



**Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

**211 263**

Int.Cl.<sup>3</sup>

3(51) H 02 P 8/00

**AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

(21) WP H 02 P/ 2361 113

(22) 22.12.81

(45) 04.07.84

(71) VEB ROBOTRON ZFT, ERFURT, DD  
(72) KRAPP, MICHAEL, DR.-ING., DD;

(54) VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR STEUERUNG EINES SCHRITTMOTORS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Schrittmotors im Rückmeldebetrieb bei dem Rückmeldesignale von einem starr am Rotor befestigten Winkelmeßsystem in ihrer Phase mit Steuersignalen für die Moment-Winkel-Kennlinienverschiebung verglichen werden. Beliebige Sollgeschwindigkeitsverläufe über der Zeit bei unterkritischen Lastbedingungen werden sicher realisiert und dynamische oder statische Überlastungen bewirken keine mechanischen Instabilitäten. Das Verfahren wird ausschließlich mit Mitteln der digitalen Schaltungstechnik realisiert. Fig. 2

### Titel der Erfindung

Verfahren und Anordnung zur Steuerung eines Schrittmotors

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines  
5 Schrittmotors im Rückmeldebetrieb, bei dem Rückmeldesigna-  
le von einem starr am Rotor befestigten Winkelmeßsystem in  
ihrer Phase mit Steuersignalen für die Momenten-Winkel-  
Kennlinienverschiebung verglichen werden. Das Verfahren  
sichert unter allen Lastbedingungen und Geschwindigkeits-  
10 vorgaben unkritische Phasenbeziehungen zwischen Momenten-  
Winkel-Kennlinien und Rotorwinkel des Schrittmotors. Die  
Anordnung zur Durchführung des Verfahrens kann in Verbin-  
dung mit entsprechenden Schrittmotoren als robuster und  
zuverlässiger Geschwindigkeitssteller sowie innerhalb von  
15 Lageregelkreisen als präziser Positionierantrieb in mikro-  
elektronisch gesteuerten Geräten der Schreibtechnik, Indu-  
strierobotertechnik, Datenverarbeitung, der Fertigungs-  
automatisierung u. ä. eingesetzt werden.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die ursprüngliche Konzeption der Steuerung von Schrittmotoren sieht vor, daß die Ströme der Phasenwicklungen zyklisch und impulsförmig mit einer durch die konstruktive  
5 Ausführungsform und die gewünschte Drehzahl bestimmten Frequenz umgeschaltet werden. Eine Rückmeldung der Rotorstellung in die Phasenstromsteuerung ist dabei nicht vorgesehen, vielmehr wird der Vorteil des Schrittmotors gerade darin gesehen, daß mit ihm eine Geschwindigkeitssteuerung in offener Steuerkette möglich ist.  
10

Die oft und ausführlich beschriebenen wesentlichen Nachteile dieses Verfahrens sind einerseits die Empfindlichkeit des Systems gegenüber Lastschwankungen und andererseits die durch den Impulsbetrieb verursachte Selbsterregung von mechanischen Schwingungen.  
15

Unter Beibehaltung des Prinzips der offenen Steuerkette wurden viele Verfahren und Anordnungen zur Verminderung der genannten Nachteile vorgeschlagen. Insbesondere werden zur Vermeidung unzulässiger, dynamischer Lastschwankungen  
20 Vorschläge zur zeitlich definierten Beschleunigung von Schrittmotoren gemacht. Stellvertretend für eine Fülle entsprechender Veröffentlichungen sollen die US-Patente 3766 462 und 3812 414 sowie DE-OS 2755 535 genannt werden.

25 Die genannte mechanische Selbsterregung wird dadurch stark vermindert, daß statt impulsförmiger Fortschaltung der Wicklungsströme eine quasi kontinuierliche Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie durch das sogenannte "microstepping"-Verfahren realisiert wird. Als repräsentative  
30 Veröffentlichung dazu sei auf Gügg, H.; Sax, H. "Schrittmotoren - optimal angesteuert", Elektronik 1980, Heft 26,

S. 43 - 49 verwiesen.

Trotz der genannten Verbesserungen des Prinzips der offenen Steuerkette sind diese Maßnahmen für viele Anwendungen nicht ausreichend zum sicheren und optimalen Betrieb von  
5 Schrittmotoren. Vor allem steigende Anforderungen an die Dynamik der Antriebe erzwingen die Einführung von Rückmeldeimpulsgebern.

In den dazu veröffentlichten Lösungsvorschlägen wird der Rückmeldeimpulsgeber generell dazu benutzt, die zyklische  
10 Fortschaltung der Phasenströme nur in Abhängigkeit definierter Winkellagen des Rotors zuzulassen, was als sogenannte "Selbststeuerung" bezeichnet wird.

Damit wird erreicht, daß dynamische Lastschwankungen infolge extremer Beschleunigungen nicht zu Instabilitäten  
15 der Rotorbewegung infolge Überschreitung des sogenannten "Kippmomentes" der periodischen, nullpunktsymmetrischen Momenten-Winkel-Kennlinie auftreten. Je nach Zielstellung unterscheiden sich die einzelnen Vorschläge in der Auflösung und der Art der Verarbeitung der Rückmeldeinformation  
20 in den jeweiligen Steuerschaltungen. In der DE-AS 2421 219 z. B. wird pro konstruktivem Winkelschritt des Rotors ein Impuls erzeugt, der nach Rückführung in die Steuerschaltung zur Auslösung des nächsten Phasenstromfortschaltimpulses benutzt wird. Seine Verzögerung entscheidet über  
25 den zeitlichen Geschwindigkeitsverlauf des Rotors. In den Patentschriften GB 1311 775 und GB 1319 797 wird dieser Effekt durch Ausblenden bzw. Einschieben einzelner Rückmeldeimpulse erreicht. Ähnliche Vorschläge sind aus der DE-AS 2119 352 und der DE-OS 2249 757 bekannt.

30 In der DD-WP 131 213 werden pro konstruktivem Winkelschritt des Rotors mehrere Rückmeldeimpulse erzeugt, aus denen je nach Geschwindigkeit ein Impuls zur momentenmäßig optimalen, schrittweisen Verschiebung der Momen-

ten-Winkel-Kennlinie ausgewählt wird.

Allen dargestellten Verfahren zur "Selbststeuerung" von Schrittmotoren ist gemeinsam, daß sie eine schrittweise Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie in Zahnteilungsperioden vorsehen. Dies ist, wie schon für den Fall der offenen Steuerkette beschrieben, problematisch in bezug auf die mechanische Selbsterregung der Motoren. Insbesondere bei exakter Führung sehr niedriger Drehzahlen, wie dies unter bestimmten Bedingungen z. B. für einzelne Bewegungsachsen in Manipulatoren notwendig ist, ist dies besonders nachteilig und macht die zusätzliche Einführung des Microstepping notwendig.

Eine solche Kombination von Selbststeuerung und Microstepping ist nicht bekannt.

Auch in der weitreichenden DE-AS 1816 357 wird dazu keine Aussage getroffen. Die dort dargelegte Lösung hat außerdem wie ihre Bezugsquellen den Nachteil, daß für Hochlauf und stationären Betrieb zwei unterschiedliche Steueralgorithmen genutzt werden, welche zum Übergangszeitpunkt synchronisiert werden müssen. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß als Stellgröße eine analoge Spannung zur Phasensteuerung eines Taktgenerators verwendet wird, eine konsequente Digitalisierung der Steuerung also nicht möglich ist.

Unter dem Aspekt, daß Schrittmotorantriebe z. B. in der Robotertechnik zunehmend auch in solchen Systemen eingesetzt werden, in denen eine mechanische Verkopplung durch Trägheitskräfte unvermeidlich ist, muß weiterhin damit gerechnet werden, daß nicht nur dynamische Lastmomente durch Eigenbeschleunigungen, sondern auch beträchtliche, externe Störmomente auftreten können. Für den Fall, daß solche Störmomente das Kippmoment des Schrittantriebes überschreiten, sind in den bekannten Verfahren bzw. Steuerun-

gen keine Vorkehrungen dagegen getroffen, daß der Rotor in den Teil der Momentenkennlinie gerät, in welchem sich das Vorzeichen des Antriebsmomentes umkehrt, dieses also die Wirkung der Störung durch Instabilitäten unterstützt.

- 5 Trotz Rückmeldebetrieb vermeiden also diese Steuerungen in solchen extremen Überlastsituationen die Nachteile von Schrittantrieben nicht.

#### Ziel der Erfindung

- Ziel der Erfindung ist es, die für Roboter- oder ähnliche  
 10 Gerätesteueringen beschriebenen Nachteile der bekannten Steuerungen von Schrittmotoren zu beseitigen. Es soll also erreicht werden, daß beliebige Sollgeschwindigkeitsverläufe über der Zeit bei unterkritischen Lastbedingungen sicher realisiert werden und daß dynamische oder statische  
 15 Überlastungen keine mechanischen Instabilitäten bewirken. Weiterhin soll das Verfahren ausschließlich mit Mitteln der digitalen Schaltungstechnik realisierbar sein.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

##### - Technische Aufgabe der Erfindung

- 20 Die technische Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Steuerung eines Schrittmotors im Rückmeldebetrieb anzugeben, bei dem die Rückkopplungs- und Steuersignale so mittels eines einheitlichen Steuerungsalgorithmus phasenmäßig verarbeitet werden, daß einer-  
 25 seits eine Geschwindigkeitsführung des Schrittmotorrotors bei unterkritischer Belastung und andererseits bei überkritischer Belastung die Einhaltung eines mechanisch unkritischen Phasenwinkels zwischen Schrittmotorrotor

und Momenten-Winkel-Kennlinie gewährleistet sind. Weiterhin soll eine Anordnung zur Durchführung eines solchen Verfahrens angegeben werden, die bis auf die Leistungsbaugruppen und das Winkelmeßsystem ausschließlich mit digitalen Mitteln aufgebaut ist.

- Merkmale der Erfindung

Die Aufgabe wird durch eine Steuerung gelöst, in der erfindungsgemäß aus einem mit dem Rotor des Schrittmotors fest verbundenen Winkelmeßsystem zyklisch absolute Positionsinformationen der Rotorstellung innerhalb von Zahn-  
 10 teilungsperioden des Rotors gewonnen werden, und in der aus einem rückmeldefähigen Microsteppinggenerator eben-  
 solche Positionsinformationen über die Stellung der Mo-  
 menten-Winkel-Kennlinie gewonnen werden und in der in-  
 15 nerhalb einer digitalen Steuerschaltung aus dem damit  
 möglichen Phasenvergleich zwischen Rotorstellung und Mo-  
 menten-Winkel-Kennlinie-Stellung Steuersignale für den  
 in Winkelinkrementen steuerbaren Microsteppinggenerator  
 erzeugt werden, welche je nach vorliegender Phasendiffe-  
 20 renz im Microstepping-Generator bewirken:

- eine Freigabe der quasi kontinuierlichen Verschiebung  
 der Momenten-Winkel-Kennlinie mit der durch eine Im-  
 pulsfrequenz vorgegebenen Sollgeschwindigkeit des Ro-  
 25 tors um ein Winkelinkrement durch quasi kontinuierli-  
 che Fortschaltung der Phasenströme bei Nichtüber-  
 schreitung des Kippmomentes zwecks Nachführung des Ro-  
 tors hinter der Momenten-Winkel-Kennlinie;

- oder ein Stoppen der Verschiebung der Momenten-Winkel-  
 Kennlinie durch Konstanthalten der Phasenströme bei  
 30 Erreichen des Kippmomentes durch dynamische Lastmomen-

te zwecks Abbau des wirkenden dynamischen Lastmomentes;

- oder eine diskontinuierliche Verschiebung in Richtung der Rotorablage der Momenten-Winkel-Kennlinie ohne Momentensprung durch Vertauschen entsprechender Phasenströme bei Überschreitung des Kippmomentes durch statische Lastmomente zwecks Nachführung der Momenten-Winkel-Kennlinie hinter dem überlasteten Rotor.

Damit wird gesichert, daß sich bei Normallast der Motor so verhält, als werde er in einer offenen Steuerkette im Microstepping betrieben. Im Überlastfall wird insbesondere durch die angegebene Vertauschung der Phasenströme zusätzlich erreicht, daß der Rotor nie den instabilen Punkt der Momenten-Winkel-Kennlinie erreichen kann, was dem Ziel der Erfindung entspricht.

#### Ausführungsbeispiel

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Schrittmotorsteuerung wird nachstehend anhand der vorteilhaften Ausführungsform einer entsprechenden Anordnung in Form von Schaltbildern, einer Wertetabelle und Impulsdigrammen ausführlich beschrieben. Die Zeichnungen 1 bis 9 stellen dar:

- Fig. 1 : ein Blockschaltbild der Schrittmotorsteuerung für einen vierphasigen Reluktanzschrittmotor;
- Fig. 2 : das detaillierte Logikschaltbild der digitalen Steuerschaltung und des steuerbaren und rückmeldefähigen Microsteppinggenerators innerhalb der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1;

- Fig. 3 : die Wertetabelle der Ausgangssignale der digitalen Steuerschaltung in Fig. 2;
- Fig. 4 : das von den Zuständen der digitalen Steuerschaltung gesteuerte Ausgangsverhalten des Microsteppinggenerators in Fig. 2 mit Trapezzerregung der Phasenströme sowie acht ausgewählte Stellungen der durch diesen Microsteppinggenerator verschiebbaren Momenten-Winkel-Kennlinie des Schrittmotors;
- Fig. 5 : das zu Fig. 4 phasenrichtig gezeichnete Ausgangsverhalten des zyklisch absoluten Winkelmeßsystem an der Schrittmotorwelle;
- Fig. 6.1 : das sich bei positiver Drehrichtung des Rotors und bei: Lastmomenten  $<$  Kippmoment einstellende Impulsdiagramm der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1 bis 5;
- Fig. 6.2 : das sich bei negativer Drehrichtung des Rotors und bei: Lastmoment  $<$  Kippmoment einstellende Impulsdiagramm der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1 bis 5;
- Fig. 7 : das sich bei positiver Drehrichtung des Rotors und: dynamisches Lastmoment  $>$  Kippmoment einstellende Impulsdiagramm der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1 bis 5;
- Fig. 8 : das sich bei positiver Drehrichtung des Rotors und positivem, das Kippmoment kurzzeitig übersteigende, statische Lastmoment einstellende Impulsdiagramm der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1 bis 5;
- Fig. 9 : das sich bei positiver Drehrichtung des Rotors und negativem, das Kippmoment kurzzeitig übersteigende, statische Lastmoment einstellende Impulsdiagramm der Schrittmotorsteuerung nach Fig. 1 bis 5;

Figur 1 gibt den Gesamtüberblick über eine vorteilhafte, das erfindungsgemäße Verfahren realisierende Anordnung zur Schrittmotorsteuerung. Dabei gilt die Voraussetzung, daß ein vierphasiger Reluktanzschrittmotor 11 eingesetzt ist, die Blöcke Leistungsverstärker 12, D/A-Wandler 13 und zyklisch absolutes Meßsystem 14 selbst nicht Gegenstand der Erfindung sind und in einer der vielfältigen, dem Fachmann bekannten Formen ausgeführt sein können. Das Winkelmeßsystem 14 löse eine Zahnperiode der Rotordrehung in acht Inkremente auf, welche durch die drei binären Signale A, B, C absolut kodiert werden. Der digitalen Steuerschaltung wird ein Richtungsbit R zur Steuerung der Rotordrehrichtung zugeführt. Dem Wert 1 des R-Signals sei der positive Drehsinn zugeordnet. Die Steuerschaltung 15 steuert über die binären Signale  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$  den Microsteppinggenerator 16, welcher seinerseits über die vier Vierbitvektoren S1 bis S4 die binär kodierten Steuerwerte für die Phasenströme erzeugt und außerdem über die zwei Bitleitungen x und y Rückmeldesignale an die digitale Steuerschaltung 15 liefert. Über die Zählfrequenz ZF wird die Sollgeschwindigkeit des Rotors gesteuert, indem damit durch den Microsteppinggenerator 16 die Rotationsgeschwindigkeit des Drehfeldes im Stator des Schrittmotors 11 und damit die Verschiebegeschwindigkeit der Momenten-Winkel-Kennlinie festgelegt wird.

In Figur 2 sind die digitale Steuerschaltung und der Microsteppinggenerator in einer vorteilhaften Ausführungsform detailliert dargestellt. Die digitale Steuerschaltung ist hier sequentiell und besteht aus einer Eingangslogik 21 und einem 5-bit-D-Flipflop-Block 22, welcher synchron aus den dem Fachmann bekannten Gründen durch einen Automatentakt AT, welcher in einen Taktgenerator TG 20 erzeugt wird, getaktet wird. Wesentlich entsprechend der

darzulegenden Erfindung ist das Speicherein- und -ausgangsverhalten der digitalen Steuerschaltung. Im Ausführungsbeispiel realisiert diese digitale Steuerschaltung acht Zustände. Von diesen acht Zuständen Z1 bis Z8 und dem Richtungssignal R werden die binären Ausgangssignale  $y_1$  bis  $y_5$  entsprechend der Wertetabelle in Figur 3 gesteuert. Diese Ausgangssignale wirken entsprechend Figur 2 zum Teil zur Erzeugung des Speicherverhaltens auf die digitale Steuerschaltung selbst rückkoppelnd ein ( $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ), zum Teil steuern sie den Ablauf im Microsteppinggenerator ( $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ). Dieser besteht entsprechend Figur 2 in seinem Kern aus zwei 4-bit-Vor-Rückwärtszählern 27 und 28, welche durch  $y_4$  bzw.  $\bar{y}_4$  und  $y_5$  bzw.  $\bar{y}_5$  über die Gatter 23, 24, 25 und 26 in der Zählrichtung gesteuert werden. Die Zählgeschwindigkeit wird durch die ZF-Frequenz vorgegeben. Die Gatter 29, 210, 211 und 212 verhindern mit ihrer Rückkopplung auf die Zähler-  
 15 eingänge das Unter- bzw. Überschreiten des Zählerstandes 0 bzw. 15. In Abhängigkeit von  $y_3$  werden die oberen bzw. unteren Grenzwerte der Zähler 27, 28 anzeigenden Signale  $x_1$ ,  $x_2$  bzw.  $y_1$ ,  $y_2$  über den Multiplexer 213 in die Rückmeldesignale x bzw. y transformiert. Zusammenfassend ist das Verhalten des Microsteppinggenerators 16 in Abhängigkeit von den Zuständen Z1 bis Z8 der digitalen Steuerschaltung 15 in Figur 4 über den Rotorwinkel  $\varphi$  dargestellt. Es ergibt sich also eine über  $\varphi$  trapezförmige Erregung der Phasenströme durch die Vektoren  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  des Microsteppinggenerators. Auf eine detaillierte Darstellung der 16 Stufen einer Rampe wurde  
 25 verzichtet.

In Figur 4 wurden außerdem die acht möglichen Momenten-Winkel-Kennlinien für Vollerregung einer bzw. zweier benachbarter Phasen bei Trapezerregung eingezeichnet. Inner-

halb der  $\varphi$ -Achseneinteilung entspricht  $z$  der Zähnezahl des Rotors. Die Kurve 1 kennzeichnet Vollerregung der Phase 1, die Kurve 1/2 Vollerregung der Phasen 1 und 2 usw. Das Erreichen einer dieser Grenzkurven wird durch  $x$  bzw.  $y$  in der in Figur 4 ebenfalls dargestellten Weise angezeigt. Damit wird also eine inkrementale Information über die Lage der Momenten-Winkel-Kennlinie durch den Microstepping-generator 16 geliefert, welche in der digitalen Steuerungsschaltung durch Speicherung der  $x$ - bzw.  $y$ -Folge zu einer zyklisch absoluten Information über die Stellung der Momenten-Winkel-Kennlinie in Form von acht Zuständen umgewandelt wird. Zusammen mit der in Figur 5 phasenrichtig zu Figur 4 dargestellten, durch das Meßsystem 14 erzeugten zyklisch absoluten Lageinformation gleicher Auflösung über die Rotorstellung innerhalb einer Zahnperiode kann man also einen Phasenvergleich zwischen Winkeln der Momenten-Winkel-Kennlinie und der Rotorlage durchführen. Dieser Phasenvergleich wird ebenfalls in der digitalen Steuerungsschaltung 15 realisiert, was anhand der Figuren 3, 4 und 5 beschrieben werden soll. Betrachtet werden nur der Zustand  $Z_1$ , da die Betrachtung der anderen Zustände sich aus Symmetriegründen erübrigt.

Aus Figur 4 geht hervor, daß sich in diesem Zustand die Momenten-Winkel-Kennlinie im Intervall zwischen  $\frac{3}{4} \cdot \frac{\pi}{z}$  und  $\frac{\pi}{z}$  bewegt. Es soll eine positive Solldrehrichtung angenommen werden. d. h. der Wert von  $R$  sei 1; die Momenten-Winkel-Kennlinie geht also, ausgehend von Kurve 1 in Figur 4 in 16 Schritten über in Kurve 1/2. Bei Erreichen der Grenzkurve 1/2 nimmt  $x$  entsprechend Figur 4 den Wert 1 an. Die Betrachtung der negativen Drehrichtung erübrigt sich ebenfalls aus Symmetriegründen.

Wenn bei Erreichen dieser Grenzkurve die Phasenlage des

Rotors sich innerhalb des  $\varphi$ -Bereiches von  $\frac{2}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  bis  $\frac{6}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  befindet, der Winkelkodierer nach Figur 5 also ABC oder  $\overline{A}\overline{B}\overline{C}$  oder  $\overline{A}\overline{B}C$  oder  $\overline{A}B\overline{C}$  meldet, wird das Kippmoment der Momenten-Winkel-Kennlinie nach Figur 4 offensichtlich nicht überschritten. Die Momenten-Winkel-Kennlinie kann dann in der geforderten Richtung mit Sollgeschwindigkeit weiter verschoben werden, eine Führung des Rotors durch die Momenten-Winkel-Kennlinie ist gesichert. Die digitale Steuerschaltung 15 muß also genau bei den diskutierten Bedingungen in den Zustand Z2 übergehen, da diesem Zustand, wie in Figur 4 gezeigt und wegen Gültigkeit der Wertetabelle nach Figur 3 das nachfolgende Winkelinkrement für die Bewegung der Momenten-Winkel-Kennlinie zugeordnet ist.

Wenn bei Erreichen der Grenzkurve 1/2 in Figur 4 durch die Momenten-Winkel-Kennlinie die Phasenlage des Rotors sich infolge eines zu hohen dynamischen Lastmomentes, z. B. durch Beschleunigung im  $\varphi$ -Bereich von  $\frac{1}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  bis  $\frac{2}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  befindet, der Winkelkodierer nach Figur 5 also ABC meldet, wird der Zustand Z1 nicht verlassen. Aus der Wertetabelle in Figur 3 folgt in Verbindung mit der Schaltung des Microsteppinggenerators 16 in Figur 2, daß dann in der schon beschriebenen Weise die Vor-Rückwärtszähler 27 und 28 in ihren oberen Grenzwerten festgehalten werden. Damit wird aber auch entsprechend Figur 4 die Bewegung der Momenten-Winkel-Kennlinie gestoppt. Dies dauert solange, bis der Rotor, beschleunigt durch das in diesem Bereich immer noch positiv wirkende Motormoment den Winkel  $\frac{2}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  in positiver Richtung überschreitet, dann gelten wieder die zuerst beschriebenen Bedingungen.

Wenn unabhängig vom Erreichen der Grenzkurve 1/2 in Figur 4 durch die Momenten-Winkel-Kennlinie die Phasenlage des Rotors infolge eines das Kippmoment überschreitenden

statischen Lastmomentes den Wert  $\frac{6}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  über- oder den Wert  $\frac{1}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  unterschreitet, kann der Rotor nicht mehr von der Momenten-Winkel-Kennlinie geführt werden, sondern muß umgekehrt der Rotor zur Vermeidung mechanischer Instabilitäten die Momenten-Winkel-Kennlinie unabhängig von vorgegebener Richtung und Sollgeschwindigkeit führen.

Zur Vermeidung von Momentensprüngen muß beim Überschreiten des Winkels  $\frac{6}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  durch den Rotor die momentane Momenten-Winkel-Kennlinie in die zum Winkel  $\frac{\pi}{2}$  spiegelsymmetrische Momenten-Winkel-Kennlinie möglichst schnell überführt werden. Bei Unterschreitung des Winkels von  $\frac{1}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  durch den Rotor hat diese Überführung relativ zum Winkel  $\frac{3}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  zu erfolgen. Nach Figur 4 kann dies nur durch Vertauschen der S1- und S2-Werte im ersten Falle und der S2- und S4-Werte im zweiten Falle realisiert werden. Dies bedeutet also, daß die digitale Steuerschaltung 15 bei Überschreitung des Winkels von  $\frac{6}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  durch den Rotor, d. h. bei Meldung von  $\bar{A}BC$  durch den Winkelkodierer von Z1 in Z2 und bei Unterschreitung des Winkels von  $\frac{1}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  durch den Rotor, d. h. bei Meldung  $\bar{A}\bar{B}C$  durch den Winkelkodierer von Z1 in Z8 übergehen muß, ohne daß dabei die Signale x, y oder R einen Einfluß haben können. Damit sind alle Fälle der Rotorbelastung und damit des Verhaltens der digitalen Steuerschaltung diskutiert, da sich die Betrachtung aus Symmetriegründen bei allen der acht Zustände und auch bei negativer Drehrichtung wiederholt.

Zur weiteren Veranschaulichung sind in den Figuren 6 bis 9 die Zeit-Impulsdiagramme für verschiedene charakteristische Betriebsfälle der das erfindungsgemäße Verfahren vor- teilhaft realisierenden Schrittmotorsteuerung gemäß Figur 1 dargestellt.

Figur 6.1 zeigt das Zeitverhalten für den Fall positiver

Drehrichtung und einer Belastung, welche immer kleiner als das Kippmoment ist. Dies ist der gewünschte Fall der exakten Geschwindigkeitsführung des Schrittmotors.

Figur 6.2 unterscheidet sich von Figur 6.1 nur durch negative statt positiver Drehrichtung. In beiden Fällen erkennt man am Verlauf der Steuervektoren S1 bis S4, daß die Momenten-Winkel-Kennlinie kontinuierlich verschoben wird.

Figur 7 zeigt das Zeitverhalten bei Überschreitung des Kippmomentes durch ein konstantes dynamisches Lastmoment (z. B. Reibung).

Man erkennt am Verlauf der Steuervektoren S1 bis S4, daß es Phasen konstanter Vektorwerte gibt, die Momenten-Winkel-Kennlinie also zeitweise gestoppt wird.

Figur 8 zeigt das Zeitverhalten bei einer ruckartigen Überschreitung des Kippmomentes durch ein statisches Lastmoment in Soll-Drehrichtung des Rotors. Dieser Ruck bewirke eine momentane Verschiebung des Rotors in Soll-Drehrichtung, welche den  $\varphi$ -Wert  $\frac{\epsilon}{4} \cdot \frac{\pi}{2}$  überschreitet, was in Figur 8 unter den eigentlichen Impulsdiagrammen in einer Darstellung von  $\varphi(t)$  veranschaulicht wird.

Je nachdem, ob dieser Ruck wie - im Zeitpunkt  $t_i$  dargestellt - in einer abfallenden Trapezflanke oder - wie im Zeitpunkt  $t_j$  dargestellt - in einer ansteigenden Trapezflanke der S-Vektoren erfolgt, ergeben sich die dargestellten unterschiedlichen Impulsdiagramme.

Man erkennt, daß durch diesen Ruck der ansonsten normale Ablauf wie in Figur 6.1 im Sinne einer Verkürzung des Signalablaufes gestört wird.

Figur 9 zeigt das Zeitverhalten bei einer ruckartigen Überschreitung des Kippmomentes durch ein statisches Lastmoment entgegen der Sollrichtung des Rotors. Es gelten also sinngemäß die Bemerkungen zu Figur 8.

- 5 Man erkennt, daß durch diesen Ruck der ansonsten normale Ablauf wie in Figur 6.1 im Sinne einer Verlängerung des Signalablaufes gestört wird.

Im konkreten Einsatzfall überlagern sich die verschiedenen Belastungsfälle, so daß die hier isoliert dargestellten

- 10 Erscheinungsbilder sich ebenfalls überlagern.

Der Microstepping-Generator kann auch vorteilhafterweise so gestaltet werden, daß statt Trapezfunktionen für die S-Vektoren sin- bzw. cos-Funktionen generiert werden.

Erfindungsanspruch

1. Verfahren zur Steuerung eines Schrittmotors im Rückmeldebetrieb mit quasikontinuierlicher Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie, bei dem Rückkopplungssignale von einem starr am Rotor befestigten Winkelmeßsystem, die die tatsächliche Rotorstellung innerhalb von Zahn-  
 5 teilungsperioden des Schrittmotors zyklisch absolut abbilden, in ihrer Phase mit ebenso zyklisch absoluten Steuersignalen für die Momenten-Winkel-Kennlinienverschiebung verglichen werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasenvergleich während der Hochlauf-, Konstantlauf- und Bremsphase des Motors erfolgt, wobei je  
 10 nach ermittelter Phasendifferenz folgender einheitlicher Steueralgorithmus ausgeführt wird:
  - 15 - eine quasikontinuierliche Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie mit der Sollgeschwindigkeit des Rotors bei Nichtüberschreitung des Kippmomentes;
  - ein Stoppen der Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie bei Erreichen des Kippmomentes durch dynamische Lastmomente;
  - 20 - eine diskontinuierliche Verschiebung in Richtung der Rotorablage der Momenten-Winkel-Kennlinie ohne Momentensprung unabhängig von der vorgegebenen Sollgeschwindigkeit bei Überschreiten des Kippmomentes durch statische Lastmomente.
  - 25

2. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die quasikontinuierliche Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie durch quasikontinuierliche Fortschaltung der Phasenströme des Schrittmotors (11), das Stoppen der Verschiebung durch Konstanthaltung der Phasenströme und die diskontinuierliche Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie durch Vertauschen entsprechender Phasenströme erfolgt.  
5
3. Verfahren nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit der quasikontinuierlichen Verschiebung der Momenten-Winkel-Kennlinie über eine Impulsfrequenz frei wählbar ist.  
10
4. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgänge einer digitalen Steuerschaltung mit ersten Eingängen eines steuerbaren Microsteppinggenerators (16) verbunden sind, ein zweiter Eingang des Microsteppinggenerators (16) mit einer extern wählbaren Impulsfrequenz beaufschlagt ist, erste Ausgänge des Microsteppinggenerators (16) mit den Eingängen eines Leistungsverstärkers (12) für die Phasenströme verbunden sind, wobei dem Leistungsverstärker (12) der Schrittmotor (11) nachgeschaltet ist, an dessen Rotorwelle sich das starr befestigte Winkelmeßsystem (14) befindet und zweite Ausgänge des Microsteppinggenerators (16), welche zur Rückmeldung der Stellung der Momenten-Winkel-Kennlinie dienen, mit zweiten Eingängen der digitalen Steuerschaltung (15) verbunden sind, wobei deren erste Eingänge mit den Ausgängen des Winkelmeßsystems (14) verbunden sind.  
15  
20  
25

5. Anordnung nach Punkt 4, dadurch gekennzeichnet, daß die digitale Steuerschaltung (15) als mikroprogrammierbare Struktur ausgebildet ist.
- 5 6. Anordnung nach Punkt 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Microsteppinggenerator (16) Trapez- oder sin- bzw. cos-Funktionen erzeugt.
7. Anordnung nach Punkt 4, gekennzeichnet dadurch, daß dem Impulsfrequenzeingang des Microsteppinggenerators (16) ein digital in seiner Frequenz einstellbarer Impulsgenerator vorgeschaltet ist.  
10
8. Anordnung nach Punkt 4, gekennzeichnet dadurch, daß sich zwischen den Ausgängen des Winkelkodierers und den ersten Eingängen der digitalen Steuerschaltung (15) eine Korrekturschaltung befindet, welche additiv statische und dynamische Störungen der Winkelmessung des Winkelkodierers kompensiert.  
15

Hierzu 7 Seiten Zeichnungen

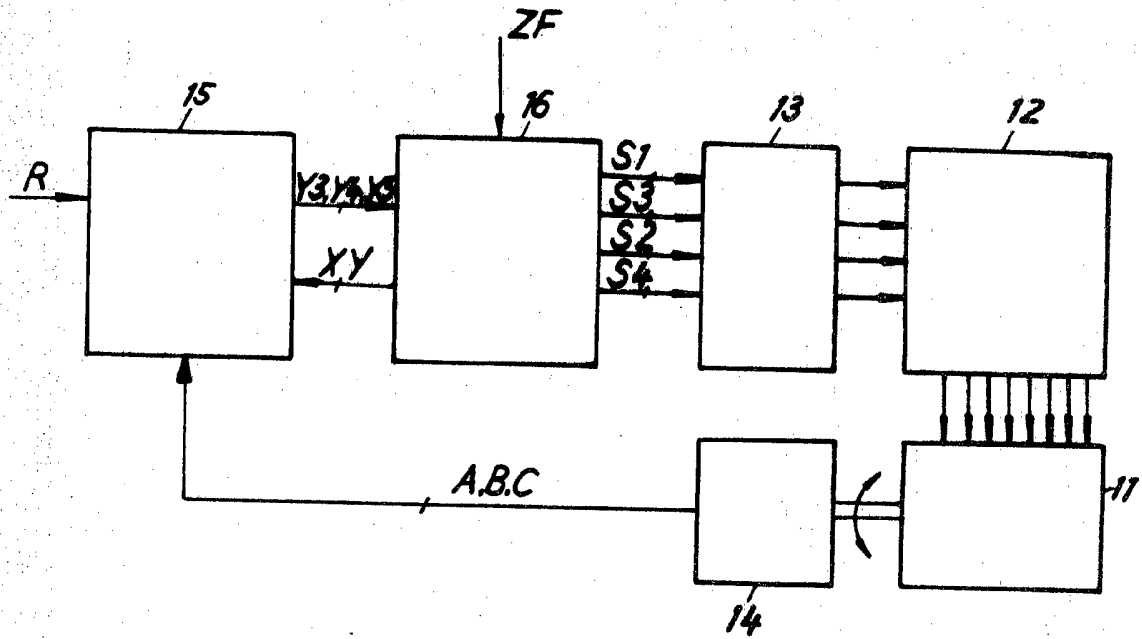
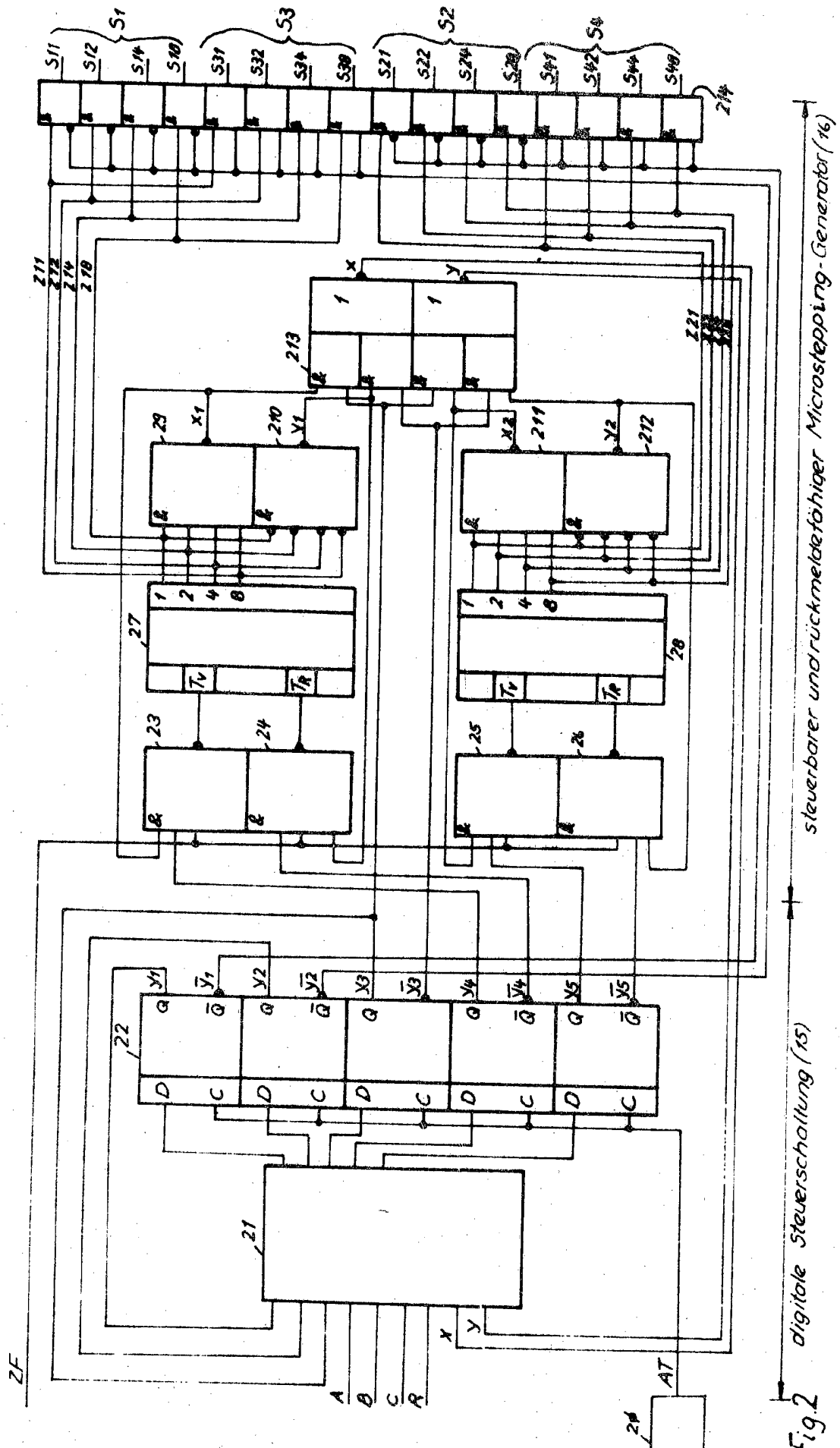


Fig. 1

| $Z_i$ | 1   | 2         | 3   | 4         | 5   | 6         | 7   | 8         |
|-------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| $y_1$ | 0   | 0         | 1   | 1         | 1   | 1         | 0   | 0         |
| $y_2$ | 0   | 0         | 0   | 0         | 1   | 1         | 1   | 1         |
| $y_3$ | 0   | 1         | 1   | 0         | 0   | 1         | 1   | 0         |
| $y_4$ | 1   | $\bar{R}$ | $R$ | 1         | 1   | $\bar{R}$ | $R$ | 1         |
| $y_5$ | $R$ | 1         | 1   | $\bar{R}$ | $R$ | 1         | 1   | $\bar{R}$ |

Fig. 3



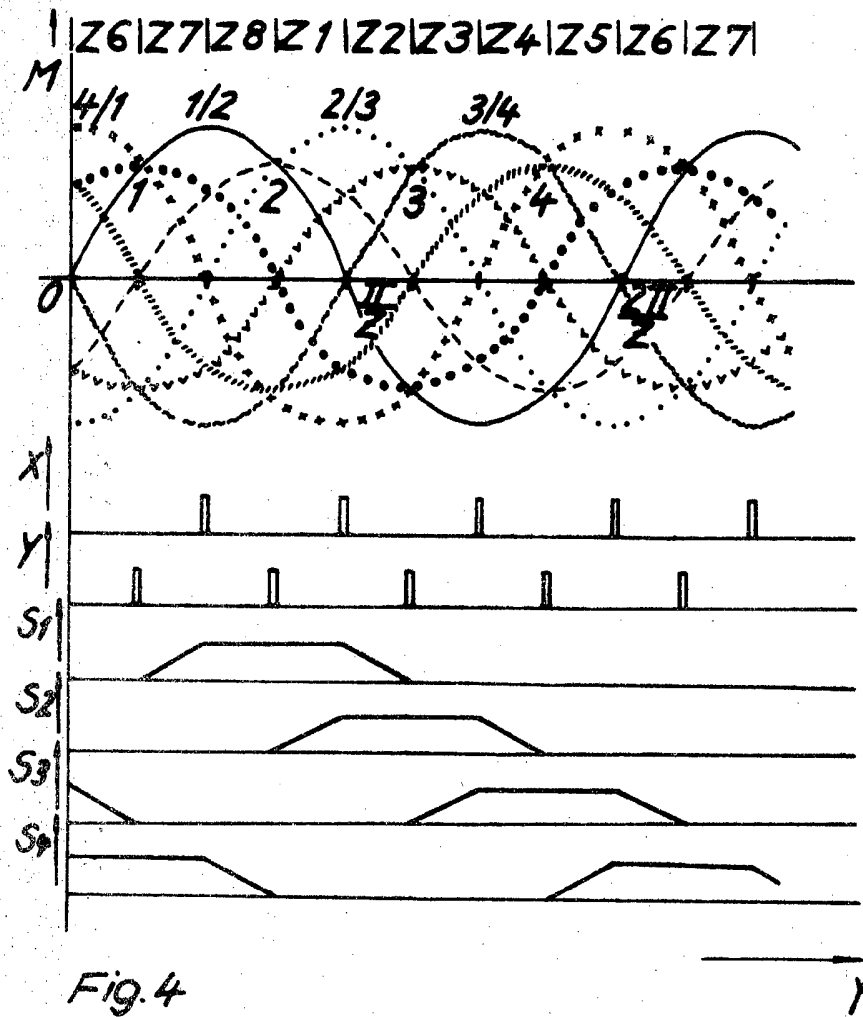


Fig. 4

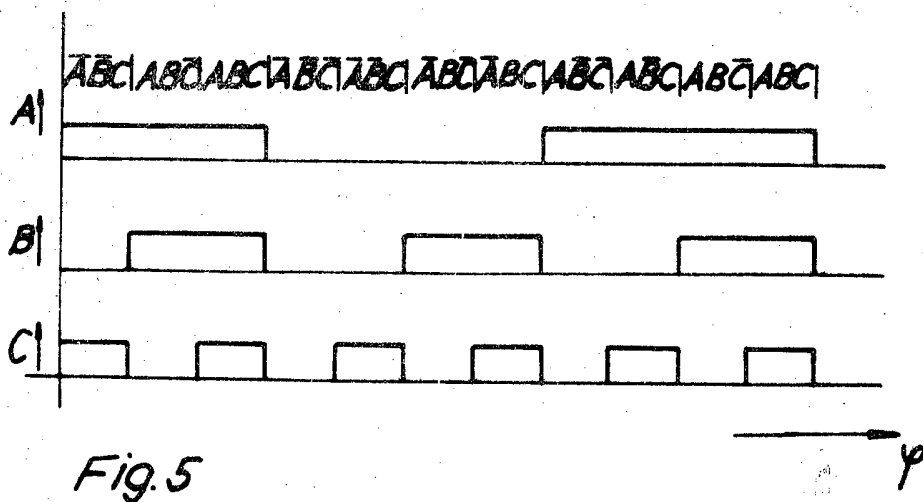


Fig. 5

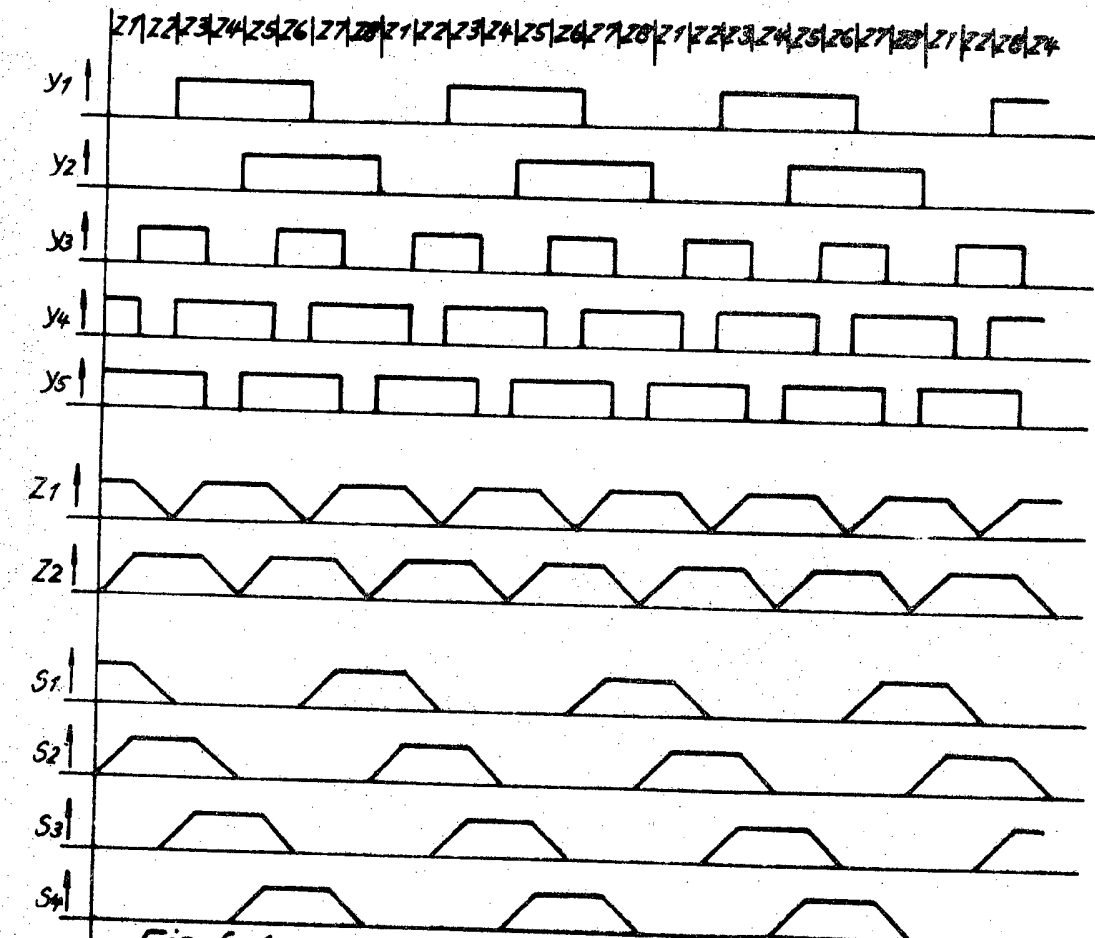
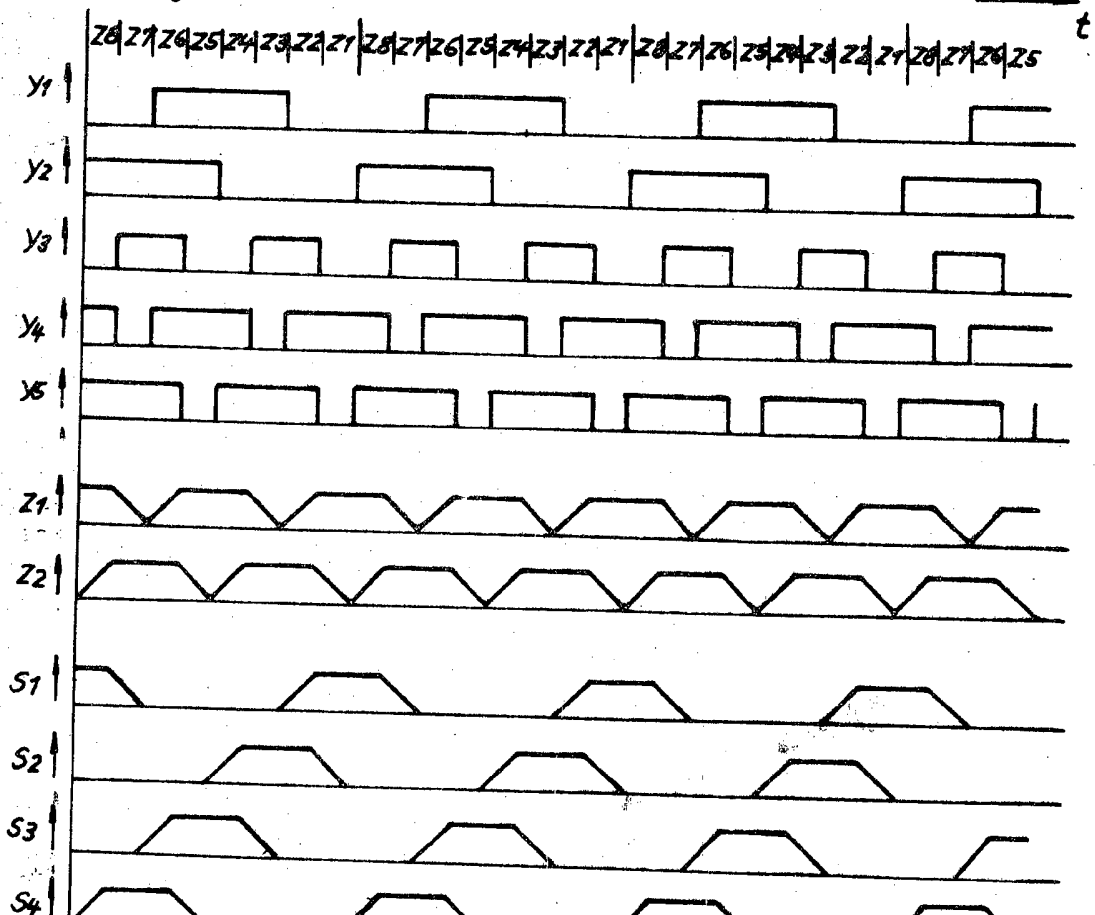


Fig. 6.1



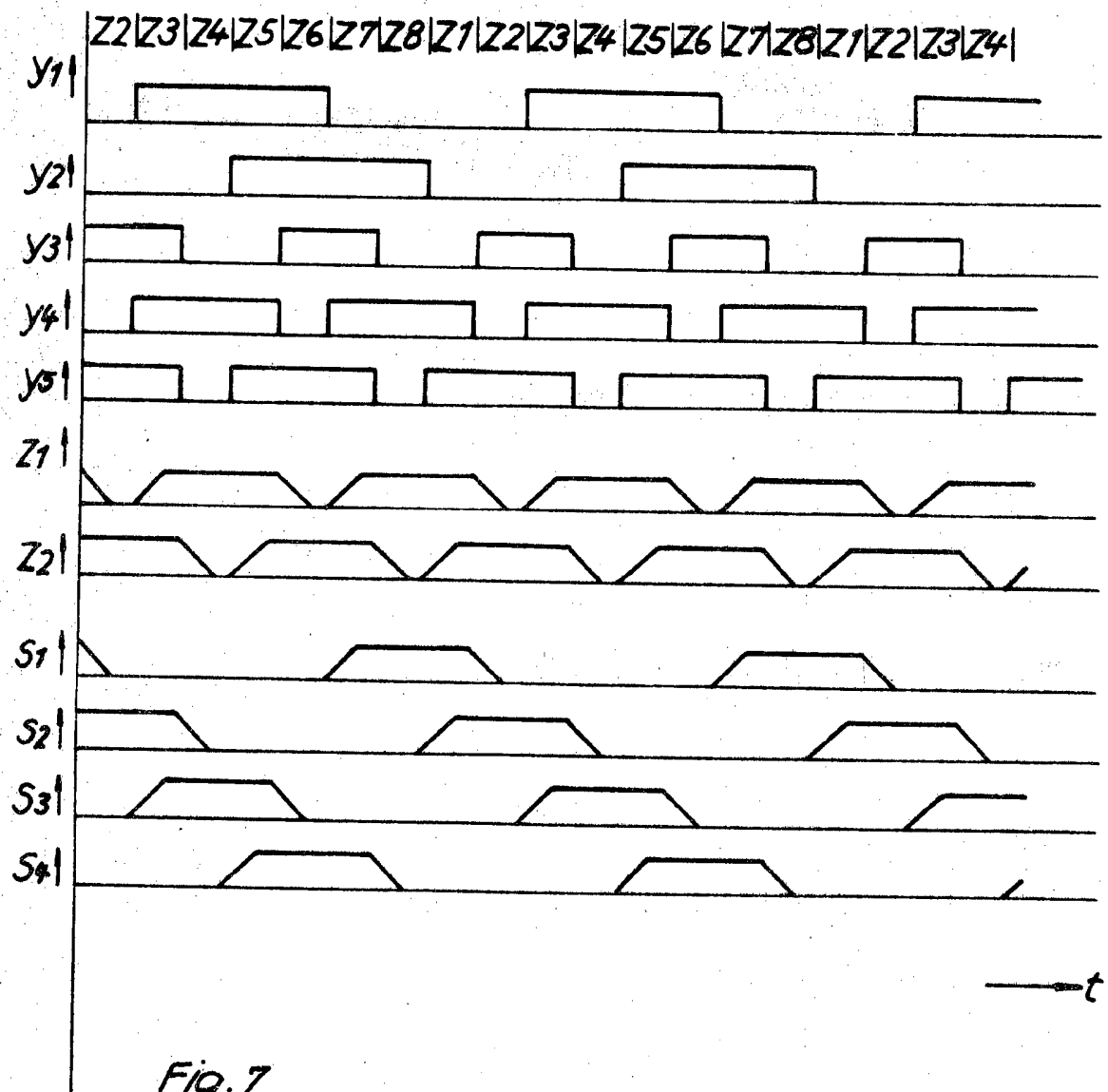


Fig. 7

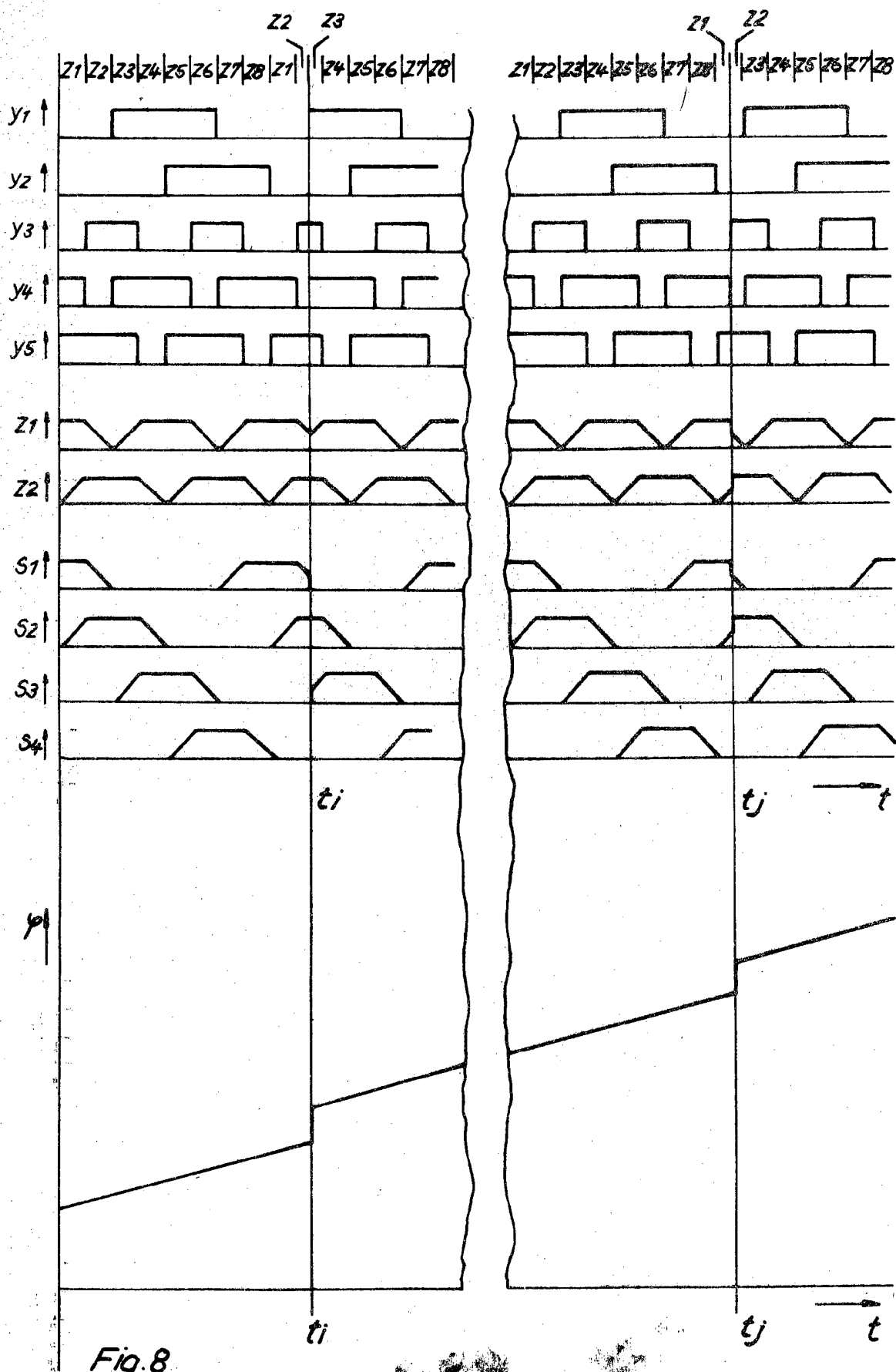


Fig. 8

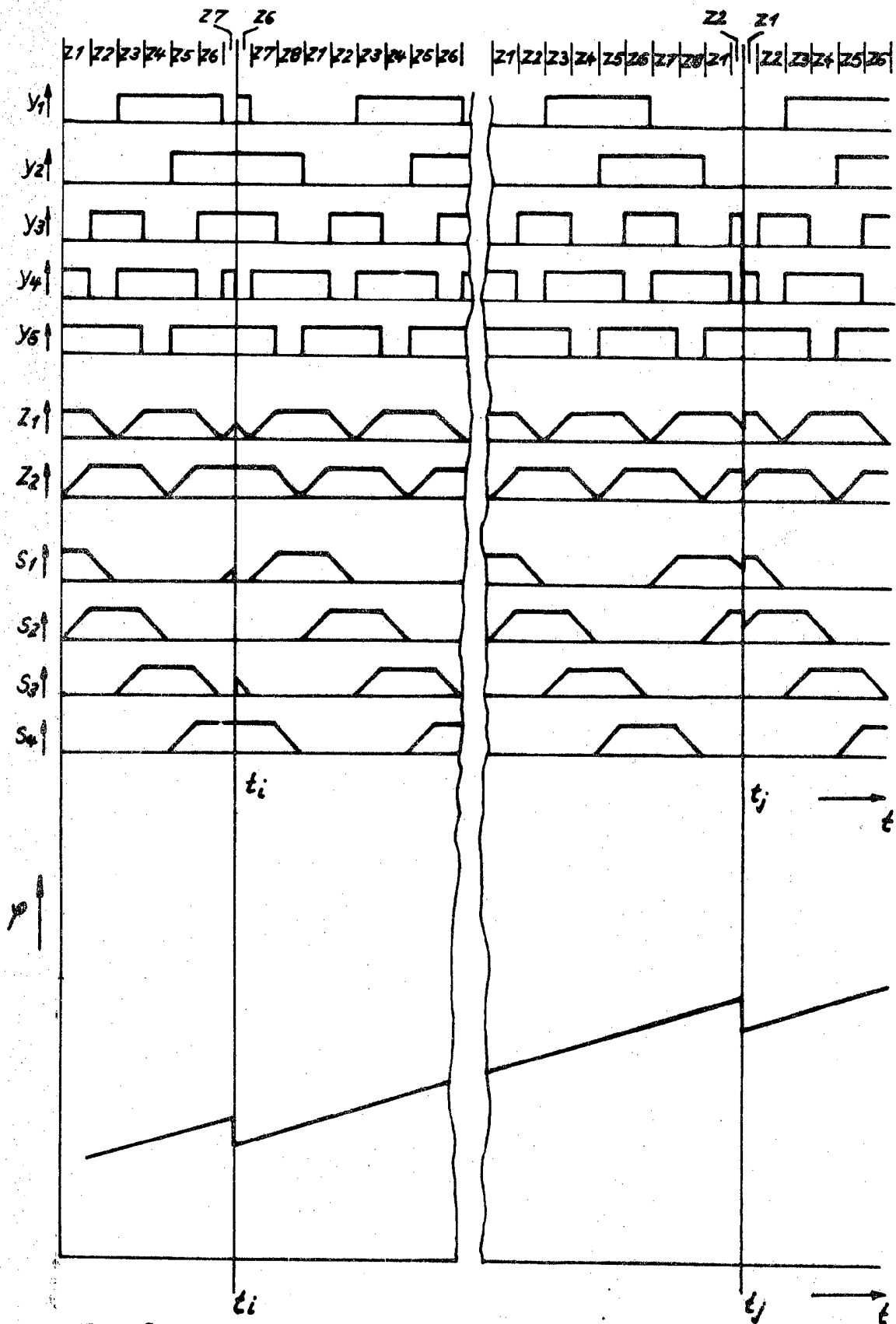


Fig. 9