



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 228 432 A3

4(51) H 02 P 8/00

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

|      |                       |      |          |      |          |
|------|-----------------------|------|----------|------|----------|
| (21) | WP H 02 P / 247 518 8 | (22) | 27.01.83 | (45) | 09.10.85 |
|------|-----------------------|------|----------|------|----------|

|      |                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| (71) | VEB Robotron – Optima, Büromaschinenwerk Erfurt, 5010 Erfurt, Mainzerhofplatz 13, DD |
| (72) | Kuchenbecker, Manfred, Dr.-Ing., DD                                                  |

|      |                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (54) | <b>Verfahren zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors mit Unipolaransteuerung</b> |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors mit Unipolaransteuerung, deren Ziel es ist, den Ein- und Zweiphasenbetrieb derart miteinander zu verbinden, daß bei Erreichen hoher Positioniergenauigkeiten ein großes Halte- und Drehmoment sowie eine wirksame elektrische Dämpfung erzielt wird. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors zu entwickeln, bei dem dieser unter Gewährleistung einer maximalen Spannungsinduzierung im Haltebereich in Abhängigkeit von seinem statischen bzw. dynamischen Zustand zeitweilig im Ein- oder Zweiphasenbetrieb gesteuert wird. Erfindungsgemäß wird dazu der Schrittmotor in seiner Halteposition, in der jeweils drei der vier Wicklungshälften der beiden Phasenwicklungen gleichzeitig bestromt werden, im Einphasenbetrieb und bei einer Bewegung um  $n$ -Schritte nach einem ersten Halbschritt für weitere  $(n - 1)$ -Schritte im bekannten Zweiphasenbetrieb betrieben, bevor dieser nach einem zweiten Halbschritt erneut in eine Halteposition gelangt. Die Anwendung der Erfindung ist insbesondere zur Typenscheibeneinstellung in Druck- oder Schreibwerken zweckmäßig, darüber hinaus aber auch bei vielphasigen Permanentmagnet-Schrittmotoren möglich, mit denen hohe Positioniergenauigkeiten erreicht werden sollen. Fig. 3

VEB Robotron-Optima

ES 1-Je-623

Dr. Kuchenbecker

### Titel der Erfindung

Verfahren zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-  
5 Schrittmotors mit Unipolaransteuerung

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines  
Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors mit Unipolaran-  
steuerung, der in einer Druck-, Schreib- oder ähnlichen  
10 Büromaschine, insbesondere zum Einstellen einer Typen-  
scheibe in einem Schreib- oder Druckwerk Anwendung findet.  
Darüber hinaus ist die Anwendung der Erfindung aber auch  
bei vielphasigen Permanentmagnet-Schrittmotoren mit Unipo-  
laransteuerung möglich und in Abhängigkeit von der Motor-  
15 dimensionierung überall dort sinnvoll, wo hohe Positio-  
nierungsgenauigkeiten mit Permanentmagnet-Schrittmotoren er-  
reicht werden sollen.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Für den Betrieb zwei- oder mehrphasiger Permanentmagnet-  
20 Schrittmotoren sind bereits eine Reihe von Verfahren ent-

wickelt worden, die den Schrittmotor in ganzen (Vollschrittbetrieb), halben (Halbschrittbetrieb) oder sogenannten "Minischritten" steuern, bei denen ein Normalschritt des Motors in mehrere Einzelschritte unterteilt werden kann (Untervielfachen des Schrittes).

So ist es bereits bekannt, Permanentmagnet-Schrittmotoren zur Nutzung des maximalen Motormomentes sowohl in der Halteposition als auch während der Einstellbewegung im Zweiphasenbetrieb (two-phase drive) - auch Zwei-Strang-Ansteuerung genannt - zu betreiben, wobei jeweils zwei Phasen gleichzeitig bestromt werden. Dabei kann die Bestromung der Phasen sowohl im Unipolarbetrieb (Eintakt-Ansteuerung) aus einer oder mehreren Strom- oder Spannungsquellen, vorzugsweise in Bi-Level-Betriebsweise (bi-level-drive), wie auch im Bipolarbetrieb (Gegentakt-Ansteuerung) erfolgen. Eine detailliertere Abhandlung findet sich dazu beispielsweise in "Das Schrittmotoren-Handbuch", herausgegeben von der Firma Sigma Instruments auf den Seiten 41/42 bzw. 50 bis 55.

Diesen im Zweiphasenbetrieb gesteuerten Permanentmagnet-Schrittmotoren liegt jedoch der wesentliche Nachteil zugrunde, daß außer den Teilungsfehlern der gezahnten Statorpole und des Rotors vor allem Unregelmäßigkeiten der durch die verschiedenen Phasenwicklungen des Schrittmotors erzeugten Form- und Größenabweichungen der Drehmoment-Drehwinkelkennlinien einen wesentlichen Einfluß auf den statischen Schrittwinkelfehler des Schrittmotors haben. Dieser führt, sofern der Schrittmotor zur Typenscheibeneinstellung vorgesehen ist, zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Genauigkeit, mit der die Typenscheibe in die Abdruckposition eingestellt wird. Eine Erhöhung der Genauigkeit ist jedoch nur durch eine hohe Fertigungspräzision des Schrittmotors zu erreichen, was andererseits

jedoch einen erhöhten Fertigungs- und Kostenaufwand verursacht. Desweiteren wäre es zur Erzielung einer hohen Positioniergenauigkeit der Typenscheibe wünschenswert, wenn in der Gleichgewichtsstellung des im Zweiphasenbetrieb angesteuerten Schrittmotors dessen  $M_{\varphi}$ -Kennlinie eine möglichst große Steilheit annehmen würde. Dem stehen beim Zweiphasenbetrieb des Schrittmotors jedoch die Forderungen nach einem möglichst hohem effektiven Motormoment sowie nach einer möglichst geringen notwendigen Wicklungsdurchflutung entgegen.

Neben dem Zweiphasenbetrieb ist auch die Ansteuerung eines Permanentmagnet-Schrittmotors im Einphasenbetrieb (wave drive) - auch Ein-Strang-Ansteuerung genannt - wo zu jedem Zeitpunkt jeweils nur eine Phase bestromt wird und der Motor einen durch den Schrittwinkel definierten ganzen Schritt ausführt, bereits seit längerem bekannt. Eine ins Detail gehende Abhandlung findet sich hierzu im bereits erwähnten "Schrittmotoren-Handbuch" der Firma Sigma Instruments auf der Seite 40.

Wenngleich die für den Einphasenbetrieb ausgelegten, jedoch weiterhin mit dem durch die Rotor- und Statorverzahnung bedingten geometrischen (statischen) Fehlern behafteten Permanentmagnet-Schrittmotoren einerseits den Vorteil haben, daß sie die durch die im Zweiphasenbetrieb erfolgende gleichzeitige Bestromung zweier Phasen bedingte Einflußgröße (Unsymmetrie der  $M_{\varphi}$ -Kennlinie) auf den Schrittwinkelfehler ausschalten, so haftet ihnen jedoch andererseits der wesentliche Nachteil an, daß hierbei nur eine sehr geringe elektrische Bedämpfung des Einschwingvorgangs erfolgt, da in der Halteposition des Schrittmotors in der bestromten Wicklung keine Spannung induziert wird. Die fehlende oder nur sehr geringe elektrische Dämpfung des Schrittmotors im Einphasenbetrieb bedingt ein längeres

Ausschwingen und infolgedessen zugleich eine Vergrößerung des dynamischen Fehlers, was sich insbesondere für das Einstellen einer Typenscheibe in einer Druck- oder Schreibmaschine als äußerst nachteilig erweist.

- 5 Desweiteren ist auch der Betrieb eines Permanentmagnet-Schrittmotors im gemischten Ein- und Zweiphasenbetrieb bekannt, wo im Ergebnis einer wechselseitigen Ein- und Zweiphasenansteuerung des Schrittmotors dessen Schrittlänge gegenüber der Vollschrattansteuerung halbiert wird (Halbschrittbetrieb). Ausführlich ist dies im bereits zitierten "Schrittmotoren-Handbuch" der Firma Sigma Instruments auf den Seiten 42 bis 45 beschrieben.

- 10 In Verbindung mit einer Konstantstromregelung für den Phasenwicklungsstrom liegt dem gemischten Ein- und Zweiphasenbetrieb (Halbschrittbetrieb) eines Permanentmagnet-Schrittmotors zunächst der allgemeine Nachteil zugrunde, daß aufgrund der gleichzeitigen Bestromung von einer Wicklungshälfte oder von zwei Wicklungshälften oder aber von zwei Phasenwicklungen im Bipolarbetrieb sogenannte "harte" und "weiche" Schritte auftreten können, die sich jedoch für den Einstellvorgang des Schrittmotors als ungünstig erweisen. Darüber hinaus haften diesem Verfahren auch weiterhin die spezifischen Nachteile des Ein- bzw. Zweiphasenbetriebes dahingehend an, als daß die einphasige Ansteuerung nur eine unzureichende elektrische Bedämpfung des Einschwingvorgangs gewährleistet und andererseits die Zweiphasen-Ansteuerung die Positioniergenauigkeit des Schrittmotors negativ beeinträchtigt.

- 30 In der DE-OS 1 613 172 wird schließlich ein Verfahren zum Betrieb von Schrittmotoren beschrieben, deren Erregerwicklungen wählbar, entweder paarweise oder einzeln, erregt werden können, wobei während der Beschleunigung je-

weils zwei benachbarte Erregerwicklungen bestromt werden, hingegen während der Bremsung jedoch nur eine Erregerwicklung erregt wird. Dies geschieht, indem während der Beschleunigung die erste und zweite Statorwicklung in Drehrichtung vor der jeweiligen Rotorstellung erregt werden  
5 und nach Erreichen einer vorbestimmten Geschwindigkeit die Erregung auf die zweite und dritte Statorwicklung in Drehrichtung vor der jeweiligen Rotorstellung verlegt wird und während der Bremsung anfänglich die erste Statorwicklung  
10 in Drehrichtung vor der jeweiligen Rotorstellung mit Erregerstrom belegt wird und nach Erreichen einer bestimmten Geschwindigkeit die der Rotorstellung entsprechende Statorwicklung erregt wird.

Dem Betriebsverfahren, das sowohl einen Einphasenbetrieb während der Bremsung und Festlegung der "Stop"-Stellung  
15 des Rotors wie auch einen zweiphasigen Betrieb des Schrittmotors vorsieht, liegt jedoch auch weiterhin der wesentliche Nachteil zugrunde, daß sich die nur einphasige Bestromung der Erregerwicklung in der Halteposition des  
20 Schrittmotors äußerst ungünstig auf die Eigendämpfung auswirkt, so daß keine wirksame Bedämpfung des Einschwingvorgangs möglich ist.

#### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, unter Vermeidung der den bekannten technischen Verfahren zum Betrieb eines zwei- oder  
25 mehrphasigen Permanentmagnet-Schrittmotors anhaftenden wesentlichsten Nachteile, den Ein- und Zweiphasenbetrieb zur Realisierung einer Vollschrittschaltung des Schrittmotors derart miteinander zu verbinden, daß bei Erreichen großer  
30 Positioniergenauigkeiten durch nur geringe Schrittwinkelfehler sowohl ein gleichermaßen großes Halte- wie Dreh-

moment als auch eine wirksame elektrische Bedämpfung des Einschwingvorgangs erzielt wird.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren  
5 zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors  
mit Unipolaransteuerung zu entwickeln, bei dem der  
Schrittmotor unter Gewährleistung einer maximalen Span-  
nungsinduzierung im Haltebereich in Abhängigkeit von sei-  
nem statischen bzw. dynamischen Zustand zeitweilig im Ein-  
10 oder Zweiphasenbetrieb gesteuert wird.  
Erfindungsgemäß ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet,  
daß in der Halteposition des Schrittmotors jeweils drei  
der vier Wicklungshälften der beiden Phasenwicklungen  
gleichzeitig bestromt und durch die gegensinnige Durchflu-  
15 tung der beiden Wicklungshälften der nicht für die Halte-  
position bestimmenden Phasenwicklung die in ihnen indu-  
zierten Spannungen kurzgeschlossen werden, wodurch eine  
wirksame elektrische Bedämpfung gegeben ist. Demgegenüber  
wird der Schrittmotor während der Bewegung unter Ausnut-  
20 zung des mit der Zweiphasenerregung erzielbaren höheren  
Drehmoments im Zweiphasenbetrieb betrieben.  
Bei einer Bewegung des Schrittmotors um  $n$ -Schritte wird  
dazu zunächst der in Bewegungsrichtung des Schrittmotors  
letzte Schalttransistor abgeschaltet, woraufhin dieser  
25 einen ersten Halbschritt ausführt. Weitere  $n-1$  (Voll)-  
Schritte führt der Schrittmotor aus, indem wie im üblichen  
Zweiphasenbetrieb daraufhin jeweils der in Bewegungsrich-  
tung nächste Schalttransistor ein- und gleichzeitig der in  
Bewegungsrichtung letzte Schalttransistor abgeschaltet  
30 wird. Zuletzt wird der in Bewegungsrichtung nächste  
Schalttransistor eingeschaltet, ohne daß der in Bewe-

gungsrichtung letzte Schalttransistor abgeschaltet wird, wodurch der Schrittmotor einen weiteren, zweiten Halbschritt ausführt und erneut in eine Halteposition gelangt, in der wiederum drei der vier Wicklungshälften der beiden  
5 Phasenwicklungen bestromt sind. Die Dauer sowohl der Halb- wie auch der (n-1)-Vollschritte kann dabei dem dynamischen Verhalten des Motors so angepaßt werden, daß optimale Bewegungsabläufe erzielt werden können.

#### Ausführungsbeispiel

10 Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine auf die wesentlichsten Teile beschränkte  
15 Schaltungsanordnung der Ansteuerung eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors mit Konstantstromquelle;

Fig. 2 eine analoge Darstellung der Schaltungsanordnung gemäß Figur 1, wobei anstelle der Konstantstromquelle ein Vorwiderstand vorgesehen ist;

20 Fig. 3 ein Impulsdiagramm zu dem nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in Unipolaransteuerung betriebenen Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotor.

Entsprechend den Darstellungen nach den Figuren 1 und 2 der dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zugrunde liegenden  
25 Zeichnung, weist der zweiphasig ausgebildete Permanentmagnet-Schrittmotor 1 zwei Phasenwicklungen A und B auf, die in je zwei Wicklungshälften A1 und A2 sowie B1 und B2 mit einem gemeinsamen Mittelpunkt unterteilt sind. Beide Wicklungsmittelpunkte werden entsprechend der Dar-

stellung in Figur 1 der Zeichnung von einer Konstantstrom-  
quelle 2 gespeist, an deren Stelle aber ebenso ein Vorwi-  
derstand  $R_V$  vorgesehen werden kann, wie die Darstellung  
in der Figur 2 der Zeichnung zeigt. In beiden Fällen liegt  
5 an der Konstantstromquelle 2 bzw. am Vorwiderstand  $R_V$   
die Betriebsspannung  $U_B$  an. Die Wicklungsenden der Wick-  
lungshälften A1, A2, B1 und B2 des Schrittmotors 1 werden  
in bekannter Weise durch entsprechende Schalttransistoren  
3, 4, 5 und 6 geschaltet. Um eine größtmögliche elektri-  
10 sche Dämpfung zu erreichen, können, wie in den Figuren 1  
und 2 dargestellt, zur Optimierung der Wicklungszeitkon-  
stanten zwischen den Wicklungsenden der Wicklungshälften  
A1, A2, B1 und B2 und den Kollektoren der zugeordneten  
Schalttransistoren 3 bis 6 entsprechende Widerstände R  
15 vorgesehen werden.

Die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Be-  
trieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors, wie  
er in der Beschreibung der Erfindung beispielhaft zum Ein-  
stellen einer Typenscheibe in einem Schreib- oder Druck-  
20 werk zur Anwendung gelangt, ist folgende:

In Schreib- und Druckwerken von Schreib-, Druck- oder ähn-  
lichen Büromaschinen, in denen zur Erzeugung der Schrift-  
zeichen eine alle Typen tragende Typenscheibe vorgesehen  
ist, ist es erforderlich, diese für den Druckvorgang posi-  
25 tionsgenau in die jeweilige Abdruckposition einzustellen.  
Bei den hierzu eingesetzten Schrittmotorantrieben muß da-  
her der Schrittmotor aus seiner Halteposition in die durch  
die jeweilige Abdruckposition der Typenscheibe bedingte  
Zielposition (erneute Halteposition) eingestellt werden.  
30 Zum Erreichen einer derart hohen Positioniergenauigkeit  
der Typenscheibeneinstellung nutzt das erfindungsgemäße  
Verfahren die hohe Positioniergenauigkeit des Einphasen-

betriebes von Schrittmotoren aus, wobei die dazu notwendige elektrische Bedämpfung dadurch erzielt wird, indem in der Halteposition außer der Wicklungshälfte derjenigen Phasenwicklung des Schrittmotors, welche für die Halteposition bestimmend ist, auch die beiden gegensinnig gepolten Wicklungshälften der jeweils anderen Phasenwicklung eingeschaltet werden. Nach dem Ausführungsbeispiel der Erfindung sind in der Halteposition des Schrittmotors 1 die Schalttransistoren 3, 4 und 5 eingeschaltet und somit die Wicklungshälften A1, A2 und B1 bestromt. Aufgrund der gegensinnigen Durchflutung der beiden Wicklungshälften A1 und A2 der Phasenwicklung A tritt keine Veränderung in der Halteposition des Schrittmotors 1 ein. Dagegen werden die in ihnen durch Einschwingvorgänge induzierten Spannungen kurzgeschlossen, so daß eine wirksame elektrische Bedämpfung in der Halteposition des Schrittmotors 1 gegeben ist. Sofern der Schrittmotor 1 in eine genau definierte Zielposition, zum Beispiel in die Abdruckstellung der Typenscheibe, eingestellt werden soll, muß dieser um eine entsprechende Anzahl von (n)Schritten bewegt werden. Erfindungsgemäß wird dazu im ersten Schritt des Verfahrens zunächst der in Bewegungsrichtung letzte Schalttransistor 3 des Schrittmotors 1 abgeschaltet, woraufhin die Wicklungshälfte A1 stromlos wird und der Schrittmotor 1 einen ersten Halbschritt in Drehrichtung ausführt. Weitere (n-1)-Schritte führt der Schrittmotor 1 aus, indem in weiteren Verfahrensschritten der jeweils in Bewegungsrichtung nächste Schalttransistor (6, 3, 4, 5 usw.) ein- und gleichzeitig der in Bewegungsrichtung letzte Schalttransistor (4, 5, 6, 3 usw.) abgeschaltet wird. In dieser Zeit arbeitet der Schrittmotor 1 im bekannten Zweiphasenbetrieb und behält diese Arbeitsweise bis einen halben Schritt vor Erreichen der Zielposition bei. Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung sind zu dieser Zeit die

Schalttransistoren 3 und 4 eingeschaltet und folglich die Wicklungshälften A1 und A2 bestromt. Im letzten Verfahrensschritt wird nun der in Bewegungsrichtung des Schrittmotors 1 nächste Schalttransistor 5 eingeschaltet, ohne daß der in Bewegungsrichtung letzte Schalttransistor 3 abgeschaltet wird. Der Schrittmotor 1 führt daraufhin einen zweiten Halbschritt aus, womit dieser in die Zielposition gelangt, die einer erneuten Halteposition entspricht, in der wiederum drei der vier Schalttransistoren (3, 4, 5) eingeschaltet sind. Die daraus resultierende Bestromung dreier Wicklungshälften (A1, A2, B1) gewährleistet eine wirksame elektrische Bedämpfung des Schrittmotors 1 in der Halteposition, wobei durch das Kurzschließen einer der beiden Phasenwicklungen A oder B des Schrittmotors 1 eine maximale Spannung induziert wird, aus der letztendlich eine maximal dämpfende Wirkung resultiert. Darüber hinaus erweist sich die Bestromung von drei Wicklungshälften in der Halteposition des Schrittmotors 1 dahingehend als vorteilhaft, als daß sowohl durch die zwischen den Kollektoren der Schalttransistoren 3 bis 6 und den bestromten Wicklungshälften A1, A2, B1 und B2 vorgesehenen Widerstände R als auch die Wicklungshälften selbst nur eine geringe Motorerwärmung und Leistungsaufnahme verursacht wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die durch den Einphasenbetrieb erreichbaren hohen Positioniergenauigkeiten zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors aus, indem dieser in der Halteposition bei gleichzeitiger Erhöhung der wirksamen elektrischen Bedämpfung im Einphasenbetrieb und während der Bewegung über mehrere ( $n > 1$ ) Schritte im Zweiphasenbetrieb betrieben wird. Dabei bleiben die Möglichkeiten der Anwendung der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betriebenen Schrittmotoren jedoch nicht allein auf den im Ausführungsbeispiel der Erfindung beschriebenen Fall beschränkt, sondern sind vielmehr auch überall dort gegeben, wo mit zwei- oder mehrphasigen Schrittmotorantrieben hohe Positioniergenauigkeiten erzielt werden sollen.

## Erfindungsanspruch

Verfahren zum Betrieb eines Zweiphasen-Permanentmagnet-Schrittmotors mit Unipolaransteuerung und einer gemeinsamen Stromspeisung in beide Phasenwicklungen, die in je  
5 zwei Wicklungshälften mit einem gemeinsamen Mittelpunkt unterteilt und in Mittelpunktschaltung zusammengeführt sind, wobei während der Bewegung jeweils zwei benachbarte Wicklungshälften bestromt werden, deren Wicklungsenden mittels eines Schalttransistors ein- und ausschaltbar  
10 sind, gekennzeichnet dadurch, daß der Schrittmotor (1) aus seiner Halteposition, in der jeweils drei der vier Schalttransistoren (3; 4; 5; 6) eingeschaltet sind, durch Abschalten des in Bewegungsrichtung letzten Schalttransistors (3; 4; 5; 6 usw.) zunächst um einen ersten Halb-  
15 schritt bewegt, anschließend durch das gleichzeitige Ein- bzw. Abschalten des in Bewegungsrichtung jeweils nächsten bzw. letzten Schalttransistors (3; 4; 5; 6 usw.) im bekannten Zweiphasenbetrieb um  $(n-1)$ -Schritte weitergeschaltet und schließlich durch Einschalten des in Bewegungsrichtung  
20 nächsten Schalttransistors (3; 4; 5; 6 usw.) um einen zweiten Halbschritt in eine neuerliche Halteposition, in der wiederum jeweils drei der vier Schalttransistoren (3; 4; 5; 6) eingeschaltet sind, eingestellt wird.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

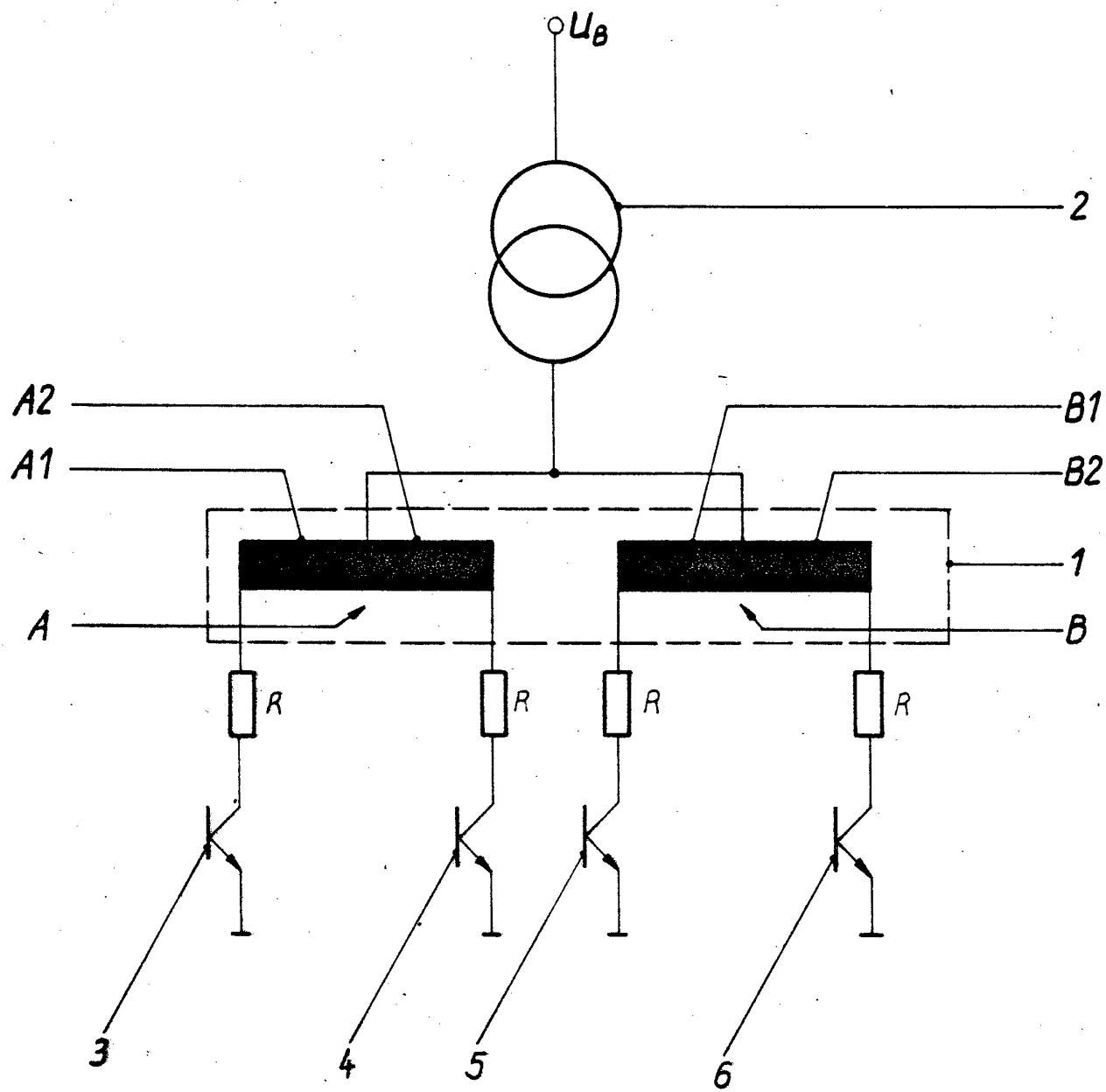


Fig. 1

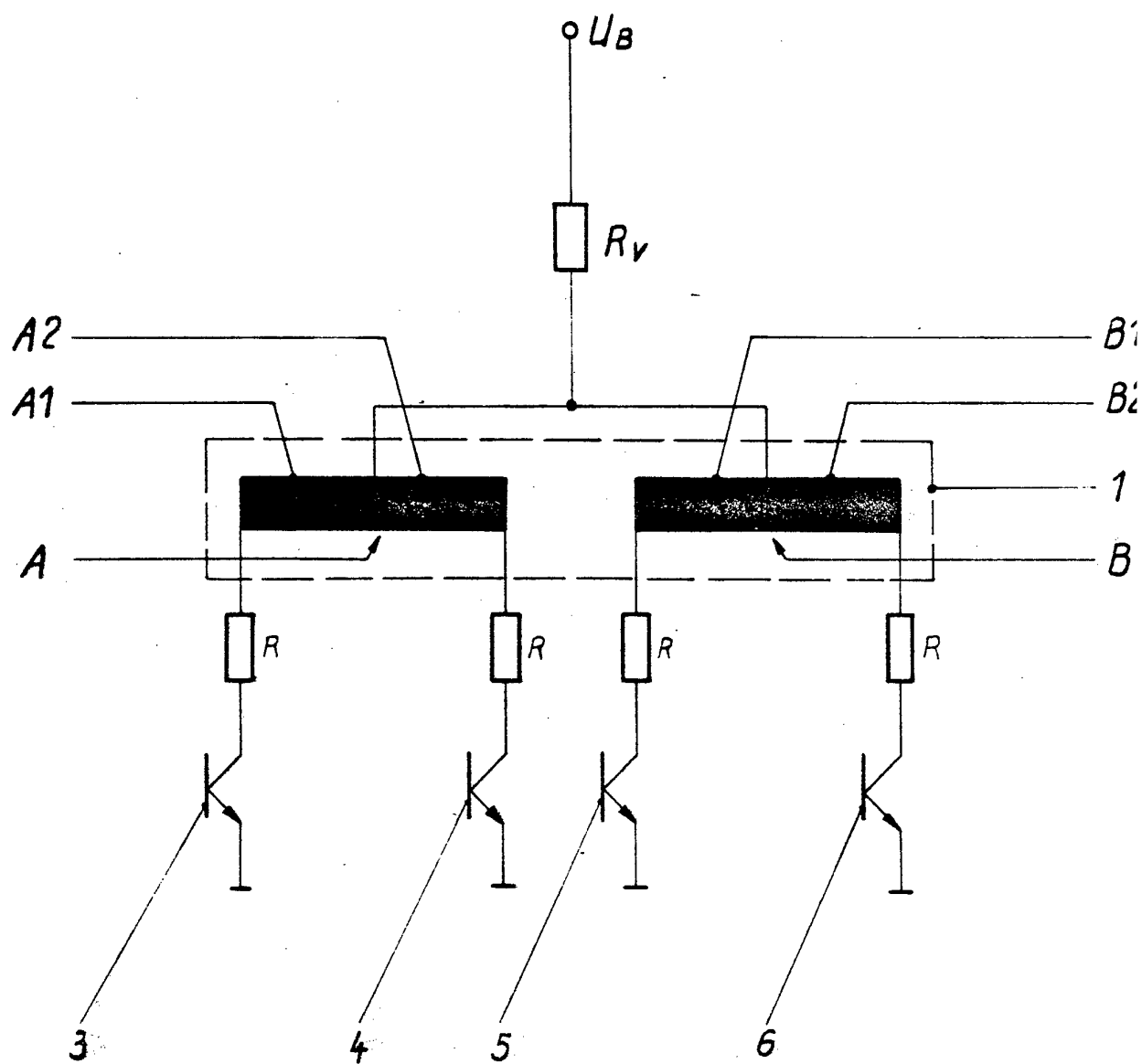
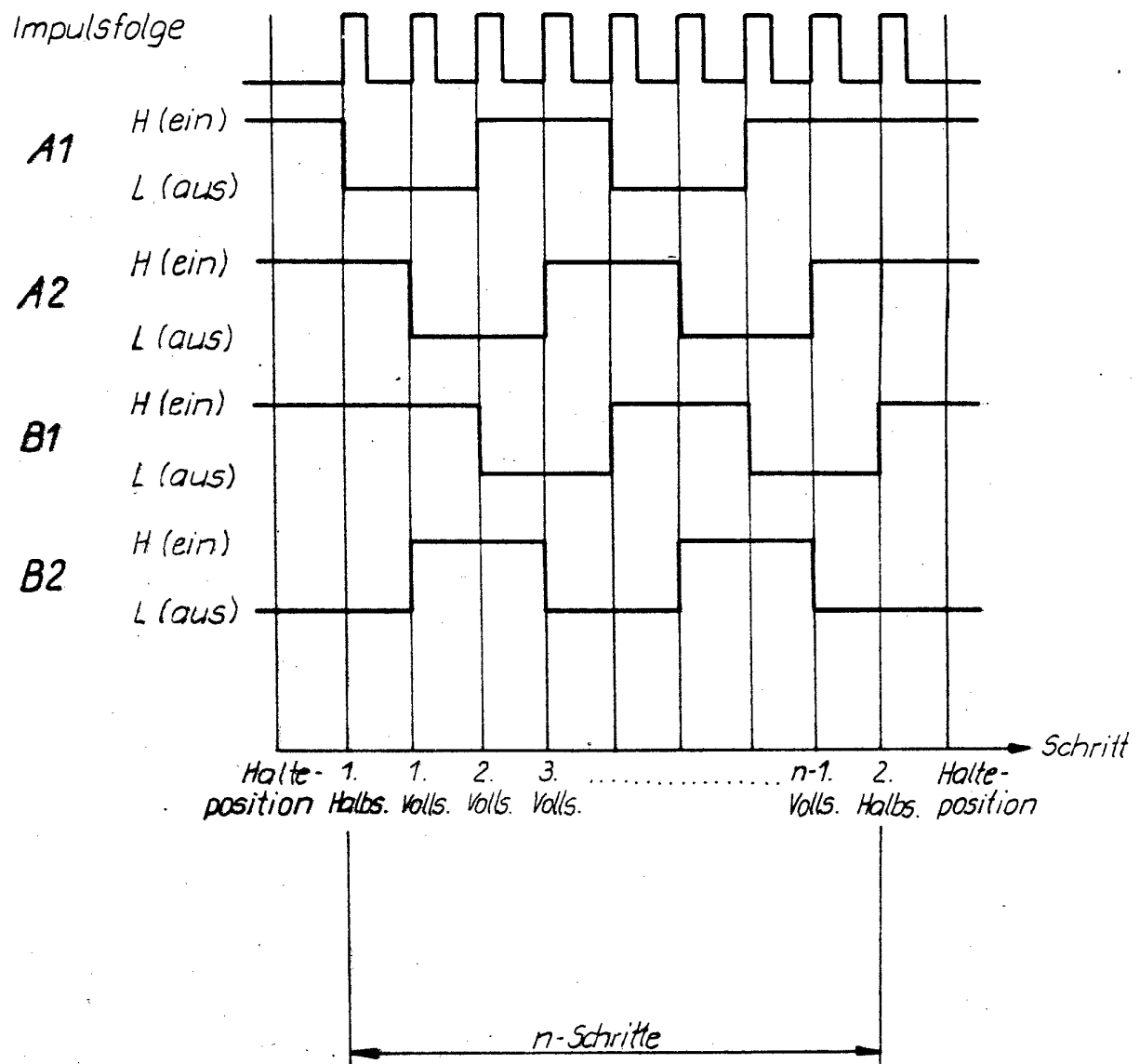


Fig. 2



**Fig. 3**