



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 37 134 T2** 2008.02.14

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 178 599 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 37 134.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 121 258.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **11.09.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.02.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.06.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.02.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H02P 8/04** (2006.01)

H02P 8/24 (2006.01)

H02P 8/22 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

526468 11.09.1995 US

(73) Patentinhaber:

Cardinal Health 303, Inc., San Diego, Calif., US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,
LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

Holdaway, Charles R., San Diego, CA 92119, US

(54) Bezeichnung: **Schrittmotorregelsystem mit offener Schleife**

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

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Motorsteuerung und insbesondere Schrittmotor-Steuerungssysteme mit offener Schleife, die akustische Geräusche reduzieren und gleichzeitig ein ausreichendes Drehmoment beibehalten.

[0002] Ein Schrittmotor wendet Drehmoment in einer Reihe von diskreten Schritten auf seine Last an und kann infolgedessen als ein Schallwandler wirken, der einen hörbaren Ton mit einer Grundfrequenz gleich seiner Schrittrate erzeugt. Wenn der Motor über einen großen Bereich von Schrittraten zu betreiben ist, werden eine oder mehrere dieser Raten wahrscheinlich Resonanzfrequenzen der mechanischen Last des Motors oder des Motors selbst erregen, was in der Erzeugung von unangenehmen Beiträgen von akustischen Geräuschen und in einem weniger effizienten Betrieb resultiert.

[0003] Auf dem Gebiet der medizinischen Geräte ist es gewöhnlich wünschenswert, den Geräuschpegel der Geräte zum Nutzen des Patienten und anderer zu senken. Beispielsweise befinden sich Infusionspumpen, die Schrittmotoren enthalten, im Allgemeinen unmittelbar bei einem Patienten und können über Stunden in Betrieb sein. Es kann störend für einen Patienten sein, wenn die Pumpe viele Geräusche erzeugt. Außerdem müssen bestimmte medizinische Geräte einschließlich von vielen Infusionspumpen durch eine tragbare Energiequelle betrieben werden, die über ein begrenztes Energiereservoir verfügen, wie beispielsweise Batterien, und daher müssen die Geräte so konstruiert sein, dass sie so wenig Energie wie möglich verbrauchen. Auf diese Weise kann das Gerät den Patienten so lange wie möglich versorgen, bevor ein Wechseln oder Aufladen der Batterie erforderlich ist. Daher sind verringerte Geräuschpegel und verringerte Pegel des Energieverbrauchs wünschenswerte Eigenschaften in Infusionspumpen und anderen medizinischen Geräten.

[0004] Eine Quelle von akustischen Geräuschen in einem Schrittmotor ist die Wellenform des Motorantriebs. Das einfachste Mittel zum Antreiben eines Schrittmotor ist der „Vollschritt“-Modus, bei dem ein Zweiphasenmotor von einer Strom- oder Spannungsquadratwelle konstanter Größe angetrieben wird. In diesem Modus korrespondiert jeder Schritt mit einer von 2^N möglichen Motorwicklungsstrom-Polaritätszuständen, wobei N die Zahl der Motorwicklungen (oder Phasen) ist. Diese Art von Antrieb erzeugt akustische Geräusche mit hohem Oberschwingungsgehalt aufgrund der hohen Winkelbeschleunigung, die aus der hohen Rate des Drehmomentwechsels resultiert, der an der Vorderflanke jedes Schritts erfolgt. Wenn zusätzlich die Antriebsrate unterhalb des Optimums liegt und der Rotor seine Position erreicht, bevor die Wicklungsströme umgeschaltet werden, kann eine

gedämpfte Oszillation des Rotors um die Motormagnetfeldposition vorkommen, wodurch übermäßige Geräusche und vergeudete Energie resultieren, indem negatives Drehmoment bereitgestellt wird, das den Rotor hält, und Energie verloren geht, indem die Wicklungen aufgrund des vorgefundenen Widerstands lediglich erhitzt werden.

[0005] Die Geräuschkomponente kann reduziert werden, wenn die Größenordnung des Drehmomentimpulses verringert wird, indem die Größenordnung des Motorantriebsimpulses reduziert wird. Eine derartige Reduzierung reduziert jedoch auch die verfügbare Drehmomentreserve des Motors, was in einem erhöhten Risiko eines Motorstillstands oder „Außertrittfallens“ resultiert, wobei „Außertrittfallen“ den Verlust der Synchronisation bedeutet, weil die Belastung des Motors die Kraft überschreitet, die der Motor zum Bewegen der Last verfügbar hat, so dass der Motor in seinem Bewegungszyklus „aus dem Tritt fällt“ und einen oder mehrere Schritte verliert. Dieser Zustand kann in Positionierungsfehlern aufgrund der verlorenen Schritte resultieren.

[0006] Die Verfügbarkeit einer adäquaten Drehmomentreserve ist in dem Fall erforderlich, dass gewisse unerwünschte Bedingungen auftreten können. Im medizinischen Bereich, in dem ein Schrittmotor für den Antrieb eines Pumpmechanismus wie eine Schlauchpumpe verwendet wird, können sich beispielsweise die Förderhöhen der Infusionsflüssigkeit ändern, Infusate können besonders viskos sein und niedrige Temperaturen können mehr Kraft zum Bewegen des Schlauchpumpenmechanismus erfordern. Das Nenndrehmoment des Motors sollte hoch genug sein, um mit sämtlichen dieser Umstände umgehen zu können, aber in jedem Fall müssen sein Nenndrehmoment plus seine Drehmomentreserve hoch genug sein, weil sonst Motor-Außertrittfallen vorkommen kann. Normalerweise weist ein Mechanismus ein Nenndrehmoment und eine Drehmomentreserve auf. In einer Ausführungsformen ist das Reservedrehmoment auf siebenzig Prozent des nominalen „Kein Stillstand“-Drehmoments eingestellt.

[0007] Es hat sich gezeigt, dass Motorgeräusche beträchtlich durch die als „Mikroschrittschaltung“ bekannte Technik reduziert werden können. „Mikroschrittschaltung“ ist ein Mittel zum Antrieb eines Motors durch einen Schritt mit einer Reihe von Stromgrößenzuständen, die kleinere Winkelverschiebungen der Motormagnetfeldvektorposition erzeugen. Die Summe dieser Verschiebungen ist gleich der eines Schritts. Weil Momentandrehmoment annähert eine Sinusfunktion der Winkelverschiebung einer Feldvektorposition eines Motors von ihrer Rotorposition ist, resultiert eine kleinere Winkelverschiebung in einem niedrigeren Momentandrehmoment. Ein niedrigeres Momentandrehmoment erzeugt eine Winkelbeschleunigung an der Vorderflanke von je-

dem „Mikroschritt“, die kleiner ist als die, die an der Vorderflanke jedes Schritts im „Vollschritt“-Antriebsmodus erzeugt werden würde. Die Wirkung besteht darin, die große Beschleunigung, die normalerweise am Anfang eines Schritts auftritt, als eine Reihe von kleinen Beschleunigungen über den gesamten Schritt zu verteilen, wodurch der Pegel von akustischen Geräuschen reduziert wird.

[0008] „Mikroschrittschaltung“ ist jedoch keine befriedigende Technik zur Geräuschreduzierung, wenn der Energieverbrauch begrenzt werden muss, wie in batteriebetriebenen Anwendungen. In der Mikroschritttechnik müssen Motorwicklungsströme, die den Zustandsverlauf definieren, während der gesamten Sequenz beibehalten werden, was in einem relativ hohen Energieverbrauch resultiert. Andere Schrittmotor-Modi mit niedrigem Energieverbrauch sind verfügbar, wie der Modus „Eine Phase an“, in dem Wicklungsströme nach der anfänglichen Beschleunigung ausgeschaltet werden, um Energie zu sparen. Diese Modi sind jedoch geräuschvoller als der Mikroschrittmodus. Mikroschrittschaltung ist außerdem nicht wünschenswert, wenn die Bandbreite der Steuerung begrenzt ist. Wenn die Zahl der Mikroschritte zunimmt, steigen die Anforderungen an die Bandbreite der Steuerung, die eine größere Hardwarefähigkeit zur Unterstützung einer schnelleren Taktrate erfordert. Diese größere Fähigkeit resultiert in höheren Kosten und mehr Komplexität.

[0009] Die Art der Motorantriebsschaltung kann außerdem eine direkte Auswirkung auf die Kosten haben. Beispielsweise erfordern Antriebsschaltungen mit geschlossener Schleife gewöhnlich Sensoren, um die erforderliche Rückmeldung zur Steuerung bereitzustellen. Die Sensorkosten sowie die zusätzliche Prozessorbandbreite, die erforderlich ist, um die Sensoreingänge zur Steuerung der Antriebsschaltung zu verwenden, kann in einer beträchtlichen Kostensteigerung resultieren. In dieser Hinsicht wird ein System mit offener Schleife vorgezogen.

[0010] Folglich ist mehr Kontrolle über den Energieverbrauch wichtig in Anwendungen, in denen eine lange Batterienutzungsdauer gewünscht wird. Die Bereitstellung von übermäßiger Energie für die Schrittmotorwicklungen kann Energievergeudung und eine verkürzte Batterienutzungsdauer bewirken. Energie kann als Wärme aufgrund von Wicklungswiderstand verloren gehen. Gleichmaßen ist Betrieb des Motors bei seiner Resonanzfrequenz ineffizient und kann in vergeudeter Energie resultieren, weil relativ wenig Drehmoment aus der großen Eingangsleistung, die dem Motor zugeführt wird, erzeugt wird. Daher ist präzise Motorsteuerung wünschenswert, um Vergeudung von begrenzter Energie zu vermeiden.

[0011] US 4683408 offenbart eine Schrittmotor-

Steuerungsvorrichtung, die einen Motorwicklungs-Erregungsstrom korrespondierend mit einer Halteposition berechnet, wobei die Berechnung auf einem vorbestimmten Wellenformmuster basiert. Der Schrittmotor wird durch eine Mikroschritt-Transferdistanz, die kürzer ist als ein reguläres Schrittttransferintervall, hin zu endgültigen Halteposition angetrieben. Die in diesem Dokument offenbarte Schrittmotoranordnung leidet jedoch noch unter einer nachteiligen akustischen Ausgabe.

[0012] US 4418907 offenbart ein Verfahren und eine Anordnung zur Steuerung eines „digitalen“ Motors, der konfiguriert ist, um Betrieb des Motors in einem Mikroschrittmodus bei einer niedrigen Geschwindigkeit zu gestatten, aber um Betrieb in einem Nicht-Mikroschrittmodus bei einer höheren Motorgeschwindigkeit zu gestatten, um das höhere Drehmoment zu nutzen, das bei höheren Geschwindigkeiten verfügbar ist.

[0013] WO 91/10946 offenbart eine Motorantriebsanordnung für Steuerung und Antrieb eines Schlauchpumpenmotors, in der die Länge eines Antriebssignals durch die Frequenz einer ersten Reihe von Impulsen, die von einer ersten Schaltung bei einer gegebenen Frequenz erzeugt werden, bestimmt wird. Eine zweite Schaltung ist auch vorhanden, die eine zweite Reihe von Impulsen mit einer Frequenz erzeugt, die höher ist als die Frequenz der ersten Reihe von Impulsen. Eine dritte Schaltung ist vorhanden, die die dritte Reihe von Impulsen mit einer Frequenz, die zwischen die Frequenzen der ersten und zweiten Reihe von Impulsen fällt, erzeugt. Das Antriebssignal wird in zwei Abschnitte aufgeteilt, nämlich ein anfängliches Impulsstadium, das durch die Frequenz der dritten Reihe von Impulsen bestimmt wird, und ein moduliertes Impulsstadium, das eine Reihe von Impulsen ist, die durch die Frequenz der zweiten Reihe von Impulsen bestimmt wird.

[0014] Fachleute haben jedoch das Erfordernis erkannt, den akustischen Ausgang von medizinischen Vorrichtungen zu senken und gleichzeitig den Energieverbrauch zu senken, aber eine adäquate Drehmomentreserve beizubehalten. Fachleute haben außerdem das Erfordernis nach einem Steuerungssystem mit offener Schleife erkannt, um Hardware- und Prozessorkosten zu reduzieren. Die vorliegende Erfindung erfüllt diese und andere Anforderungen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0015] Kurz und allgemein ausgedrückt, betrifft die vorliegende Erfindung ein Steuerungssystem zur Steuerung der Bewegung eines Motors, wobei das System eine Energiequelle und eine Steuerung zum Steuern der Anlegung von Energie von der Energiequelle zu dem Motor umfasst, um die Bewegung des Motors zu steuern, wobei die Steuerung Energie zum

Motor in einer nichtlinearen zunehmenden Weise anlegt, um die Bewegung des Motors zu beginnen.

[0016] Nach einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Steuersystem zur Steuerung der Bewegung eines Schrittmotors bereitgestellt, umfassend: eine Energiequelle; eine Steuerung, die Energie aus der Energiequelle anlegt, um den Motor über erste und zweite Motorschritte zu beschleunigen, worin der erste Motorschritt eine erste Mehrzahl von Mikroschritten beinhaltet und der zweite Motorschritt eine zweite Mehrzahl von Mikroschritten beinhaltet, worin die erste Mehrzahl an Mikroschritten größer als die zweite Mehrzahl an Mikroschritten ist; dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung Energie aus der Energiequelle an den Motor in einer nichtlinearen Weise anlegt, um den Schrittmotor auf eine vorgewählte Motorgeschwindigkeit zu beschleunigen; die Steuerung Energie anlegt, um die vorgewählte Geschwindigkeit für eine vorgegebene Zeitdauer beizubehalten; und die Steuerung Energie vom Motor in einer nichtlinearen Weise wegnimmt, um den Schrittmotor auf die Feststellposition zu verlangsamen, worin die Motorsteuerung dem Motor keine Antriebssignale bereitstellt, nachdem der Motor in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält.

[0017] Vorzugsweise behält die Steuerung eine konstante Mikroschrittperiode bei.

[0018] Vorteilhafterweise legt die Steuerung Energie aus der Energiequelle an, um den Motor über einen dritten Motorschritt zu beschleunigen, worin der dritte Motorschritt eine dritte Mehrzahl an Mikroschritten beinhaltet, worin die zweite Mehrzahl an Mikroschritten größer als die dritte Mehrzahl an Mikroschritten ist.

[0019] Praktischerweise legt die Steuerung Energie aus der Energiequelle an den Motor in einem „Eine Phase an“-Antriebsmodus, der für einen Mikroschrittbetrieb zwischen den „Eine Phase an“-Positionen während der Bewegung des Motors modifiziert ist, an, worin die Steuerung den Motor durch Variieren der Anzahl von Mikroschritten pro Motorschritt steuert, während eine konstante Mikroschrittperiode beibehalten wird; worin die Steuerung den Motor zur Beschleunigung durch eine abnehmende Anzahl an Mikroschritten pro Motorschritt steuert, während eine konstante Mikroschrittperiode beibehalten wird.

[0020] Vorzugsweise nimmt die Steuerung Energie von dem Motor in einem „Eine Phase an“-Antriebsmodus weg, der für einen Mikroschrittbetrieb zwischen den „Eine Phase an“-Positionen während der Bewegung des Motors modifiziert ist, endend in einer „Eine Phase an“-Position für den letzten Schritt des Motors, bevor die Energie vollständig weggenommen

ist, und

worin die Steuerung den Motor zur Verlangsamung durch eine zunehmende Anzahl von Mikroschritten pro Motorschritt steuert, während eine konstante Mikroschrittdauer beibehalten wird.

[0021] Vorteilhafterweise legt die Steuerung Energie an den Motor in einem Vollschrittmodus an, nachdem der Motor eine vorgewählte Geschwindigkeit erreicht hat.

[0022] Praktischerweise legt die Steuerung, wenn der Vollschrittmodus vorliegt, Energie aus der Energiequelle an den Motor derart an, dass der Motor sich mit einem Mikroschritt pro Motorschritt bewegt, worin während einer von wenigstens zwei Phasen des Schrittmotors sich die Polarität ändert, während die andere Phase auf einem konstanten Wert bleibt, und eine Schrittrate derart gewählt wird, dass die Polaritätsänderung in einer Motorschrittperiode durchgeführt wird, wodurch eine sanfte Motorfeldverschiebung erreicht wird.

[0023] Vorzugsweise treibt der Schrittmotor einen Pumpenmechanismus zur Abgabe einer medizinischen Flüssigkeit an einen Patienten an.

[0024] Nach einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Schrittmotors, der sich in einer Reihe von Motorschritten bewegt, bereitgestellt, wobei das Verfahren umfasst:

Steuerung des Schrittmotors, um sich über einen ersten Beschleunigungsmotorschritt in einer ersten Mehrzahl an Mikroschritten zu bewegen;

Steuerung des Schrittmotors, um sich über einen zweiten Beschleunigungsmotorschritt in einer zweiten Mehrzahl an Mikroschritten zu bewegen, wobei der zweite Motorschritt dem ersten Motorschritt nachfolgt, worin die zweite Mehrzahl an Mikroschritten geringer als die erste Mehrzahl an Mikroschritten ist, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass

Energie an den Schrittmotor in einer ansteigenden nichtlinearen Weise angelegt wird, um den Motor auf eine vorgewählte Motorgeschwindigkeit zu beschleunigen;

dass die vorgewählte Geschwindigkeit für eine erste vorgegebene Zeitdauer beibehalten wird; und

dass Energie vom Schrittmotor in einer nichtlinearen Weise weggenommen wird, um nach der vorgegebenen Zeitdauer den Schrittmotor von der vorgewählten Geschwindigkeit auf die Feststellposition zu verlangsamen, worin die Motorsteuerung dem Motor keine Antriebssignale bereitstellt, nachdem der Motor in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält;

worin die Schrittrate derart gewählt wird, dass die Polaritätsänderung in einer Motorschrittdauer durchgeführt wird, wodurch eine sanfte Motorfeldverschie-

bung erreicht wird.

[0025] Vorzugsweise beinhalten beide Schritte der Steuerung des Schrittmotors, sich zu bewegen, das Beibehalten einer konstanten Periode für die Mikroschritte.

[0026] Vorteilhafterweise hat der Schrittmotor wenigstens zwei Phasen und einen Permanentmagneten, der eine Feststellposition in Ruhestellung definiert, wobei das Verfahren weiter gekennzeichnet ist durch:

Anlegen eines exponentiell zunehmenden Wickelstroms in einer exponentiell ansteigenden Weise, um den Schrittmotor auf eine vorgewählte Motorgeschwindigkeit zu beschleunigen;
Beibehalten der vorgewählten Geschwindigkeit für eine erste vorgegebene Zeitdauer, und
exponentielles Verringern des Wickelstroms, um den Schrittmotor von der vorgewählten Geschwindigkeit auf die Feststellposition zu verlangsamen, worin der Motor in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält.

[0027] Praktischerweise enthält das Verfahren:

Verlangsamung des Schrittmotors in einer Reihe von Verlangsamungsmotorschritten, wobei ein erster der Verlangsamungsmotorschritte in eine erste Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten unterteilt ist, und ein zweiter der Verlangsamungsmotorschritte in eine zweite Anzahl von Verlangsamungsmikroschritten unterteilt ist;

worin die erste Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten geringer als die zweite Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten ist.

[0028] Vorzugsweise beinhaltet das Verfahren Antreiben eines Pumpenmechanismus mit dem Schrittmotor zur Abgabe einer medizinischen Flüssigkeit an einen Patienten.

[0029] Andere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen, die die Merkmale der Erfindung als Beispiel veranschaulichen, ersichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] [Fig. 1](#) zeigt ein Blockdiagramm, das einen grundlegenden Zweiphasen-Schrittmotor darstellt;

[0031] [Fig. 2](#) zeigt ein Blockdiagramm einer Steuerung für einen Schrittmotor nach einem Aspekt der Erfindung und die Anwendung der Steuerung und des Schrittmotors zur Infusion von medizinischen Flüssigkeiten an einem Patienten;

[0032] [Fig. 3](#) zeigt ein Schaltungsdiagramm der in [Fig. 2](#) dargestellten Treiber und Motorwicklungen

nach einem Aspekt der Erfindung;

[0033] [Fig. 4](#) präsentiert Wellenformen eines Zweiphasen-Schrittantriebs mit konstanter Rate zum Antrieb eines Zweiphasen-Schrittmotors;

[0034] [Fig. 5](#) zeigt einen Graphen der nichtlinearen Anwendung von Energie auf einen Motor zum Erreichen eines Spitzenwicklungsstroms, wobei in diesem Fall eine exponentielle Anwendung von Energie dargestellt ist und mit einer linearen Anwendung von Energie verglichen wird;

[0035] [Fig. 6](#) zeigt einen Graphen der nichtlinearen Beschleunigung eines Motors als Reaktion auf die in [Fig. 5](#) dargestellte exponentielle Anwendung von Energie, wobei in diesem Fall eine exponentielle Beschleunigung dargestellt ist und mit einer linearen Beschleunigung verglichen wird;

[0036] [Fig. 7](#) enthält Graphen, die die Verwendung von mehreren Antriebsmodi zur Steuerung der Anwendung von Energie auf einen Schrittmotor darstellen;

[0037] [Fig. 8](#) zeigt bestimmte Wellenformen von [Fig. 7](#) nach einem Aspekt der Erfindung in größerem Detail;

[0038] [Fig. 9](#) enthält Vektordiagramme der Antriebsmodi von [Fig. 8](#);

[0039] [Fig. 10](#) zeigt die Wirkung von Motorinduktanz auf Wicklungsstrom bei hoher Drehzahl, die in stetiger Magnetfeldversetzung resultiert;

[0040] [Fig. 11A](#) zeigt eine der Wellenformen von [Fig. 10](#) mit weiteren Details, und in [Fig. 11B](#) ist ein Vektordiagramm dargestellt; und

[0041] [Fig. 12](#) zeigt ein Ablaufdiagramm der Steuerung eines Schrittmotors nach Aspekten der Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0042] In der folgenden Beschreibung werden gleiche Bezugsnummern zur Bezugnahme auf gleiche oder korrespondierende Elemente in den verschiedenen Figuren der Zeichnungen verwendet. Die folgende Diskussion basiert auf dem veranschaulichenden Beispiel eines Zweiphasen-Schrittmotors **10**, wie in [Fig. 1](#) dargestellt. Der Schrittmotor **10** enthält einen Rotor **12** mit einem Permanentmagneten, der um einen Drehpunkt **13** drehbar ist, und zwei Paare von Statorwicklungen **14** und **16**. Jede Statorwicklung repräsentiert eine Phase des Schrittmotors. Für Diskussionszwecke repräsentieren die Wicklung **14** die Phase A und die Wicklung **16** die Phase B. Der Rotor

12 bewegt sich in Schritten in Übereinstimmung mit der Größe und Polarität des Stroms, der an die jeweiligen Wicklungen **14** und **16** angelegt wird. Wenn ein Strom durch eine der Wicklungen geleitet wird, werden die resultierenden Stator-Nord- und -Südpole der energisierten Wicklung **14** die Süd- bzw. Nordpole des Rotors **12** anziehen.

[0043] Es gibt eine Zahl von Antriebsmodi zur Steuerung der Drehung des Rotors in einem Schrittmotor. In einem „Eine Phase an“-Antriebsmodus wird eine Wicklung voll energisiert, während die andere Wicklung ausgeschaltet wird. Durch Ändern des Stromflusses von der ersten Wicklung **14** zur anderen Wicklung **16** dreht sich das Statorfeld um neunzig Grad. In diesem Modus wird weniger Energie benötigt. Dies resultiert darin, dass der Rotor sich um einen Schnitt von neunzig Grad dreht. Wie im Fachgebiet bekannt ist, können Schritte von unterschiedlichen Graden erhalten werden, indem verschiedene Rotor- und Statorkonfigurationen verwendet werden. Wenn die zwei Phasenströme ungleich sind, wird der Rotor außerdem dahin tendieren, sich zu einer Position hin zum stärkeren Pol zu verlagern. Der „Mikroschritt“-Antriebsmodus nutzt diesen Effekt und unterteilt den grundlegenden Motorschritt, indem der Strom, der an die zwei Wicklungen angelegt wird, proportioniert wird. Wenn beispielsweise abwechselnd eine Wicklung und dann zwei energisiert werden, bewegt sich der Rotor durch eine kleinere Winkelverschiebung, und die Zahl der Schritte pro Umdrehung wird verdoppelt. Höhere Auflösung, bessere Gleichmäßigkeit, aber ein gewisser Verlust an Drehmoment resultieren. Dieser Modus ist gemeinhin als der „Halbschritt“-Antriebsmodus bekannt.

[0044] Für einen Zweiphasen-Schrittmotor, der im „Vollschritt“-Antriebsmodus angetrieben wird, werden die zwei Wicklungen oder Phasen energisiert gehalten, und der Strom wird abwechselnd in jeder Wicklung in abwechselnden Schritten umgekehrt. Unter diesen Bedingungen kann ein größeres Drehmoment erzeugt werden, weil sämtliche der Statorpole den Motor beeinflussen. Ihre individuellen Felder summieren sich, um ein stärkeres Magnetfeld zu erzeugen. In diesem Antriebsmodus wird jedoch mehr Energie verbraucht, weil beide Wicklungen dauerhaft gespeist werden.

[0045] Wenn kein Strom durch die Wicklungen fließt, versucht der Motor, die Reluktanz oder den magnetischen Widerstand seines Permanentmagneten zu minimieren, indem er sich selbst mit den Polen von einer der Statorwicklungen ausrichtet. Das Drehmoment, das den Motor in dieser Position hält, wird als das Haltemoment bezeichnet.

[0046] [Fig. 2](#) zeigt einen Prozessor **20**, der Signale zum Antrieb des Schrittmotors **10** bereitstellt. In dieser Ausführungsform greift der Prozessor **20** oder ein

anderes geeignetes digitales System auf Daten aus Nachschlagetabellen zu, die in einem Speicher **22** gespeichert sind, um Signale bereitzustellen, die die Wellenform zum Antrieb des Schrittmotors **10** in einem bestimmten Modus definieren. Die Tabellen in Speicher **22** stellen Werte für die Polaritäten und Größen der Ströme bereit, die an die Wicklungen des Motors **10** anzulegen sind. Der Prozessor **20** führt die Polaritäts- und Größensignale den Treibern **26** zu, um die richtigen Ströme für die Wicklungen des Schrittmotors **10** bereitzustellen. Die Werte werden durch einen D/A-Umsetzer **28** geleitet, um sie in Analogsignale umzuwandeln, bevor sie in die Treiber **26** eingegeben werden.

[0047] Wie in [Fig. 3](#) dargestellt, umfassen die Treiber **26** für die Wicklungen **14** und **16** des Zweiphasen-Schrittmotors **10** ein Paar von H-Brücken **30**, die von dem Prozessor gesteuert werden. Die Größen der Stromausgänge der H-Brücke werden von Zerhackern **32** gesteuert. Die Zerhacker **32** wirken, um den Motorantrieb ein- oder auszuschalten, wie es erforderlich ist, um die Differenz zwischen den Richtungs- und Größensignalen an den Komparatoreingängen **33** zu minimieren. Die Größensignale werden über die D/A-Umsetzer **28** ([Fig. 2](#)) erzeugt. Der Prozessor **20** wechselt zwischen den separaten Tabellen, die im Speicher **22** gespeichert sind und die spezifischen Daten für die Bereitstellung der passenden Wellenform zum Antrieb des Schrittmotors enthalten. Der Speicher **22** enthält in einer Ausführungsform mehrere Nachschlagetabellen, von denen jede für den Prozessor zur Verwendung während des Betriebs des Motors durch jede Gruppe von Schritten verfügbar war. Der Prozessor ist damit imstande, die Motorantriebs-Wellenformen während des Betriebs zu wechseln und führt dies automatisch aus, wie hierin beschrieben. Der Index der Nachschlagetabelle wird während der Motorumdrehung geändert, so dass der Prozessor immer die richtigen Wellenformen zur Steuerung des Motors verfügbar hat. Beispielsweise wurde eine Nachschlagetabelle für die Beschleunigungswellenformen gespeichert und eine andere wurde für die Vollschrittwellenform gespeichert.

[0048] [Fig. 3](#) zeigt außerdem den Antriebsstrom durch Pfeile, die gestrichelte Schäfte haben, und die Abfallströme durch Pfeile, die durchgezogene Schäfte haben, für die Wicklung der Phase A. Die Zerhacker **32** schalten die Transistoren A1 und A2 abhängig vom Ergebnis des Vergleichs des Größensignals mit dem Richtungssignal durch den Komparator **33** ein.

[0049] In Schrittmotoren **10**, die für medizinische Infusionspumpen wie die in [Fig. 2](#) dargestellte lineare Schlauchpumpe, die an einem Rohr **36** wirken, das zwischen einem Flüssigkeitsreservoir **38** und einem Patienten **40** verbunden ist, verwendet werden, ist ein in [Fig. 4](#) dargestellter Vollschritt-Antriebsmodus

bei einer konstanten Schrittrate unter Umständen nicht der effizienteste Modus zum Betrieb des Motors **10**, um Geräusche und Energieverbrauch zu reduzieren. Wie oben diskutiert, kann die resultierende Schrittperiode eine übermäßige Dauer haben, in der der Hauptanteil der Bewegung des Motors nahe dem Anfang der Periode erfolgt, jedoch Energie als Wärme im Widerstand der Wicklungen **14** und **16** für den Rest der Periode vergeudet wird und unangenehme Geräusche resultieren.

[0050] Jetzt Bezug nehmend auf [Fig. 5](#), ist eine Ausführungsform dargestellt, in der Energie an den Motor in einer nichtlinearen Weise zum Starten der Motorbewegung angelegt wird. Der Wicklungsstrom **42** wird in einer exponentiellen Weise angelegt, um zu bewirken, dass der Motor sein maximales Drehmoment bei einer schnelleren Rate erreicht, als wenn eine lineare Zunahme des Wicklungsstroms **44** verwendet werden würde. Dieses Konzept resultiert in einem sanften Übergang zu einem hohen Drehmomentausgang mit einer niedrigen Anfangsrate der Zunahme des Drehmoments, wodurch weniger Geräusche erzeugt und weniger Energie verbraucht werden, als wenn ein lineares Vorgehen verwendet werden würde. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, wird der Spitzenwicklungsstrom **46** beim exponentiellen Anlegen von Energie an den Motor viel schneller erreicht als beim linearen Anlegen. In dieser Ausführungsform wird der Spitzenwicklungsstrom innerhalb eines Motorschritts angelegt. Obgleich nicht dargestellt, wird ein gleiches Vorgehen am Punkt der Verlangsamung des Motors verwendet. Die Energie wird in dieser Ausführungsform in einer nichtlinearen abnehmenden Weise weggenommen, eine exponentielle Abnahme.

[0051] [Fig. 6](#) präsentiert einen Graphen der Motorbewegung als ein Ergebnis der in [Fig. 5](#) dargestellten exponentiellen Zuführung von Energie. Der Motor erreicht die maximale Winkelgeschwindigkeit **43** schneller durch exponentielle Beschleunigung **45** als durch lineare Beschleunigung **47**. Dies wird darin resultieren, dass der Motor eine etwaig vorhandene Resonanzfrequenz schneller und mit weniger resultierenden Geräuschen durchläuft als bei Verwendung des linearen Konzepts. In dieser Ausführungsform hat der Motor seine Spitzenwinkelgeschwindigkeit innerhalb von vier Motorschritten erreicht. Außerdem ist bei exponentieller Beschleunigung weniger Energie erforderlich, um die gewünschte Drehzahl zu erreichen.

[0052] Jetzt Bezug nehmend auf [Fig. 7](#), sind zwei Zeitrahmen **48** und **50** von Phasenströmen A **51** und B **53** für einen Schrittmotorantrieb dargestellt. In jedem Zeitrahmen wird der Motor durch eine vorbestimmte Gruppe von Schritten **52**, **54** und **56** bewegt und wird dann für den Rest des Zeitrahmens **58** gestoppt. Folglich enthält jeder Zeitrahmen Perioden

der Beschleunigung **52**, der maximalen Schrittrate **54**, der Verlangsamung **56** und der Energieausschaltung oder des Stopps **58** (obwohl Ziffern nur an einem Rahmen dargestellt sind). Im ausgeschalteten Intervall wird der Rotor in dieser Ausführungsform durch das Haltemoment seines Permanentmagnetfelds in Position gehalten. Es hat sich gezeigt, dass Antreiben des Motors für die gleiche durchschnittliche Schrittrate in der dargestellten Weise, d. h. nichtlineare Beschleunigung auf eine ausgewählte maximale Schrittrate, Verlangsamung durch eine nichtlineare Abnahme der Schrittrate und Ausschalten, im Verbrauch von weniger durchschnittlicher Energie zur Steuerung des Motors resultiert als der in [Fig. 4](#) dargestellte Antrieb mit konstanter Rate.

[0053] [Fig. 8](#) zeigt zwei Wicklungsstrom-Wellenformen **51** und **53** der Gruppe von Schritten in einem einzelnen Zeitrahmen von [Fig. 7](#) mit mehr Details. [Fig. 8](#) wird in der folgenden Diskussion mit den Vektordiagrammen in [Fig. 9](#) betrachtet. [Fig. 9](#) enthält Graphen, die Beschleunigungs-Verlangsamungs- und Konstantdrehzahl-Vektorsequenzen für den durch die in [Fig. 8](#) dargestellte Wellenform angetriebenen Zweiphasen-Schrittmotor **10** zeigen. Die Graphen veranschaulichen die drei Abschnitte der Wellenform und ihre korrespondierenden Motorschritte und Mikroschritte. Die Vektoren geben die Richtung und Größe des Motormagnetfelds an, die auf den Rotor **12** bei jedem Mikroschritt wirken. Der Beschleunigungsabschnitt veranschaulicht die schnell zunehmende Schrittrate (d. h. abnehmende Mikroschritte für anschließende Schritte), während der Rotor die Drehzahl durch Verwendung eines modifizierten „Eine Phase an“-Modus erhöht. Der Abschnitt der hohen Drehzahl, der durch die modifizierte Vollwellen-Wellenform erhalten wird, hält die konstante Drehzahl des Motors mit genauer Positionierung aufrecht. Der Verlangsamungsabschnitt zeigt die schnell abnehmende Schrittrate, während der Motor die Drehzahl wieder mit einem modifizierten „Eine Phase an“-Modus verringert. Im Mikroschritt Nr. **40**, dem Ende des Verlangsamungsabschnitts, ist der Rotor nahe seiner Halteposition, bevor der Strom zu den Motorwicklungen abgeschaltet wird. Der Rotor stoppt in einer „Eine Phase an“-Position, bevor die Wicklung ausgeschaltet wird. Der Rotor wird dann durch das Haltemoment, der vom Permanentmagneten des Rotors erzeugt wird, in Position gehalten, bis die nächste Gruppe von Schritten auf den Motor angewandt wird. Dies resultiert in genauer Positionierung des Motors ohne die Verwendung von Strom zum Halten der Position.

[0054] Während der Beschleunigung und Verlangsamung wird der Motor mit einer modifizierten „Eine Phase an“-Wellenform angetrieben. Dies korrespondiert mit den Schritten **1-4** und **16-18**, worin jeder Schritt mit dem Motor in einer Halteposition beginnt und endet, in der die eine energetisierte Wicklung

oder Phase ohne irgendein resultierendes Motordrehmoment ein- oder ausgeschaltet werden kann. In der dargestellten gegenwärtigen Ausführungsform wird ein modifizierter „Eine Phase an“-Antriebsmodus verwendet, um eine sanftere Beschleunigung durch den Motor zu erreichen. Das Magnetfeld befindet sich nicht präzise in der Halteposition, sondern wird am Ende der Beschleunigung in den Motorschritten 2 und 3 etwas verzögert, um den Rotor für den Übergang zum Antrieb mit hoher Drehzahl vorzubereiten. Das Feld wird in ähnlicher Weise am Ende jedes Verlangsamungsschritts etwas verzögert, um den Rotor darauf vorzubereiten, zu einem Stopp präzise an der Halteposition in dem Moment, in dem der Wicklungsstrom weggenommen wird, auszulaufen. Der Betrag, zu dem die zweite Wicklung energisiert wird, um diese Modifizierung zu realisieren, ist von den physikalischen Parameter des Motors abhängig. Beispielsweise können das Trägheitsmoment des Rotors, die Stärke des Haltefelds und der Widerstand und die Induktanz der Motorwicklungen alle die Geräusche des Motors beeinflussen und für die Modifizierung der „Eine Phase an“-Wellenform bei der Auswahl berücksichtigt werden.

[0055] Die „Eine Phase an“-Antriebsmodi werden zu Mikroschritten zwischen „Eine Phase an“-Positionen des Rotors während der Bewegung des Motors modifiziert. Durch vorübergehende Energetisierung von mehr als einer Wicklung während jedes Schritts können das Drehmoment erhöht und eine sanfte Feldvektorversetzungssequenz bereitgestellt werden. Mikroschritte werden in der modifizierten „Eine Phase an“-Wellenform verwendet, um die Winkelverschiebung und Geräusche zu reduzieren und eine sanftere Beschleunigung für den Motor bereitzustellen. Eine bevorzugte Mikroschrittsequenz erzeugt eine exponentiell steigende Stromgröße während des anfänglichen Beschleunigungsschritts, wie in [Fig. 5](#) dargestellt.

[0056] Wie oben erwähnt, wird der Motor vorzugsweise zu Beginn des Zeitrahmens bei einer exponentiell ansteigenden Schrittrate beschleunigt, bis die maximale Schrittrate für den Motor in einer minimalen Zeit erreicht wird. Eine exponentiell ansteigende Schrittrate gestattet es der Schrittrate, die Resonanzfrequenzen des Motors schneller zu passieren, wodurch akustische Geräusche reduziert werden, nachdem der Motor von einer stationären Position mit einer niedrigen anfänglichen Winkelbeschleunigung gestartet wird. Die niedrige anfängliche Winkelbeschleunigung gestattet die Verwendung eines niedrigen anfänglichen Motordrehmoments, das wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$\tau = J\alpha$$

wobei τ das Motordrehmoment, α die Winkelbeschleunigung und J das Trägheitsmoment der Last

sind.

[0057] Geräusche werden reduziert, indem der Motor von einer stationären Position mit einer niedrigeren Veränderungsrate des Drehmoments gestartet wird, als sie bei einer linearen Zunahme der Motorstromvektorgroße erfolgen würde. Die endgültige Stromvektorgroße eines Motorschritts muss ausreichend sein, um die erforderliche „Drehmomentreserve“ zu erzeugen, die den Motorstart mit einer mechanischen Last unter ungünstigsten Bedingungen gewährleistet. Ein ansteigendes exponentielles Stromprofil gestattet es, diesen endgültigen Wert in einer gegebenen Periode, d. h. einem Schritt des Motors, mit einer niedrigeren anfänglichen Veränderungsrate von Strom und Drehmoment zu erreichen.

[0058] Das niedrige anfängliche Drehmoment reduziert sowohl den Energieverbrauch als auch die Geräusche. Da das Drehmoment eine lineare Funktion des Wicklungsstroms für Betrieb unterhalb der Sättigung ist, wird nur ein niedriger anfänglicher Wicklungsstrom benötigt, der den Energieverbrauch reduziert. Die Strompegel in den anfänglichen Beschleunigungsschritten haben die stärksten Wirkungen auf den Energieverbrauch, da diese Schritte die längste Dauer der Gruppe von Schritten aufweist. Sämtliche der Schritte enthalten Mikroschritte konstanter Periode und die anfänglichen Beschleunigungsschritte enthalten die größte Zahl von Mikroschritten. Die Verwendung eines exponentiell ansteigenden Beschleunigung bewirkt, dass der Motor seine erwünschte maximale Drehzahl schnell erreicht. Die im Speicher 22 gespeicherten Beschleunigungswellenform-Tabellen können programmiert werden, um den Wicklungsstrom beim Fortschreiten der Beschleunigung zu erhöhen, um den zunehmenden Drehmomentpegel bereitzustellen, der erforderlich ist, um eine nichtlinear ansteigende Beschleunigungsrate aufrechtzuerhalten. Die im Speicher gespeicherten Tabellen enthalten die Werte für die Mikroschritte für die Schrittsequenzen der Wellenform zum Antreiben des Schrittmotors.

[0059] Weiterhin kann das Bandbreitenerfordernis der Steuerung durch die Verwendung von Mikroschritten mit einer konstanten Periode minimiert werden. Die Motorschrittrate in nachfolgenden Schritten während der Beschleunigung kann erhöht werden, indem die Zahl der Mikroschritte pro Motorschritt verringert und eine konstante Mikroschrittperiode beibehalten wird, anstatt die Mikroschrittperiode zu verkürzen und eine konstante Zahl von Mikroschritten pro Schritt beizubehalten. Die Mikroschrittperiode ist das kürzeste Intervall, das aufgelöst werden muss, da der Mikroschritt die erforderliche Bandbreite der Steuerung bestimmt. Normalerweise wird Beschleunigung durch Verkürzung dieser Periode bewirkt, um eine höhere Rate von Mikroschritten pro Zeiteinheit zu erreichen. Erhöhung der Mikroschrittrate erfordert je-

doch eine vergrößerte Bandbreite der Steuerung. Indem die Mikroschrittperiode während der Beschleunigung konstant gehalten wird, wird das Bandbreitenanfordernis der Steuerung konstant und gleich dem für die niedrigste anfängliche Schrittrate gehalten. Da bei der maximalen Rate nur ein Mikroschritt pro Motorschritt vorhanden ist, ist die Motorschrittperiode bei der maximalen Rate gleich der Mikroschrittperiode bei der niedrigsten anfänglichen Rate, wie in [Fig. 8](#) dargestellt, in der die Mikroschritte auf den horizontalen Achsen dargestellt sind und die Motorschritte zwischen den zwei Graphen mit Pfeilen, die die Zahl des Motorschritts umgeben, dargestellt sind. Verringerung der Zahl von Mikroschritten pro Motorschritt während der Beschleunigung des Motors ist akzeptabel, weil die Veränderungsrate des Drehmoments bei höheren Schrittraten durch die Motorinduktanz geglättet wird und der Motor dahin tendiert, gegenüber Drehmomentänderungen bei hohen Drehzahlen weniger empfindlich zu sein.

[0060] Sobald die gewünschte Drehzahl für den Schrittmotor **10** erreicht ist, wird eine modifizierte Vollschrittelwellenform für den Abschnitt maximaler konstanter Rate der Gruppe von Schritten für den Antrieb des Zweiphasen-Schrittmotors **10** verwendet. Für Schrittmotoren, die mehr als zwei Phasen haben, kann eine andere Wellenform wünschenswert sein. Wie in [Fig. 8](#) dargestellt, wechselt für jeden Schritt der modifizierten Vollschrittelwellenform **51** und **53** ein Wicklungsstrom stetig die Polarität, während die andere ungefähr konstant bleibt. Dies ist ausführlicher in [Fig. 10](#), [Fig. 11A](#) und [Fig. 11B](#) mit Phase-A-Strom **60** und Phase-B-Strom **62** dargestellt. Die Rate, bei der die Polaritätsänderung erfolgt, ist eine Funktion der Induktanz des Motors und der Bürdenspannung des Motortreibers, wie ausgedrückt durch:

$$\frac{dI_{\text{WINDING}}}{dt} = \frac{V_{\text{compliance}}}{L}$$

[0061] Da $V_{\text{compliance}}$ und die Motorinduktanz, L , konstant sind, ändert sich der Strom in der Wicklung, der einer Polaritätsumkehrung unterzogen wird, ungefähr wie eine lineare Funktion der Zeit, bis er am Ende der Schrittperiode seinen endgültigen Wert erreicht. Eine gewisse Nichtlinearität kann durch den Widerstand der Motorwicklung eingeführt werden. Die tatsächliche Feldvektorverschiebung ist eine stetige analoge Funktion, die durch die Induktionsabnahme der Motorwicklung bestimmt wird, wie in [Fig. 10](#), [Fig. 11A](#) und [Fig. 11B](#) dargestellt. Die andere Wicklung wird auf einem Konstantstrom **66** gehalten, der gleich dem oder kleiner als der endgültige Wert der Abnahme ist. Der Konstantstrompegel **66** wird ausgewählt, um den Energieverbrauch zu minimieren und gleichzeitig das erforderliche minimale Drehmoment bei hoher Drehzahl für die spezifizierte Last bereitzustellen.

[0062] Wenn der Motor bei seiner maximalen Dreh-

zahl, die so ausgewählt wird, dass sie gut oberhalb seiner Resonanz liegt, angetrieben wird, sind die akustischen Geräusche, die normalerweise mit Vollschrittelantrieb assoziiert sind, reduziert. Akustische Geräusche sowie Energieverbrauch können weiter reduziert werden, indem, wie oben beschrieben, der Konstantstrompegel auf einen Wert optimiert wird, der den Energieverbrauch minimiert und gleichzeitig das erforderliche minimale Drehmoment bei hoher Drehzahl für die spezifizierte Last bereitstellt. Dies resultiert in dem „modifizierten“ Vollschrittelantriebsmodus. Da eine Komponente des Stromvektors sich während jedes Schritts hoher Drehzahl stetig vom anfänglichen zum endgültigen Wert verändert, ist die resultierende Feldvektorverschiebung ([Fig. 11B](#)) stetig und es werden weniger Geräusche erzeugt. Es ist keine Vergrößerung der Bandbreite der Steuerung über die der niedrigsten anfänglichen Antriebsrate erforderlich. Wie in [Fig. 8](#) ersichtlich, hat jeder Schritt der Vollschrittelwellenform **51** und **53** eine Periode, die vorzugsweise gleich der Periode eines Mikroschritts ist.

[0063] [Fig. 11A](#) zeigt mehr Einzelheiten eines Teils der Wellenform von [Fig. 10](#) mit willkürlichen Zeitinkrementen entlang der horizontalen Achse. Es ist ersichtlich, wie der Phase-A-Strom **60** einen stetigen Polaritätsübergang innerhalb eines Motorschritts (acht willkürliche Zeitinkremente) vollführt, was in verminderten Geräuschpegeln resultiert. Diese willkürlichen Zeitinkremente werden wieder in [Fig. 11B](#) verwendet, um die Feldvektorverschiebung innerhalb eines Motorschritts darzustellen. Es erfolgt eine stetige Vektordrehung ohne diskrete Schritte, die zu höheren Geräuschpegeln führen. Anstatt dem Strom zu gestatten, den in [Fig. 10](#) dargestellten endgültigen Abnahmewert zu erreichen, wird die Stromabnahme auf den Konstantstrompegel **66** begrenzt, so dass die Polaritätsumkehrung einen Motorschritt dauert.

[0064] Während der Verlangsamung wird der Motor erneut mit einer „Eine Phase an“-Wellenform angetrieben, die für Mikroschritte zwischen den einzelnen „Eine Phase an“-Positionen modifiziert ist, die mit dem Motor in einer Halteposition beginnen und enden, wobei die eine energisierte Wicklung oder Phase im endgültigen Schritt der Gruppe ohne irgendein resultierendes Motordrehmoment ein- oder ausgeschaltet werden kann. Mikroschritt-Antriebsmodi werden von den „Eine Phase an“-Antriebspositionen unterbrochen, um das Drehmoment zu erhöhen und eine sanfte Feldvektorverschiebungssequenz bereitzustellen. Es ist keine Energie erforderlich, um den Motor in der endgültigen stationären Halteposition für die Gruppe von Schritten zu halten. Der Permanentmagnet im Rotor **12** hält den Schrittmotor **10** in der Halteposition. Folglich kann die Energie zwischen Gruppen von Schritten ausgeschaltet werden, um den durchschnittlichen Energieverbrauch des Schrittmotors **10** in einem Zeitrahmen zu reduzieren.

[0065] Während des Systemsverlaufs durch die Perioden der Beschleunigung, der hohen Drehzahl und der Verlangsamung wechselt der Prozessor **20** die Tabellenindizes, um durch die separaten Tabellen zu gehen, die die Wellenformen für Beschleunigung, hohe Drehzahl und Verlangsamung enthalten. Die Zahl der Schritte im Zeitrahmen, die Gesamtzeit des Zeitrahmens und die Länge des Intervalls ohne Energiezuführung werden vom Prozessor **20** gesteuert, um die durchschnittliche Schrittrate des Motors präzise zu bestimmen. Bestimmte medizinische Vorrichtungen wie Flüssigkeitspumpen können Drehung bei einer ausgewählten durchschnittlichen Rate durch Gruppierung von Schritten anwenden, um Infusate mit der richtigen Dosierung abzugeben. Siehe beispielsweise die US-Patentanmeldung lfd. Nr. 08/305677, eingereicht am 12. September 1994, für Butterfield et al mit dem Titel „System for Increasing Flow Uniformity“.

[0066] Da die durchschnittliche Schrittrate des Motors durch die Zahl von Schritten in der Schrittgruppe und den Intervallen ohne Energiezuführung zwischen den Gruppen bestimmt wird, können die gleiche maximale Schrittrate und das gleiche Beschleunigungs-Verlangsamungsprofil für jede gewünschte durchschnittliche Schrittrate verwendet werden, und optimale Effizienz kann bei allen durchschnittlichen Schrittraten erreicht werden, indem eine optimale hohe Schrittrate ausgewählt wird. Die gleiche Bürdenspannung für den Schrittmotor kann bei allen durchschnittlichen Raten verwendet werden, weil dieselbe maximale Schrittrate für den Motor verwendet wird. Nur die Zahl der Schritte in der Gruppe von Schritten und das Intervall ohne Energiezuführung müssen geändert werden, um die gewünschte durchschnittliche Rate für den Motor anzupassen. Die Bürdenspannung ist die maximale Spannung, die erforderlich ist, um einen spezifischen Stromwert über einen Bereich von Lastwiderständen aufrechtzuerhalten. Der erforderliche Antriebsalgorithmus und die erforderliche Hardware sind gegenüber denen, die erforderlich sind, um die Effizienz eines Motors unter Verwendung eines Maximalraten-Schrittantriebs zu optimieren, vereinfacht, weil dieselbe konstante Schrittrate verwendet wird, um jede gewünschte durchschnittliche Rate zu erreichen. Dieselbe maximale Schrittrate für die Wellenform, die für optimale Motoreffizienz ausgewählt wird, wird unabhängig von der gewünschten durchschnittlichen Schrittrate verwendet. Bei Verwendung eines Konstantraten-Schrittantriebs muss eine niedrigere und weniger effiziente konstante Schrittrate verwendet werden, um die gewünschte durchschnittliche Schrittrate zu erreichen.

[0067] Der Schrittmotor **10** hat, wenn er durch die oben beschriebene Kombination von Antriebsmodi angetrieben wird, einen niedrigeren durchschnittlichen Energieverbrauch als einer, der von einem Kon-

stantraten-Schrittantriebssignal angetrieben wird. „Eine Phase an“-Antriebsmodi mit niedrigem Energieverbrauch werden verwendet und während der Zeit, die die Schrittgruppen voneinander trennt, wird keine Energie verbraucht. Die Effizienz des Motors wird optimiert, indem eine hohe maximale Schrittrate ausgewählt wird, deren Periode der erforderlichen Wicklungsstrom-Abnahmezeit entspricht, die durch Motorinduktanz und Bürdenspannung bestimmt wird, um die in [Fig. 10](#), [Fig. 11A](#) und [Fig. 11B](#) dargestellte Wellenform zu erhalten.

[0068] [Fig. 12](#) zeigt ein Ablaufdiagramm, das die Operation eines Steuerungssystems mit offener Schleife nach den Grundsätzen der Erfindung darstellt. Wenn die Motorbewegung beginnen soll **80**, beschleunigt der Motor als ein Ergebnis des exponentiellen Anlegen von Strom an die Wicklungen **82**. Ein „Eine Phase an“-Antriebsmodus, der für Mikroschrittbetrieb zwischen „Ein Schritt an“-Positionen modifiziert ist, wird mit abnehmenden Zahlen von Mikroschritten während der Beschleunigen verwendet **84**. Wenn der Motor eine vorausgewählte Drehzahl erreicht hat **86**, wird ein modifizierter Vollschrattantrieb verwendet **88**. Wenn nach Umdrehungen für die erforderliche Zahl von Schritten im Vollschrattantrieb Verlangsamung erforderlich ist **90**, wird ein „Eine Phase an“-Modus, der für Mikroschrittbetrieb zwischen den „Eine Phase an“-Positionen modifiziert ist, mit zunehmenden Zahlen von Mikroschritten für Verlangsamung verwendet **92**. Die Verlangsamung wird durch die exponentielle Wegnahme von Energie zum Motor bewirkt. Wenn der Motor sich an einer Halteposition befindet **94**, wird die Energie ausgeschaltet **96**.

[0069] Während die Erfindung in der Form von bestimmten bevorzugten Ausführungsformen veranschaulicht und beschrieben wurde, ist es klar, dass die Erfindung zahlreichen Abwandlungen und Anpassungen innerhalb der Fähigkeiten von Fachleuten unterzogen werden kann. Daher versteht es sich, dass verschiedene Änderungen in Form, Detail und Nutzung der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne den Rahmen der beigefügten Patentansprüche zu verlassen.

Patentansprüche

1. Steuersystem zur Steuerung der Bewegung eines Schrittmotors (**10**), umfassend:
eine Energiequelle;
eine Steuerung (**20**), die Energie aus der Energiequelle anlegt, um den Motor (**10**) über erste und zweite Motorschritte zu beschleunigen, worin der erste Motorschritt eine erste Mehrzahl von Mikroschritten beinhaltet, und der zweite Motorschritt eine zweite Mehrzahl von Mikroschritten beinhaltet, worin die erste Mehrzahl an Mikroschritten größer als die zweite Mehrzahl an Mikroschritten ist; **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Steuerung (20) Energie aus der Energiequelle an den Motor (10) in einer nicht-linearen Weise anlegt, um den Schrittmotor (10) auf eine vorgewählte Motor-geschwindigkeit zu beschleunigen;
 die Steuerung (20) Energie anlegt, um die vorgewähl-te Geschwindigkeit für eine vorgegebene Zeitdauer beizubehalten; und
 die Steuerung (20) Energie vom Motor in einer nicht-linearen Weise wegnimmt, um den Schrittmotor (10) auf die Feststellposition zu verlangsamen, worin die Motorsteuerung (20) dem Motor (10) keine An-triebssignale bereitstellt, nachdem der Motor (10) in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält.

2. Steuersystem gemäß einem vorhergehenden Anspruch, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung eine konstante Mikroschrittperiode beibe-hält.

3. Steuersystem entweder gemäß Anspruch 1 oder 2, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (20) Energie aus der Energiequelle an-legt, um den Motor (10) über einen dritten Motor-schritt zu beschleunigen, worin der dritte Motorschritt eine dritte Mehrzahl an Mikroschritten beinhaltet, wo-rin die zweite Mehrzahl an Mikroschritten größer als die dritte Mehrzahl an Mikroschritten ist.

4. Steuersystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Steu-erung (20) Energie aus der Energiequelle an den Mo-tor (10) in einem "Eine Phase an"-Antriebsmodus, der für einen Mikroschrittbetrieb zwischen den "Eine Phase an"-Positionen während der Bewegung des Motors (10) modifiziert ist, anlegt, worin die Steu-erung (20) den Motor (10) durch Variieren der Anzahl von Mikroschritten pro Motorschritt steuert, während eine konstante Mikroschrittperiode beibehalten wird; worin die Steuerung (20) den Motor zur Beschleuni-gung durch eine abnehmende Anzahl an Mikroschrit-ten pro Motorschritt steuert, während eine konstante Mikroschrittperiode beibehalten wird.

5. Steuersystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Steu-erung (20) Energie von dem Motor (10) in einem "Ei-ne Phase an"-Antriebsmodus wegnimmt, der für ei-nen Mikroschrittbetrieb zwischen den "Eine Phase an"-Positionen während der Bewegung des Motors (10) modifiziert ist, endend in einer "Eine Phase an"-Position für den letzten Schritt des Motors (10), bevor die Energie vollständig weggenommen ist, und worin die Steuerung (20) den Motor (10) zur Verlang-samung durch eine zunehmende Anzahl an Mikro-schritten pro Motorschritt steuert, während eine kon-stante Mikroschrittdauer beibehalten wird.

6. Steuersystem gemäß einem der vorhergehen-den Ansprüche, ferner dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuerung (20) Energie an den Motor (10) in einem Vollschrittmodus anlegt, nachdem der Motor (10) eine vorgewählte Geschwindigkeit erreicht hat.

7. Steuersystem gemäß Anspruch 6, ferner da-durch gekennzeichnet, dass, wenn der Vollschrittmo-dus vorliegt, die Steuerung (20) Energie aus der En-ergiequelle an den Motor (10) derart anlegt, dass der Motor (10) sich mit einem Mikroschritt pro Motor-schritt bewegt, wobei während einer von wenigstens zwei Phasen des Schrittmotors sich die Polarität än-dert, während die andere Phase auf einem konstan-ten Wert bleibt, und eine Schrittrate derart gewählt wird, dass die Polaritätsänderung in einer Motor-schrittperiode durchgeführt wird, wodurch eine sanfte Motorfeldverschiebung erreicht wird.

8. Steuersystem gemäß einem der vorhergehen-den Ansprüche, ferner dadurch gekennzeichnet, dass der Schrittmotor (10) einen Pumpenmechanis-mus (34) zur Abgabe einer medizinischen Flüssigkeit an einen Patienten.

9. Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Schrittmotors (10) der sich in einer Reihe von Motor-schritten bewegt, wobei das Verfahren umfasst:
 Steuerung des Schrittmotors (10), um sich über einen ersten Beschleunigungsmotorschritt in einer ersten Mehrzahl an Mikroschritten bewegt;
 Steuerung des Schrittmotors (10), um sich über einen zweiten Beschleunigungsmotorschritt in einer zwei-ten Mehrzahl an Mikroschritten bewegt; wobei der zweite Motorschritt dem ersten Motorschritt nach-folgt, worin die zweite Mehrzahl an Mikroschritten ge-ringer als erste Mehrzahl an Mikroschritten ist; wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass Energie an den Schrittmotor (10) in einer ansteigen-ten nicht-linearen Weise angelegt wird, um den Mo-tor auf eine vorgewählte Motorgeschwindigkeit zu be-schleunigen;
 dass die vorgewählte Geschwindigkeit für eine vor-gegebene Zeitdauer beibehalten wird; und
 dass Energie vom Schrittmotor in einer nicht-linearen Weise weggenommen wird, um nach der vorgegebe-nen Zeitdauer den Schrittmotor (10) von der vorge-wählten Geschwindigkeit auf die Feststellposition zu verlangsamen, worin die Motorsteuerung (20) dem Motor (10) keine Antriebssignale bereitstellt, nach-dem der Motor (10) in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält; und
 eine Schrittrate derart gewählt wird, dass die Polari-tätsänderung in einer Motorschrittdauer durchgeführt wird, wodurch eine sanfte Motorfeldverschiebung er-reicht wird.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, worin beide Schritte der Steuerung des Schrittmotors (10), sich zu bewegen, das Beibehalten einer konstanten Peri-ode für die Mikroschritte beinhaltet.

11. Verfahren gemäß Anspruch 9 oder Anspruch 10, worin der Schrittmotor **(10)** wenigstens zwei Phasen und einen Permanentmagneten hat, der eine Feststellposition in Ruhestellung definiert, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, durch:

Anlegen eines exponentiell zunehmenden Wickelstroms in einer exponentiell ansteigenden Weise, um den Schrittmotor **(10)** auf eine vorgewählte Motorgeschwindigkeit zu beschleunigen; Beibehalten der vorgewählten Geschwindigkeit für eine erste vorgegebene Zeitdauer; und

exponentielles Verringern des Wickelstroms, um den Schrittmotor **(10)** von der vorgewählten Geschwindigkeit auf die Feststellposition nach der ersten vorgegebenen Zeitdauer zu verlangsamen, worin der Motor **(10)** in der Feststellposition für eine zweite vorgegebene Zeitdauer anhält.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, das ferner gekennzeichnet ist durch:

Verlangsamung des Schrittmotors **(10)** in einer Reihe von Verlangsamungsmotorschritten, wobei ein erster der Verlangsamungsmotorschritte in eine erste Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten unterteilt ist, und ein zweiter der Verlangsamungsmotorschritte in eine zweite Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten unterteilt ist;

worin die erste Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten geringer als die zweite Anzahl an Verlangsamungsmikroschritten ist.

13. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 9 bis 12, das ferner gekennzeichnet ist durch:

Antreiben eines Pumpenmechanismus **(34)** mit dem Schrittmotor **(10)** zur Abgabe einer medizinischen Flüssigkeit an einen Patienten.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

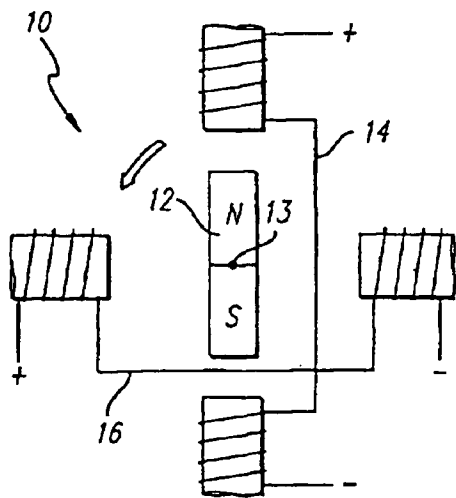


FIG. 1

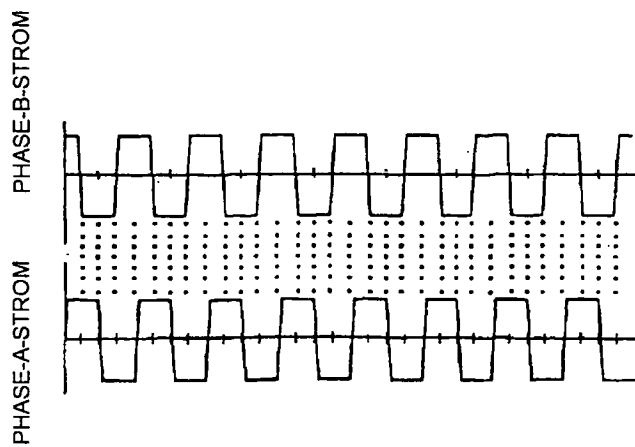
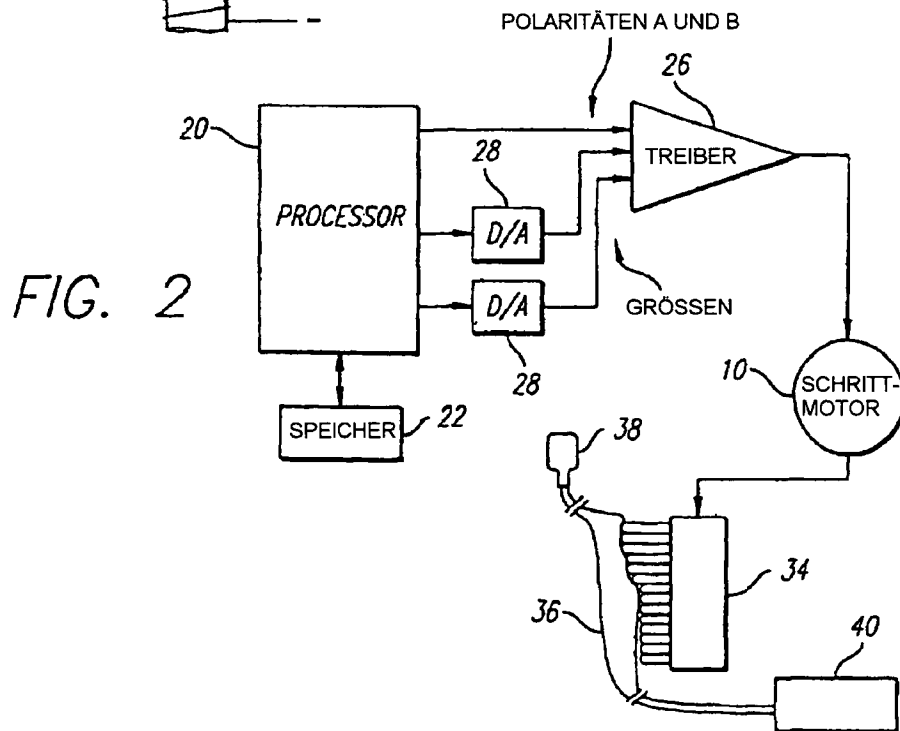


FIG. 4

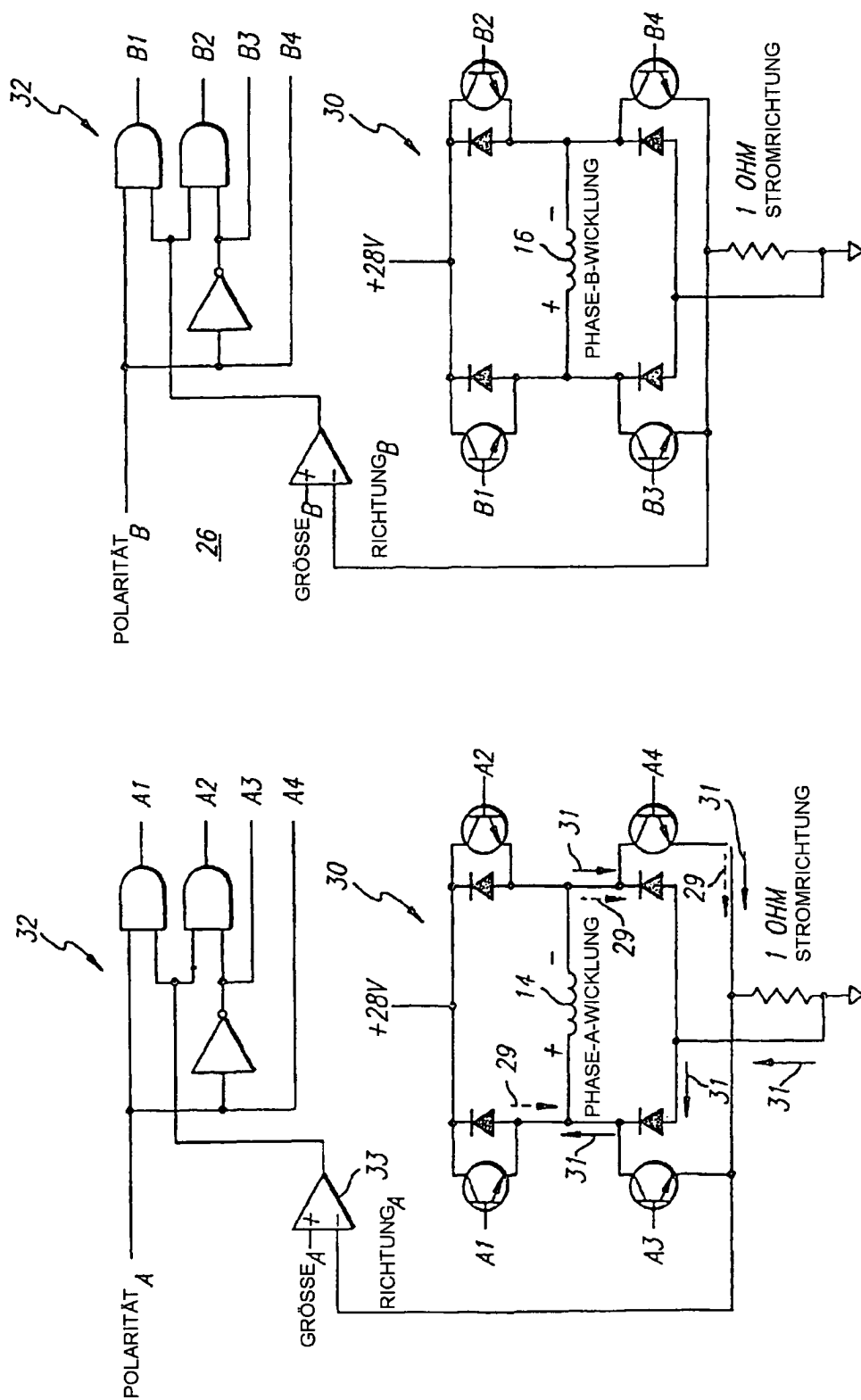


FIG. 3

FIG. 5

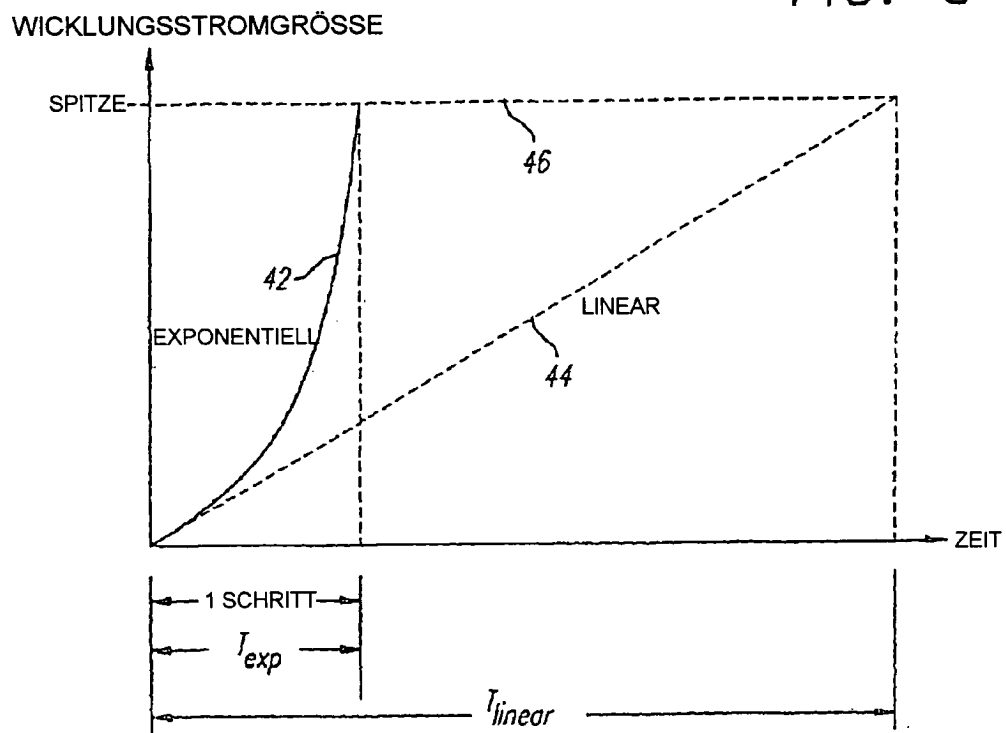
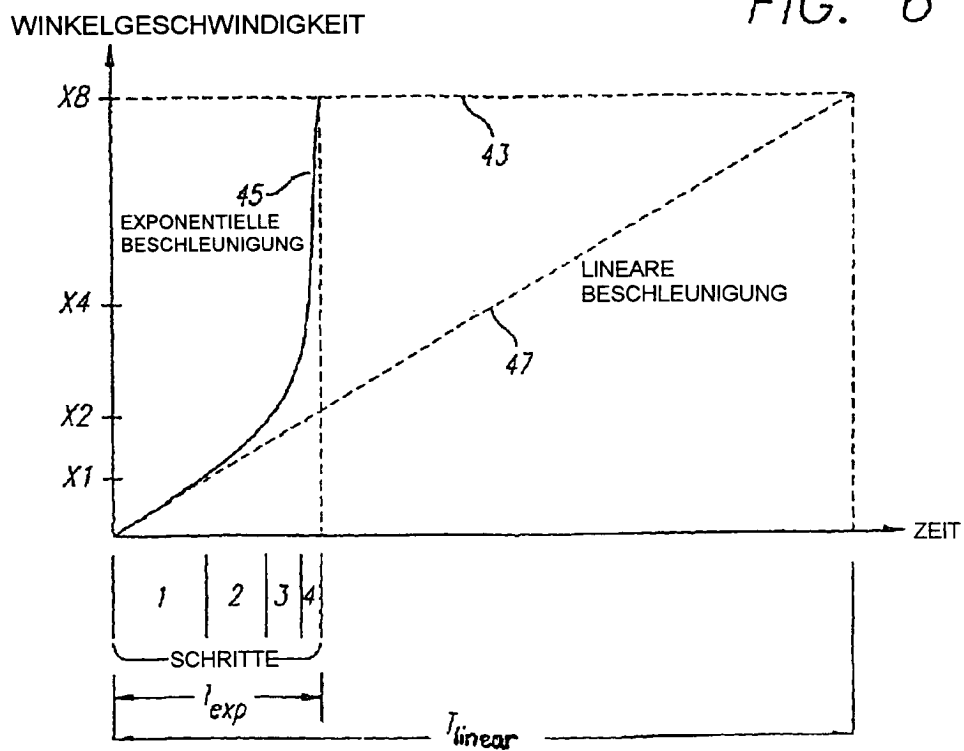


FIG. 6



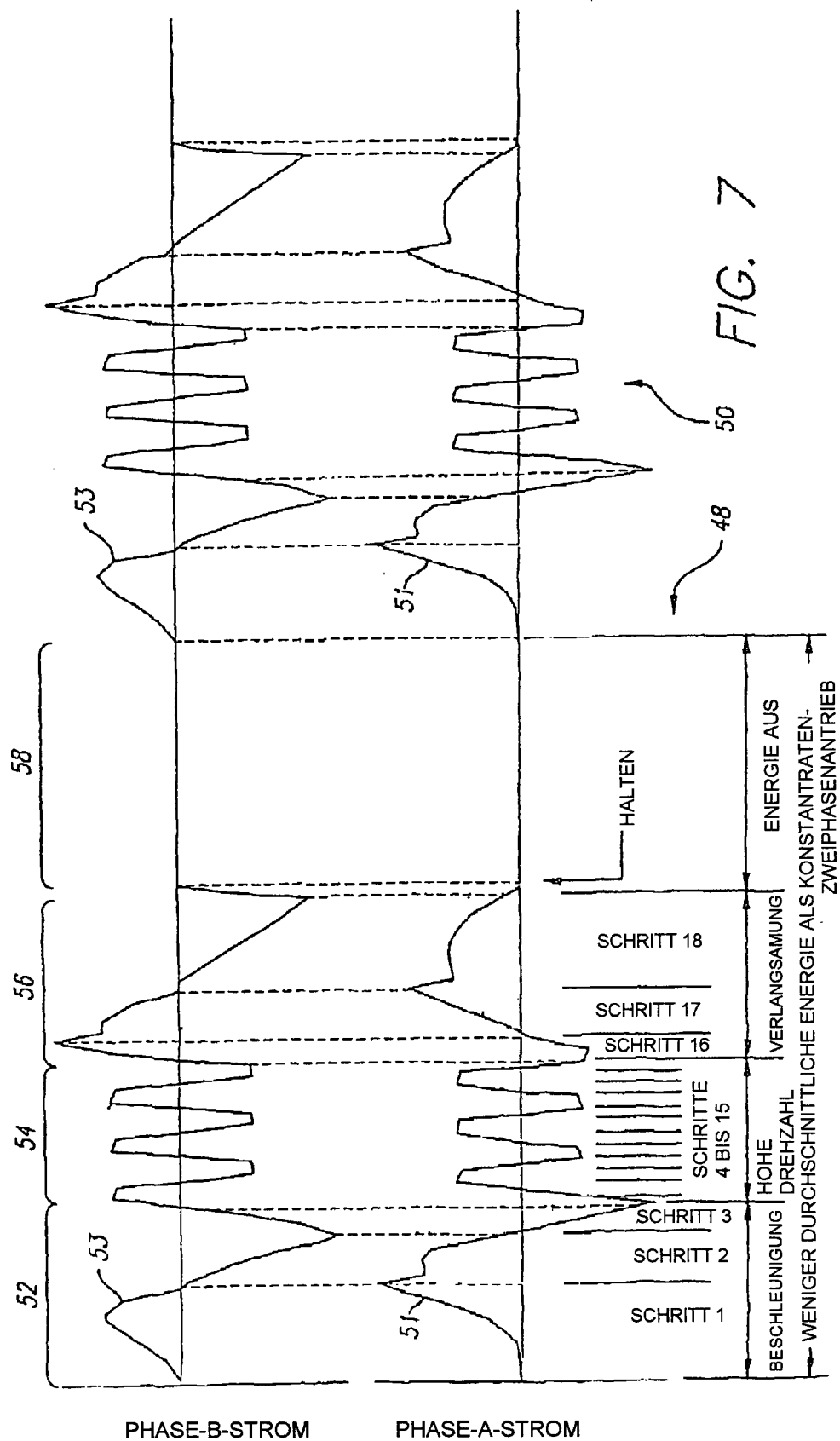
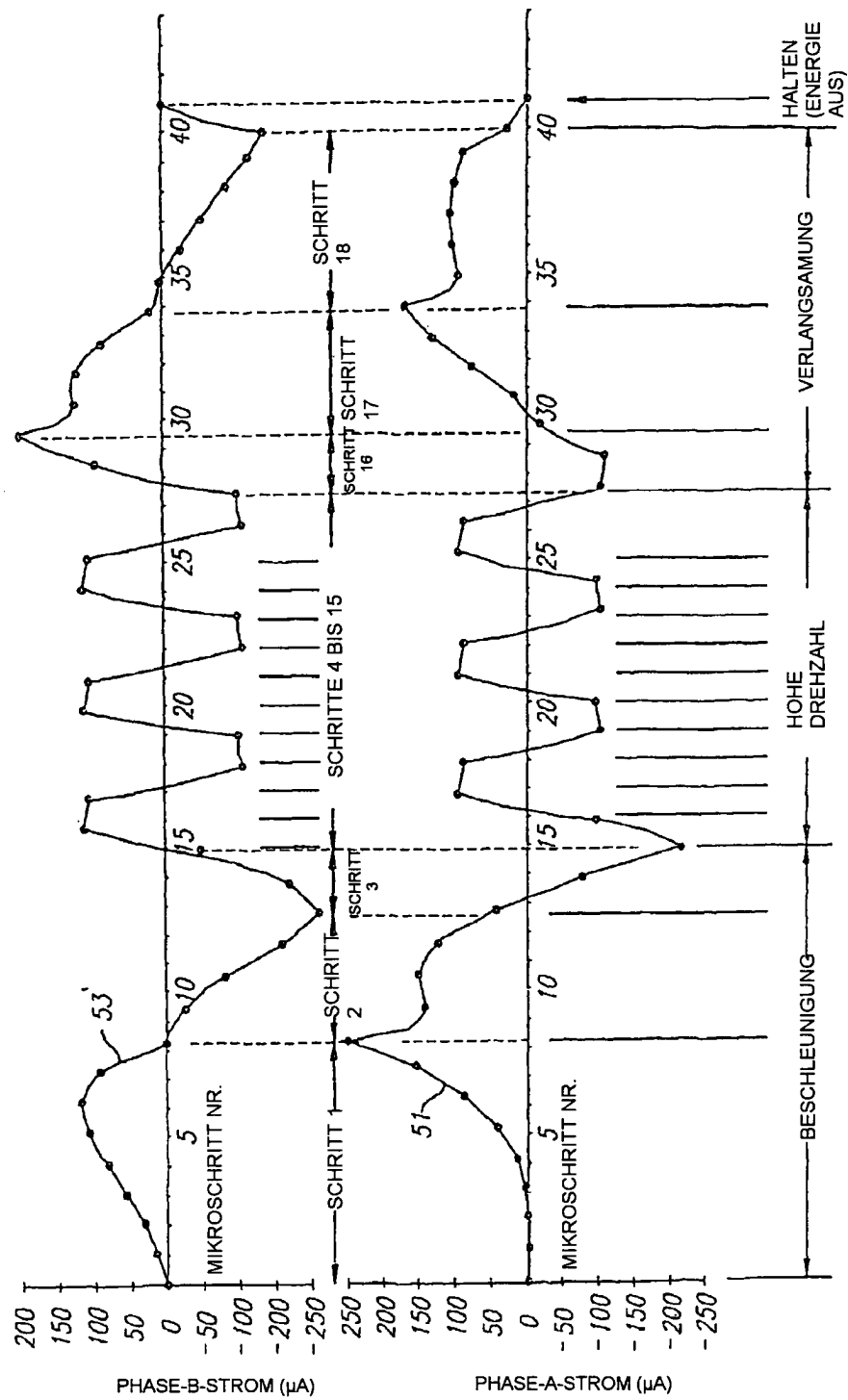


FIG. 8



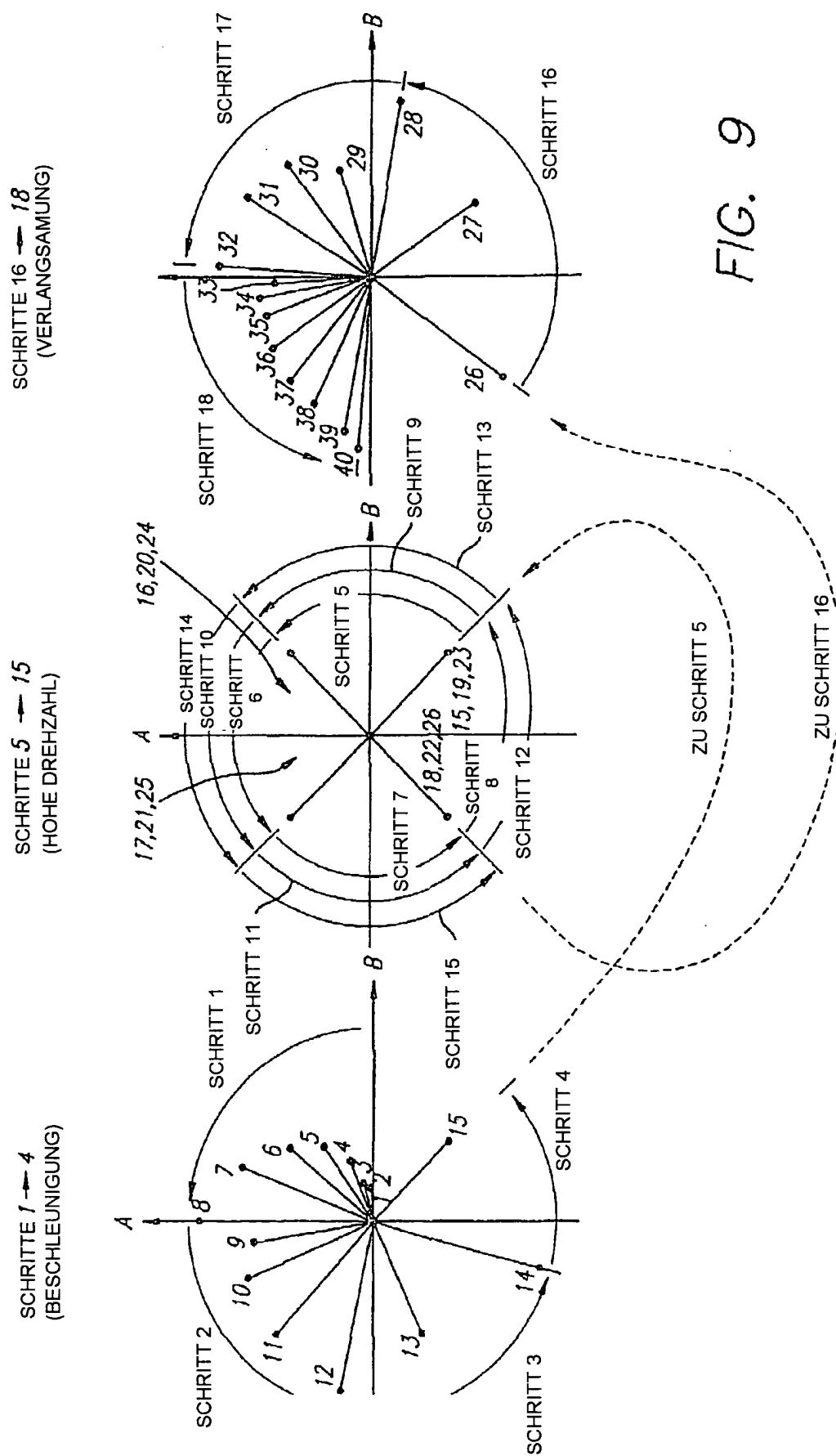


FIG. 10

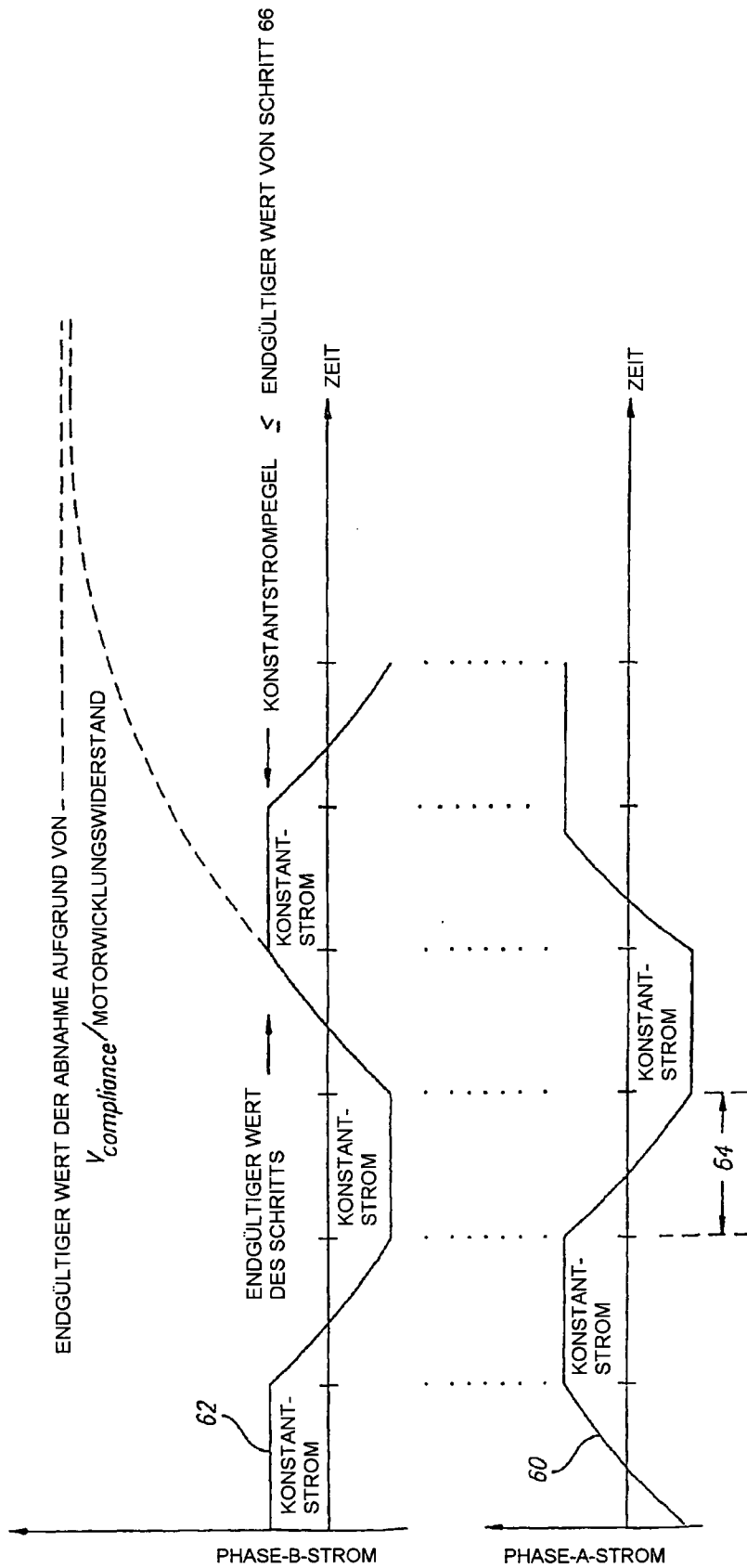


FIG. 11A

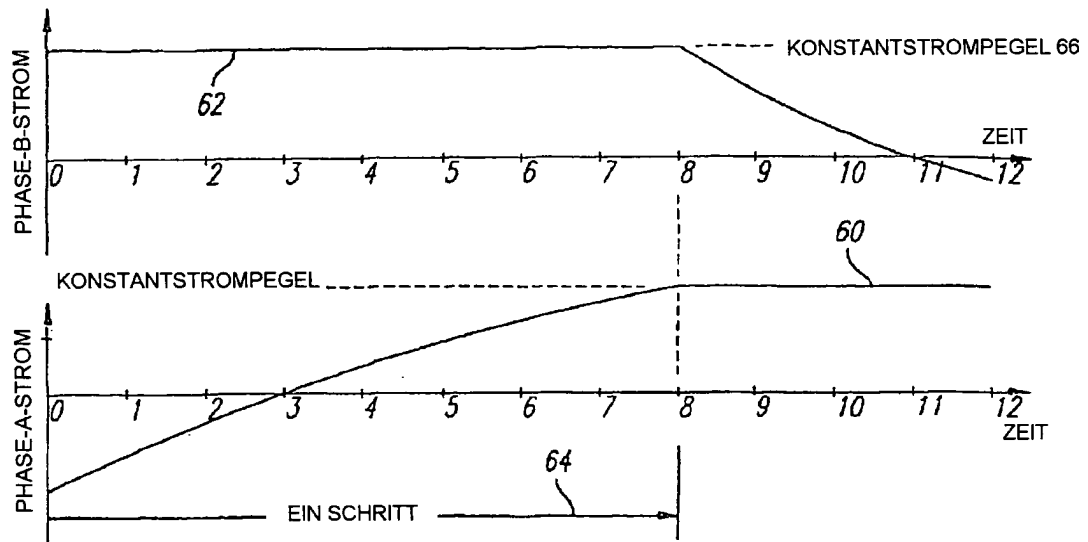


FIG. 11B

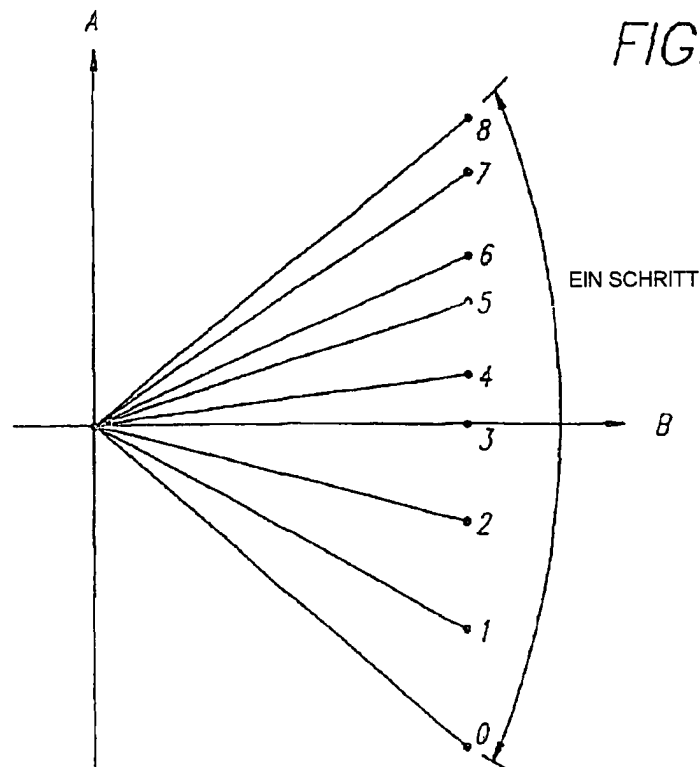


FIG. 12

