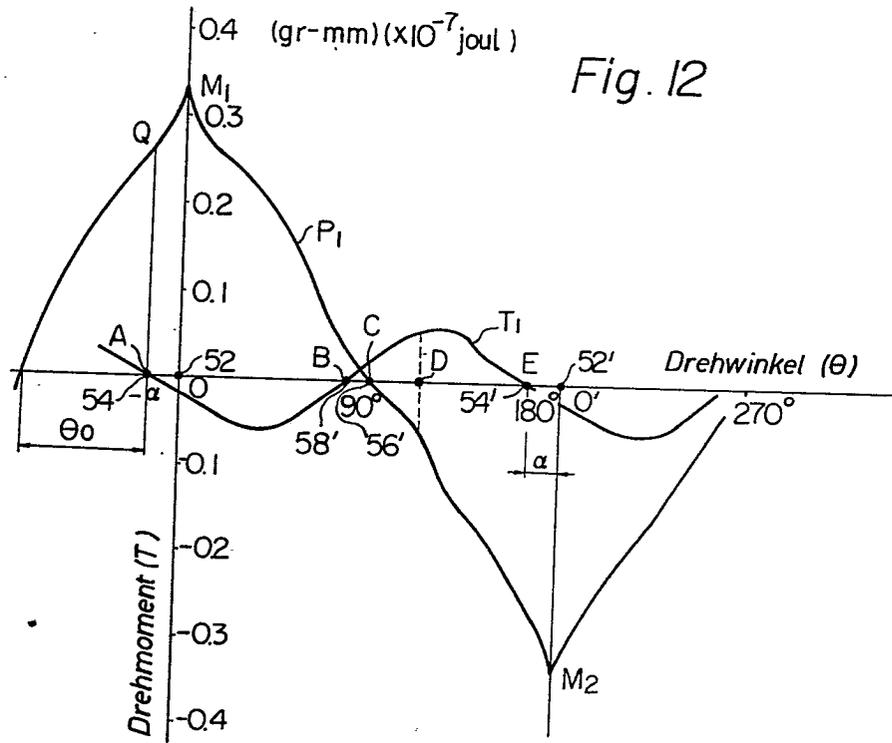


Fig. 14

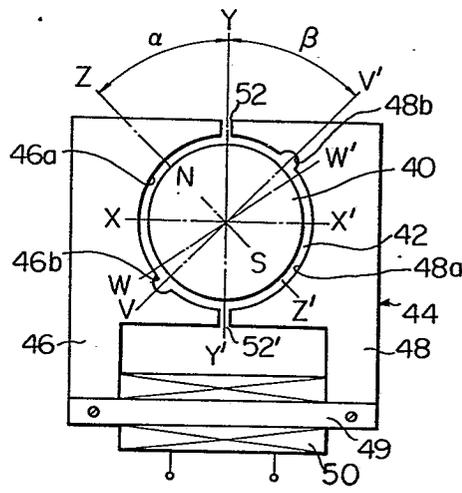


Fig. 15

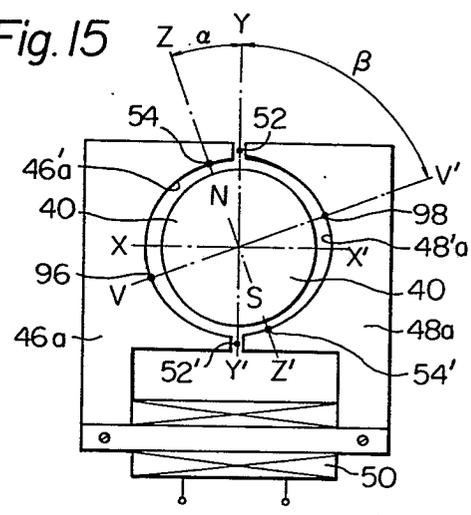


Fig. 16

