

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

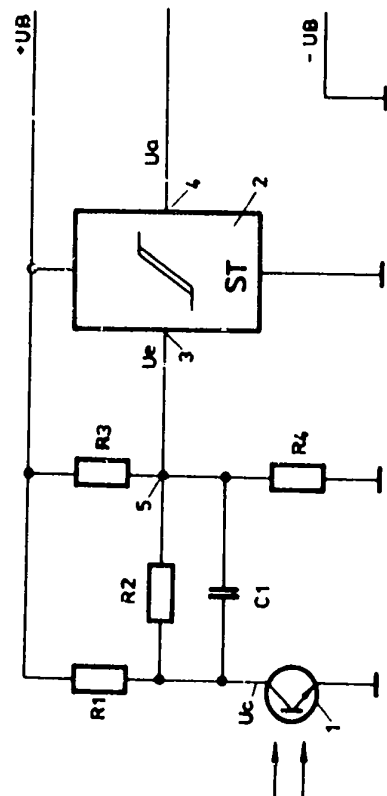
In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 02 P / 315 643 8	(22)	11.05.88	(44)	27.09.89
(71)	VEB Robotron Büromaschinenwerk „Ernst Thälmann“ Sömmerda, Weißenseer Straße 52, Sömmerda, 5230, DD				
(72)	Möller, Siegfried, Dipl.-Ing., DD				
(54)	Schaltungsanordnung zur Phasenkorrektur von optoelektronisch erzeugten Taktierungssignalen bei eigentaktierten Schrittmotoren				

(55) Eigentaktierter Schrittmotor, Ansteuerfrequenz, Momentänderung, Phasenverschiebung, Spannungsteiler, Impedanzglied

(57) Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung betrifft die Erhöhung der Schrittfrequenz bei Gewährleistung einer hohen Momentänderung als gewünschte Reaktion auf eine Last- oder Drehzahländerung des Motors. Aufgabengemäß bedeutet dies, aus einer symmetrisch aufgebauten Taktierungseinrichtung für beliebige Drehrichtungen und Schrittfrequenzen die gewonnene logische Taktierungsinformation derart in der Phase voreilen zu lassen, daß ein Anteil der Phasenverschiebung zwischen Ansteuer- und Antriebsfunktion kompensiert wird. Lösungsgemäß besteht die Schaltungsanordnung aus einem emitterseitig mit dem Minuspol der Betriebsspannung verbundenen Fototransistor, dessen Kollektor über einen Arbeitswiderstand mit dem Pluspol der Betriebsspannung und gleichzeitig über passive Schaltungselemente in einem gemeinsamen Knotenpunkt mit dem Eingang eines Schmitt-Triggers verbunden ist, wobei der Eingang des Schmitt-Triggers über einen Widerstand mit dem Pluspol und über einen weiteren Widerstand mit dem Minuspol der Betriebsspannung verbunden ist und über einen nächsten Widerstand parallel zu einem Kondensator mit dem Kollektor des Fototransistors verbunden ist und wobei die Knotenpunktswiderstände einen Spannungsteiler bilden, der eine dem Schaltpegel des Schmitt-Triggers proportionale Teilerspannung bereitstellt. Vorteilhaft wird eine Erhöhung der maximal erreichbaren Schrittfrequenz von etwa 20 % erreicht, während der für die Schaltungsanordnung erforderliche Bauelementeaufwand in vertretbaren Grenzen bleibt. Fig. 4

Fig. 4



Patentansprüche:

1. Schaltungsanordnung zur Phasenkorrektur von optoelektronisch erzeugten Taktierungssignalen bei eigentaktierten Schrittmotoren enthaltend einen emitterseitig mit dem Minuspol der Betriebsspannung und kollektorseitig über passive Schaltungselemente sowohl mit dem Pluspol der Betriebsspannung als auch mit dem Eingang eines Schmitt-Triggers verbundenen Fototransistor, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Eingang (3) des Schmitt-Triggers (2) über einen Widerstand (R3) mit dem Minuspol der Betriebsspannung sowie über einen nächsten Widerstand (R2) parallel zu einem Kondensator (C1) mit dem Kollektor des Fototransistors (1) verbunden ist.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Widerstände (R3 und R4) einen Spannungsteiler bilden, welcher zur Erzeugung einer am Schaltpegel des Schmitt-Triggers (2) äquivalenten Teilerspannung angeordnet ist.
3. Schaltungsanordnung nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Widerstände (R2; R3; R4) gleiche Werte haben.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Phasenkorrektur von optoelektronisch erzeugten Taktierungssignalen bei eigentaktierten Schrittmotoren, die eine an der Rotorwelle angekoppelte drehwinkelabhängige Taktiereinrichtung mit analogem Ausgangssignal aufweisen, welches über weitere elektronische Schaltmittel in ein digitales Signal umgewandelt wird und Einfluß auf die Auswahl der Ansteuerung der Phasenwicklungen des Schrittmotors nimmt. Derartige eigentaktierte Schrittmotoren werden vorzugsweise zum Antreiben und Positionieren von Universaltypenträgern und Druckwagen verwendet.

Schrittmotorenantriebe, die zum Beschleunigen und Abbremsen das maximale Drehmoment des Schrittmotors erfordern, verfügen allgemein über eine Drehwinkeltaktierung, die mit der Rotorbewegung des Schrittmotors in Verbindung steht, wobei die Motorsteuersignale aus den Taktierungssignalen abgeleitet werden. Die Drehwinkeltaktierung bildet allgemein den Polradverlauf des Schrittmotors nach, und die Taktierungssignale bewirken, daß in Abhängigkeit des erforderlichen Drehmoments die Motorwicklungen angesteuert werden, die entsprechend der Drehmoment/Drehwinkel-Kennlinie notwendig sind.

Der Strom in den Wicklungen des Schrittmotors ist nicht sprunghaft änderbar. So wird bei der Auswahl einer Motorwicklung diese direkt an die Betriebsspannung angeschlossen, aber der Strom nimmt nur stetig entsprechend der allgemein bekannten Exponentialfunktion zu. Die Zeit zwischen dem Beginn des Stromflusses und dem Erreichen des konzipierten Maximalstroms stellt die Stromanstiegszeit dar. Beim Abschalten einer Motorwicklung wird der Strom durch die Motorwicklungen nicht sprunghaft zu Null, sondern folgt ebenfalls einer allgemein bekannten Exponentialfunktion. Die Zeit zwischen dem Abschalten einer Motorwicklung von der Betriebsspannung und dem Absinken des Wicklungsstroms auf einen definiert niedrigen Wert ist die Stromausraumzeit.

Die Parameter der Exponentialfunktionen werden durch die Motordaten, die Betriebsspannung und die Motorbeschaltung bestimmt und sind unabhängig von der Ansteuerfrequenz der Motorwicklungen. Durch die Stromanstiegs- und Ausraumzeiten entsteht eine Phasenverschiebung des Stromflusses in den Motorwicklungen gegenüber der logischen Ansteuerfunktion. Bei niedrigen Schrittfrequenzen ist diese Phasenverschiebung vernachlässigbar. Bei Schrittfrequenzen, bei denen die Ein- und Ausschaltzeit einer Motorwicklung etwa der Stromanstiegs- bzw. Stromausraumzeit entspricht, wirkt sich die Reduzierung des Stromintegrals während der Ansteuerzeit stark momentmindernd aus.

Bei eigentaktierten Schrittmotoren bewirkt neben der Reduzierung des Motormoments durch das reduzierte Stromintegral die Phasenverschiebung des Stromflusses eine Ansteuerung der Motorwicklungen auf Abschnitten der Drehmoment/Drehwinkel-Kennlinie, die zusätzlich zu einer weiteren Momentminderung und damit zu einer Reduzierung der maximal erreichbaren Schrittfrequenz führt.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Es sind Schaltungsanordnungen zur Ansteuerung von Motoren und von eigentaktierten Schrittmotoren bekannt, bei denen zur Kompensation der Phasenverschiebung des Stromes in den Wicklungen zur Ansteuerzeit der Wicklungen ein Voreilen der Ansteuerzeit in Abhängigkeit von Drehzahlsensoren oder der Frequenz der Taktierungssignale und damit eine Erhöhung der maximalen Schrittfrequenz versucht wird.

Zur Erzeugung und Einstellung eines „Voreilwinkels“ der Ansteuerfunktion zur Kompensation der momentmindernden Wirkung der Stromanstiegs- und Ausraumzeiten sind zwei Arten von Steuerschaltungen bekannt geworden.

Bei der ersten (/1/ DE 2856538 H 02 P 5/34) Steuerschaltung ändert sich dieser Voreilwinkel nicht unmittelbar drehzahlproportional mit den Signalen des Drehzahlsensors bzw. Taktgebers, vielmehr folgt er einer fest vorgegebenen Zeitkonstanten und bewirkt ein eher nachteiliges Regelungsverhalten mit unerwünschten Motordrehmomentschwankungen. Die oben /1/ erwähnten vorgegebenen Zeitkonstanten können beispielsweise in speicherimplementierten Tabellen abgelegt sein (Hardwarelösung in /3/ DE 33 11 664 G 05 B 19/407) oder ein Mikrorechner arbeitet die Tabelle programmgesteuert ab (Softwarelösung in /4/ WO 82/02962 G 05 B 19/407).

Die zweite (/2/ DD 201 554 H 02 P 8/00) Steuerschaltung verfolgt das Ziel, die aus der Taktierungsinformation gewonnene logische Ansteuerfunktion derart in der Phase vorzuziehen, daß zwischen einer symmetrischen analogen Taktierungsinformation und der gewonnenen logischen Taktierungsinformation eine negative Phasenverschiebung entsteht, das heißt, die Flanken der logischen Taktierungsinformations-Impulse eilen den Nulldurchgängen der symmetrischen analogen Taktierungsinformation voraus. Diese Phasenverschiebung ist frequenzabhängig und wirkt sich im Antrieb für den Druckwagenschrittmotor eines Nadeldruckers insofern nachteilig aus, weil die gewonnene logische Taktierungsinformation neben der Ansteuerung des Schrittmotors gleichfalls zur Auslösung der Druckzeitpunkte genutzt wird und jede Variation dieser Phasenverschiebung gleichfalls eine unzulässige Verschiebung der abgedruckten Punkte auf dem Druckbeleg bedeutet. Außerdem ist nachteilig, daß für diese Schaltungsanordnung die Taktierungseinrichtung unbedingt nullpunktsymmetrische und möglichst oberwellenfreie Sinusspannungen benötigt. Der Nachteil der beschriebenen Lösungen des Standes der Technik besteht darin, daß die Phasenverschiebung nicht frequenzunabhängig ist, daß erhöhte Anforderungen an den Signalverlauf der Ausgangsspannung der Taktierung gestellt werden und demzufolge weder die Ansteuerfrequenz wirksam erhöhbar noch die Momentenschwankung vermindert ist.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, die Ansteuerfrequenz zu erhöhen und die Momentenschwankung zu beseitigen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine von der Ansteuerfrequenz unabhängige negative Phasenkorrektur zu bewirken. Die Lösung der technischen Aufgabe besteht darin, aus einer Taktierungseinrichtung für beliebige Drehrichtungen und Schrittfolgen die gewonnene logische Taktierungsinformation derart in der Phase vorzuziehen zu lassen, daß ein Anteil der Phasenverschiebung zwischen Ansteuer- und Antriebsfunktion kompensiert wird und besteht als realisierende Schaltungsanordnung aus einem emitterseitig mit dem Minuspol der Betriebsspannung U_B verbundenen Fototransistor, dessen Kollektor über einen Arbeitswiderstand mit dem Pluspol der Betriebsspannung und gleichzeitig über passive Schaltungselemente in einem gemeinsamen Knotenpunkt mit dem Eingang eines Schmitt-Triggers verbunden ist, wobei der Eingang des Schmitt-Triggers über einen Widerstand mit dem Pluspol und über einen weiteren Widerstand mit dem Minuspol der Betriebsspannung verbunden ist und über einen nächsten Widerstand parallel zu einem Kondensator mit dem Kollektor des Fototransistors verbunden ist und wobei die Knotenpunktswiderstände einen Spannungsteiler bilden, der eine dem Schmitt-Triggers äquivalente Teilerspannung bereitstellt. Lösungscharakteristisch ist, daß der Spannungsteiler die Betriebsspannung auf einen Spannungswert in Höhe der Schwellwertspannung des Schmitt-Triggers herabteilt, daß am gemeinsamen Knotenpunkt drei Widerstände, ein Kondensator und die Eingangsspannung des Schmitt-Triggers angeschlossen sind, daß jede Signaländerung des Kollektorpotentials U_c des Fototransistors direkt mit voller Amplitude über den Reihenkondensator zum Eingang des Schmitt-Triggers übertragen wird und daß die Knotenpunktswiderstände gleiche Werte haben. Vorteilhaft wird eine Erhöhung der maximal erreichbaren Schrittfolge von etwa 20 % erreicht, während der für den Spannungsteiler und für das Impedanzglied notwendige Bauelementeaufwand in vertretbaren Grenzen bleibt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt:

- Fig. 1: Stromverlauf (b) in den Motorwicklungen in Abhängigkeit von der logischen Wicklungsansteuerungsfunktion (a),
- Fig. 2: bekannte Schaltungsstruktur zur Umwandlung eines optoelektronisch gewonnenen analogen Signales in ein digitales Signal mittels eines Schmitt-Triggers ST,
- Fig. 3: Spannungsverläufe in der Schaltung entsprechend Fig. 2,
- Fig. 4: Schaltungsanordnung entsprechend der erfindungsgemäßen Lösung.
- Fig. 5: Spannungsverläufe in der Schaltung entsprechend Fig. 4.

Für den Antrieb beispielsweise des Druckwagentransportes eines Nadeldruckers wird ein Schrittmotorantrieb verwendet, der bis zu Schrittfolgen von 3 kHz betrieben werden muß, und der auf Grund der erforderlichen extrem kurzen Hochlauf- und Bremszeiten das maximal mögliche Beschleunigungs- und Bremsmoment zu erzeugen hat. Derartige extreme Betriebsdrehmomente lassen sich mit Schrittmotoren nur dann erzielen, wenn über eine Drehwinkel-Taktierung die Augenblicksstellung des Rotors zum Polradwinkel erfaßt wird und diejenige Wicklungskombination angesteuert wird, die entsprechend des Drehmomenten-Drehwinkel-Kennlinienfeldes das maximale Moment erzeugt. Durch den geschlossenen Ansteuerkreis, der sich aus der Gewinnung der Taktierungsinformation, der Auswertung der Taktierungsinformation, der mikroprogrammtechnischen Ableitung der Wicklungsauswahl aus der Taktierungsinformation bis hin zu den Stromflußphasen in den Motorwicklungen erstreckt, ergeben sich momentmindernde Einflüsse und eine Reduzierung der maximal erreichbaren Schrittfolge. Sie ergeben sich dadurch, daß zwischen der theoretischen idealen logischen Ansteuerfunktion für die Wicklungsauswahl und der realen elektromagnetischen Antriebsfunktion, die durch die Stromflußphasen in den Motorwicklungen bestimmt wird, eine Phasenverschiebung wie folgt auftritt: Die elektromagnetische Antriebsfunktion eilt allgemein der Ansteuerfunktion nach, so daß eine optimale Ansteuerung entsprechend der Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinie

nicht möglich ist. Den Hauptanteil an dieser Phasenverschiebung verursachen die Stromanstiegs- und Ausräumzeiten der Ströme in den Motorwicklungen und die Programmlaufzeiten bei der mikroprogrammtechnischen Ableitung der logischen Wicklungsauswahl aus der Taktierungsinformation.

In Fig. 1 sind die logischen Ansteuerfolgen für niedrige und hohe Ansteuerfrequenzen für die Wicklungsauswahl des Schrittmotors und in der jeweils zugehörige Stromverlauf in den Motorwicklungen dargestellt.

Die Anstiegszeit t_{an} des Stromes bis zum Erreichen des Maximalstromes und die Stromausräumzeit t_{aus} sind unabhängig von der Ansteuerfrequenz. Bei niedrigen Ansteuerfrequenzen $f_1 = \frac{1}{T_1}$ ist die Verzögerung der elektromagnetischen Antriebsfunktion

gegenüber der logischen Ansteuerfunktion vernachlässigbar.

Bei einem Nacheilen $t_{phas} = 0,25 \cdot T_2$ beträgt die Phasenverschiebung 90° und das Motorbetriebsdrehmoment ist Null. Damit ist die maximal erreichbare Schrittfrequenz in einem derartigen eigentaktierten Schrittmotorantrieb bestimmt. Zur Erhöhung der erreichbaren maximalen Schrittfrequenz bei eigentaktierten Schrittmotorantrieben ist neben der Wahl der Wicklungsparameter des Schrittmotors und einer entsprechenden Motorbeschaltung darauf zu achten, daß die Phasenverschiebung zwischen der optimalen Ansteuerfunktion und der elektromagnetischen Antriebsfunktion so gering wie möglich ist. Durch die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung soll ein Anteil dieser Phasenverschiebung kompensiert werden, was mit Fig. 4 und 5 erläutert wird.

In Fig. 2 ist eine Schaltungsstruktur bekannter Art zur Umwandlung von moduliertem Licht mittels eines Fototransistors und einem nachgeschalteten Schmitt-Trigger dargestellt.

In Fig. 3 sind die Eingangsspannung U_e des Schmitt-Triggers, die sich durch den Stromfluß des Fototransistors über dem Lastwiderstand R1 ergibt und die Ausgangsspannung U_a des Schmitt-Triggers dargestellt.

Der in Fig. 2 dargestellte Schmitt-Trigger besitzt eine feste Einschaltsschwelle U_1 und eine feste Ausschaltsschwelle U_2 . Die Differenz $U_1 - U_2$ ist die Hysterese dieses Schmitt-Triggers und sollte etwa symmetrisch zur halben Betriebsspannung ($0,5 U_B$) liegen. Durch die endliche Hysterese ergibt sich bei der logischen Signalgewinnung aus dem analogen Eingangssignal U_e eine Nacheilzeit t_n des logischen Ausgangssignals U_a gegenüber der Eingangsspannung U_e .

Fig. 4: Diese Nacheilzeit t_n , die sich aus der Schaltungsstruktur entsprechend Fig. 2 ergibt, ist mit einer Schaltungsstruktur entsprechend Fig. 4 vermeidbar, und es läßt sich sogar ein Voreilen t_v der Flanken der logischen Ausgangsfunktion U_a gegenüber den Nulldurchgängen einer im Vergleich zu den Fig. 2 und 3 äquivalenten Eingangsspannung U_e erzielen.

Die Hysterese $U_1 - U_2$ habe gleichen Betrag wie nach Fig. 1 und 3 und liege gleichermaßen symmetrisch zu $0,5 U_B$. Die Teilerwiderstände R3 und R4 sind gleich groß und teilen somit die Betriebsspannung U_B auf $0,5 \cdot U_B$. In bezug auf den Innenwiderstand der optoelektronischen Abtasteinrichtung sollen die Teilerwiderstände R3 und R4 hochohmig und in bezug auf den Eingangswiderstand des Schmitt-Triggers 2 niederohmig sein; in der realen Schaltungsanordnung wurden 33 kOhm gewählt. Der Reihenwiderstand R2 unterliegt den gleichen Bedingungen und hat den gleichen Wert wie R3 und R4. Der Kollektorwiderstand R1 für den Fototransistor 1 stellt für den Zustand des gesperrten Fototransistors 1 den Innenwiderstand der optoelektronischen Abtasteinrichtung dar und soll gegenüber den Teilerwiderständen R3, R4 und dem Reihenwiderstand R2 klein sein; für R1 wurden 8,2 kOhm gewählt. Eine statische Betrachtung der Eingangsspannung U_e in Abhängigkeit der statischen Pegel U_c am Kollektor des Fototransistors 1 ergibt folgende Pegel:

- Der Fototransistor 1 ist abgedunkelt, und es fließt kein Strom durch den Fototransistor 1. Die Widerstände R1 und R2 liegen in Reihe und beide parallel zum Teilerwiderstand R3. Aus der Bedingung, daß $R1 \ll R2$ ist, kann R1 näherungsweise vernachlässigt werden, so daß sich für U_e eine Teilerspannung durch die Widerstände R2/R3 in Reihe mit R4 zu $U_e = 0,66 U_B$ ergibt. Damit liegt U_e über $0,5 U_B$ und allgemein auch mit hinreichendem Störabstand über der Einschaltsschwelle U_1 .
- Der Fototransistor 1 wird beleuchtet und ist somit leitend. Bei einer hinreichend kleinen Sättigungsspannung U_c des Fototransistors 1 kann diese näherungsweise vernachlässigt werden. Dann liegt der Reihenwiderstand R2 parallel zum Teilerwiderstand R4, so daß sich in Reihe mit dem Teilerwiderstand R3 ein statischer Pegel für die Eingangsspannung $U_e = 0,33 U_B$ ergibt.

In diesem Betriebszustand der Schaltung liegt U_c unter $0,5 \cdot U_B$ und auch mit hinreichendem Störabstand unter der Ausschaltsschwelle U_2 . Damit liegt die Eingangsspannung U_e im eingeschwungenen Zustand mit einem entsprechenden Störabstand, der durch die Größe des Reihenwiderstandes R2 bestimmt wird, dicht an den Schaltschwellen des Schmitt-Triggers 2.

Im dynamischen Betrieb, also beim Übergang von Zuständen der Beleuchtung des Fototransistors zu seiner Abdunkelung und umgekehrt, wird der Reihenwiderstand R2 wirksam und stellt in Verbindung mit dem Reihenwiderstand R2 für hohe Frequenzen eine gegenüber den Teilerwiderständen R3 und R4 niederohmige Impedanz dar. Damit wird die Änderung des Kollektorpotentials U_c des Fototransistors 1 während der Übergänge der Beleuchtungszustände direkt zur Eingangsspannung U_e des Schmitt-Triggers 2 durchgereicht. Nach einer endlichen Zeitkonstante, die sich aus der Größe des Reihenwiderstandes R2 in Verbindung mit dem sich ergebenden Ersatzwiderstand einstellt, hat die Eingangsspannung U_e des Schmitt-Triggers 2 die oben beschriebenen statischen Pegel erreicht. Für die oben erwähnte angestrebte Maximalfrequenz von etwa 3 kHz sollte dieser statische Pegel sicher erreicht werden, dazu wurde real ein Reihenwiderstand R2 von 10 nF verwendet.

Charakteristisch für diese Schaltungsanordnung nach Fig. 4 ist, daß jede Signaländerung des Kollektorpotentials U_c des Fototransistors 1 direkt mit voller Amplitude über den Reihenwiderstand R2 zum Eingang 3 des Schmitt-Triggers 2 übertragen wird. Da sich die statischen Pegel der Eingangsspannung U_e vor einem Pegelsprung von U_c bereits in der Nähe der Schaltpegel U_1, U_2 des Schmitt-Triggers 2 befinden, reichen schon geringe Pegeländerungen von U_c aus, um die entsprechende Schaltschwelle U_1, U_2 zu überschreiten, damit die zugehörige Flanke des Ausgangssignals U_a erzeugt wird.

Könnte bei der bekannten Schaltungsstruktur nach Fig. 2 eine Flanke des Ausgangssignals U_a vergleichsweise erst bei einer Pegeländerung für das Eingangssignal U_b bei $U_c \approx 0,5 \cdot U_b$ erzielt werden, kann bei der Schaltung nach Fig. 4 bereits eine Flanke des Ausgangssignals U_a bei einer Pegeländerung von $\Delta U_c \approx 0,2 \cdot U_b$ erreicht werden. Dadurch eilen die Flanken des Ausgangssignals U_a gegenüber den Schaltpegeln, die die erforderliche Signalsymmetrie bei beliebiger Drehrichtung garantieren und bei etwa $0,5 U_b$ liegen, deutlich voraus.

Neben der beschriebenen Funktionsweise der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung (Fig. 4 und 5) hat die konstruktive Gestaltung der Taktiereinrichtung und damit der funktionelle Verlauf der erzeugten Kollektorspannung U_c einen unterstützenden Einfluß auf die Größe der erreichbaren Voreilzeiten t_v .

In der dargestellten Schaltung wurden in Verbindung mit der konstruktiven Ausführung der Taktiereinrichtung Voreilzeiten t_v von etwa 60 Mikrosekunden erreicht. Das ermöglicht für das beschriebene Ausführungsbeispiel eine Erhöhung der maximal erreichbaren Schrittfrequenz von etwa 20 %.

Fig. 1

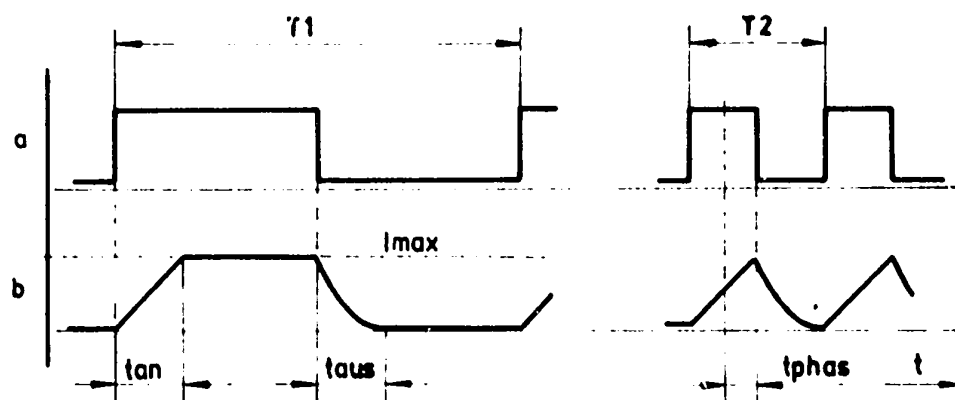


Fig. 2

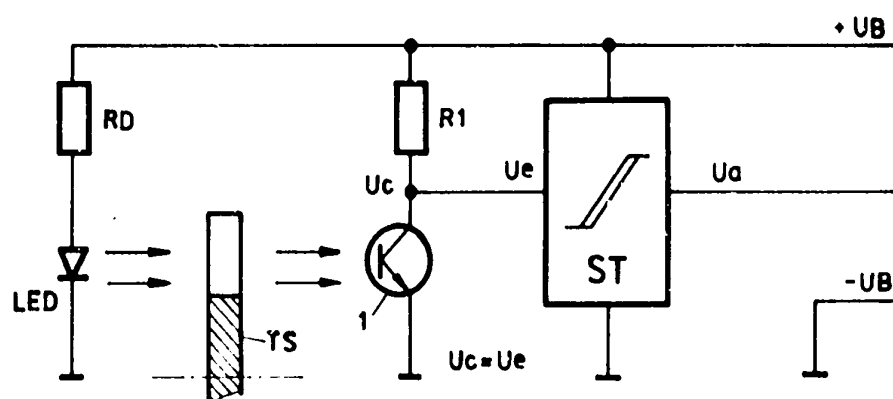


Fig. 3

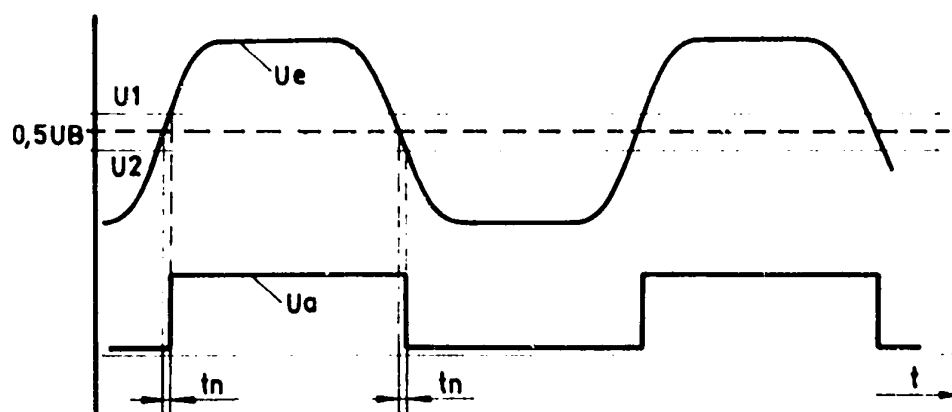


Fig. 4

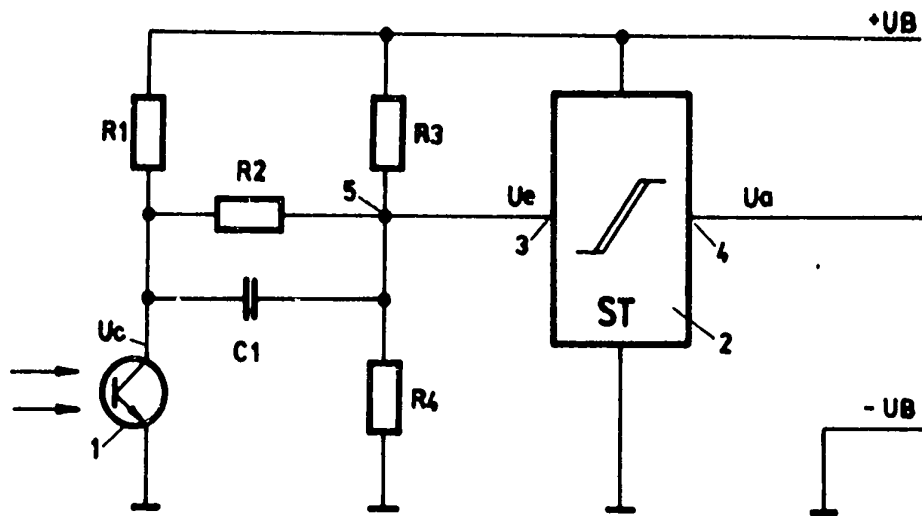


Fig. 5

