

Ein IC als Verbindungsglied zwischen Mikroprozessor und Schrittmotor

Autor(en): **Schwager, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **77 (1986)**

Heft 19

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904279>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein IC als Verbindungsglied zwischen Mikroprozessor und Schrittmotor

B. Schwager

Nach einer kurzen Einleitung über die Funktionsweise der Schrittmotoren wird eine integrierte Schaltung mit einer bipolaren Choppersteuerung beschrieben, die trotz beträchtlichem Schaltungsaufwand eine einfache Ansteuerung eines Schrittmotors ermöglicht.

Après une brève introduction au fonctionnement des moteurs pas à pas, on décrit un montage intégré avec une commande à hacheur bipolaire, qui permet une commande simple d'un moteur pas à pas malgré un circuit relativement complexe.

Schrittmotoren haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dies ist vor allem auf den Schrittmotor als digital steuerbaren, kostengünstigen Kleinantrieb zurückzuführen. Insbesondere sind Schrittmotoren zuverlässige Stellglieder ohne Rückführung. Die hohe technische Zuverlässigkeit macht sie kostengünstig im Vergleich zu alternativen Antriebslösungen. Eine optimale Ansteuerung von Schrittmotoren ist die bipolare Choppersteuerung. Der mit dieser Ansteuerung bisher verbundene zusätzliche Schaltungsaufwand gegenüber Unipolarbetrieb kann heute durch integrierte Schaltungen sehr stark vereinfacht werden. Damit lassen sich Schrittmotorsysteme preiswert realisieren.

1. Aufbau und Funktion des Schrittmotors

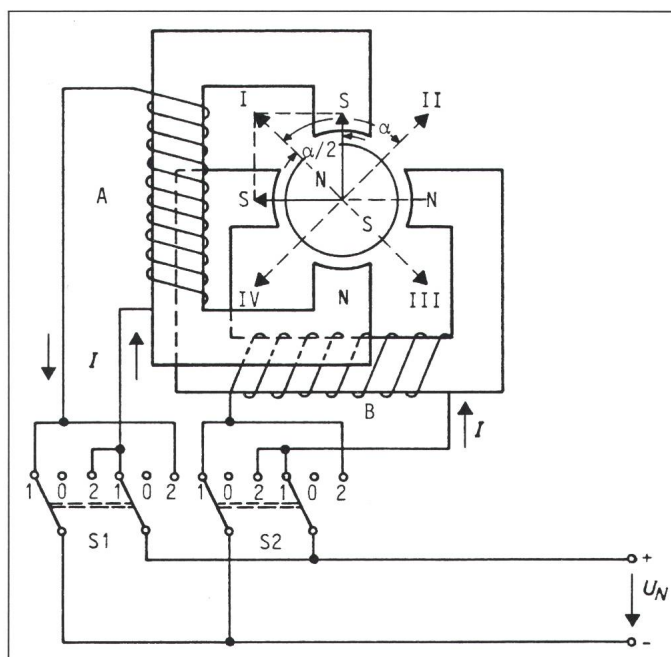
Schrittmotoren wandeln digitale, elektrische Steuerbefehle in proportio-

nale Winkelschritte um. Die Welle eines Schrittmotors dreht sich bei jedem Steuerimpuls um einen definierten Schritt weiter. Bei einer schnellen Folge der Impulse geht die Schrittbewegung in eine kontinuierliche Drehbewegung über. Der Schrittmotor kann beliebige Schrittfolgen in beiden Drehrichtungen ohne Schrittfehler ausführen. Eine Rückmeldung ist nicht erforderlich.

Im Prinzip besteht der Schrittmotor aus mehreren, voneinander unabhängigen Feldspulen, mit denen sich innerhalb des Stators ein Magnetfeld erzeugen lässt, das in seiner Richtung und Intensität veränderbar ist. Ein permanent magnetisierter Rotor stellt sich abhängig vom Statorfeld jeweils auf die Position des geringsten magnetischen Widerstandes.

Zweiphasen-Bipolar-Schrittmotoren haben zwei voneinander unabhängige Statorspulen (Fig. 1). Die Richtung des Stromes durch die Statorspulen ist abhängig von der Lage des

Fig. 1
Bipolare
Schrittmotorsteuerung



Adresse des Autors

Dipl. Ing. Bernhard Schwager, Siemens AG,
Abt. B V A T I E MSR, St. Martin-Strasse 53,
D-8000 München 80.

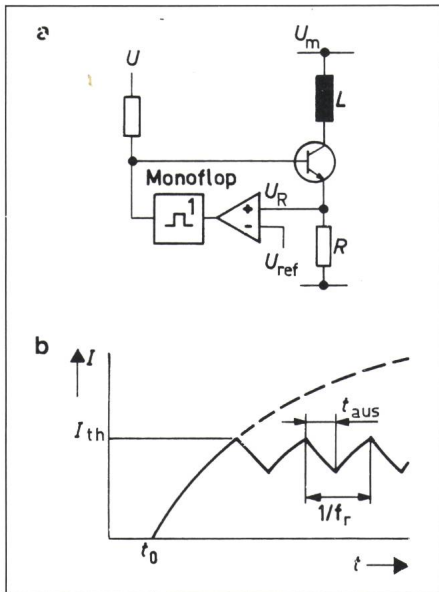


Fig. 2 Prinzipschaltung (a) und Stromverlauf (b) der Choppersteuerung

Steuerschalters. Durch Umschalten der doppelpoligen Umschalter wird in den Magnetpolen des entsprechenden Stators eine Umpolung des Magnetfeldes erreicht.

Beispielsweise befinden sich in Figur 1 beide Umschalter in Stellung 1. Die Ständerpolsysteme haben dadurch die aufgezeigte Polarität. Der Rotor nimmt mit seinem Nordpol die Position I ein. Durch Umlegen des Schalters S_2 in Stellung 2 wird die Stromrichtung in Wicklung B umgepolt. Damit wird auch das Ständersystem B umgepolt. Der Rotor dreht sich im Uhrzeigersinn und nimmt dadurch die neue Position II ein. Er hat dabei den Schrittwinkel α zurückgelegt.

Die Größe des Schrittwinkels α ist allgemein bestimmt durch Polpaarzahl und Strangzahl des Motors.

$$\alpha = 360^\circ / 2mp$$

m = Strangzahl
 p = Polpaarzahl

Bezogen auf Figur 1 mit $m = 2$ und $p = 1$ beträgt der Schrittwinkel $\alpha = 90^\circ$.

In gleicher Weise werden durch entsprechendes Umschalten der Wicklungsstränge die Positionen III und IV angesteuert. Nach dem 4. Schritt erreicht der Läufer die Ausgangsposition I, und das Bestromungsmuster wiederholt sich.

2. Choppersteuerung

Einen sehr schnellen Stromanstieg in der Schrittmotorwicklung gestattet der Chopperbetrieb.

Das Prinzipbild der Choppersteuerung ist in Figur 2a zu sehen. Der Einfachheit halber wird nur eine Schrittmotorwicklung L gezeigt. Wenn der Transistor T leitet, nehmen der Strom durch L und damit auch die Spannung U_R am Sensorwiderstand R exponentiell zu. Ein Komparator vergleicht die Spannung U_R mit einer Referenzspannung U_{REF} . Sobald U_R diese Spannung überschreitet, aktiviert der Komparator ein Monoflop, welches den Transistor für eine bestimmte Zeit sperrt. In Figur 2b ist der Stromverlauf dargestellt. Der obere Stromwert wird vom Widerstand R und der untere von der Ausschaltzeit t_{aus} des Monoflops und der Zeitkonstanten der Motorwicklung bestimmt. Die Wiederholfrequenz f_r ist durch t_{aus} , die Motorspannung U_m , Induktivität und Widerstand der Motorwicklung (Zeitkonstante) bestimmbar. Die Chopperfrequenz (Wiederholfrequenz) sollte ausserhalb des Hörbereiches ($> 15 \text{ kHz}$) liegen.

3. Voll-, Halb- und Viertelschrittbetrieb

Um einen bipolaren Schrittmotor im *Vollschrittbetrieb* in eine kontinuierliche Drehbewegung zu versetzen, müssen die Wicklungen abwechselnd bestromt werden. Für eine ganze Drehung sind bei dem Schrittmotor nach Figur 1 (Schrittwinkel 90°) vier Schritte notwendig. Dies lässt sich anhand eines Zeigerdiagramms für einen Zweiphasenschrittmotor (Fig. 3a) ableiten.

Die Ordinate A bedeutet, dass Wicklung A positiv bestromt wird, A' nega-

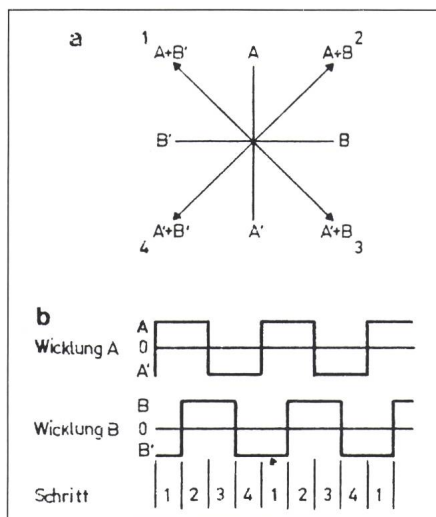


Fig. 3 Zeigerdiagramm (a) und Bestromungsdiagramm (b) für Vollschrittbetrieb eines Zweiphasenschrittmotors

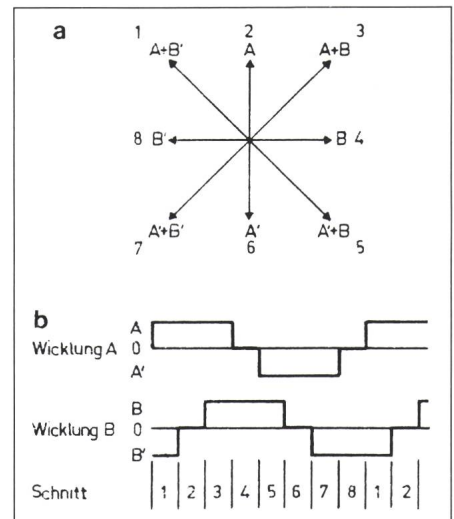


Fig. 4 Zeigerdiagramm (a) und Bestromungsdiagramm (b) für Halbschrittbetrieb eines Zweiphasenschrittmotors

tiv. Die Pfeilspitzen zeigen die Läuferstellungen des Motors bei Vollschrittbetrieb. Aus dem Zeigerdiagramm lässt sich das Bestromungsdiagramm für die Wicklungen A und B ableiten (Fig. 3b). Das Diagramm zeigt, wie die Wicklungen eines Zweiphasen-Bipolarschrittmotors für Vollschrittbetrieb angesteuert werden müssen.

Beim *Halbschrittbetrieb* ist bei jedem zweiten Schritt eine Wicklung unbestromt, was dazu führt, dass sich der Läufer nur um einen halben Schritt bewegt. Diese Zwischenschritte sind auch dem Zeigerdiagramm in Figur 4a zu entnehmen (Stellungen 2, 4, 6 und 8). Das Bestromungsdiagramm für Halbschrittbetrieb (Fig. 4b) kann ebenfalls aus dem Zeigerdiagramm abgeleitet werden.

Für eine volle Umdrehung des Läufers im Halbschrittbetrieb sind acht Schritte erforderlich, doppelt so viele wie beim Vollschrittbetrieb. Vibrationen und Resonanzen beim Beschleunigen und Bremsen des Schrittmotors können durch Halbschrittansteuerung vorteilhaft reduziert werden. Nachteilig ist das geringere Haltemoment bei jedem Halbschritt, weil nur eine Wicklung erregt ist. Durch die unterschiedliche Erregung ist auch die Positioniergenauigkeit geringer als bei Vollschrittansteuerung.

Bei der Realisierung des *Viertelschrittbetriebes* nutzt man die Möglichkeit, zwischen den beiden Halbschrittlagen eine weitere Positionierung vorzunehmen, indem die eine Wicklung ganz und die andere halb bestromt wird. Dies ist deutlich im Zeigerdiagramm für Viertelschrittbetrieb

Ein Potentialwechsel am Phaseneingang von High nach Low wechselt die Stromrichtung in der Schrittmotorwicklung, d.h. T_2 und T_3 werden leitend und T_1 und T_4 werden gesperrt. Je zwei integrierte, schnelle Freilaufdioden gegen Masse und der Speisespannung schützen die IC vor den Rückschlagspannungen einer induktiven Last. Beim Umschalten der Polarität verhindert eine Phasentotzeit von typisch 300 ns unzulässige Querströme in den Endstufentransistoren.

Mit einer Spannung $\leq 0,8$ V am Freigabe-Eingang (Pin 3) können die Ausgänge Q1 und Q2 gesperrt werden. Die Stromaufnahme reduziert sich dabei auf typisch 500 μ A. Die Freigabe der Senkentransistoren erfolgt mit einer Spannung ≥ 2 V am Freigabe-Eingang.

Bei einer Erhöhung der Chiptemperatur auf unzulässig hohe Werte spricht die integrierte Temperatursicherung an und die Endstufen werden abgeschaltet.

Die logische Zuordnung zwischen Pegel an den Logikeingängen und Zustand der Brückentransistoren ist in Tabelle I wiedergegeben.

4.2 Sollstromeingang

Der Spitzenstrom in der Motorwicklung wird durch die Spannung am Sollstromeingang (Pin 8) festgelegt. Ein Komparator vergleicht diese Spannung mit dem Spannungsabfall am Stromfühler-Widerstand R_4 (Pin 4). Bei Überschreiten des Sollstromes werden die unteren Brückentransistoren der Endstufen durch eine Logik abgeschaltet. Der Stromfühlerwiderstand R_4 sollte nicht zu niederohmig gewählt werden, da sonst der Widerstand des Bonddrahtes von etwa 50 m Ω zu einem zusätzlichen Spannungsabfall führt. Dieser Offset ist proportional dem Motorstrom. Der Regelbereich der Spannung am Sollstromeingang beträgt 0–2 V. Ein ungeschalteter Sollstromeingang kann den IC zerstören, da keine Strombegrenzung erfolgt.

4.3 Chopperbetrieb

Das Ein- und Ausschalten der unteren Choppertransistoren der Vollbrücke erfolgt definiert mit dem am Synchron Eingang/RC (Pin 7) liegenden Signal. Möglich ist eine Synchronisation durch ein eingespeistes TTL-Signal, um akustische Störungen durch mehrere IC mit ungleicher Chopperfrequenz zu vermeiden, oder ein freilaufendes Schalten mit der externen RC-Kombination.

Beim freilaufenden Schaltbetrieb lädt sich der Kondensator C_7 am Anschluss 7 nach Anlegen der Versorgungsspannung bis zu einer Grenzspannung von typisch 2,4 V auf. Durch den ansteigenden Strom in der Motorwicklung steigt die Spannung am Stromfühlerwiderstand R_4 . Nach Überschreiten des am Sollstromeingang (Anschluss 8) vorgegebenen Wertes setzt der Komparator ein Rückstell-Flipflop (RS-Flipflop) zurück. Dadurch sperren über die Logik die Senkentransistoren T_3 und T_4 . Die Aufladung von C_7 wird beendet. Der parallel liegende Widerstand R_7 entlädt dann C_7 . Bis zum Erreichen der unteren Schaltschwelle des Schmitt-Triggers bleiben die Senkentransistoren gesperrt. Diese Sperrzeit wird somit durch die Zeitkonstante $t_s = R_7 \cdot C_7$ festgelegt. Sie ist in Figur 7 für verschiedene

verschiedene RC-Glieder abzulesen. Nach dem Unterschreiten der unteren Triggerschwelle wird mit der fallenden Flanke des Schmitt-Trigger-Ausganges das Monoflop getriggert. Damit wird das RS-Flipflop wieder gesetzt, falls die Spannung am Stromfühlerwiderstand (Anschluss 4) unter dem Sollwert von Anschluss 8 liegt. Die Logik schaltet dann den Senkentransistor T_3 bzw. T_4 leitend und lädt den Kondensator C_7 wieder. Steigt die Spannung am Anschluss 4 über den Komparatorwert von Anschluss 8, wird der Senkentransistor T_3 bzw. T_4 erneut abgeschaltet. Das nächste Einschalten kann dann frühestens nach dem Entladen von C_7 auf die untere Triggerschwelle erfolgen.

Wird am Anschluss 7 ein Synchronsignal mit TTL-Pegel zugeführt (Synchronbetrieb), setzt die negative Flanke über die Kombination Schmitt-Trigger/Monoflop das RS-Flipflop, falls die Spannung am Anschluss 4 kleiner als der Sollwert am Anschluss 8 ist. Wie beim freilaufenden Schaltbetrieb, werden die entsprechenden Endtransistoren leitend. Das Sperren erfolgt ebenfalls durch Rücksetzen des RS-Flipflops, wenn die Spannung am Anschluss 4 grösser als der Sollwert am Anschluss 8 ist.

4.4 Impulsausblendung

Die Impulsausblendung unterdrückt in allen Fällen positive Impulse von typisch 0,5 μ s Dauer am Anschluss 4. Diese können sich als Folge der Querströme bei Chopperbetrieb durch die integrierten Freilaufdioden ergeben. Dabei steigt die Spannung am Anschluss 4 weit über den Sollwert und würde ohne Impulsausblendung zur dynamischen Strombegrenzung führen. Die Zeit für diese im Prinzip unvermeidlichen Querströme liegt in der Grössenordnung der Sperrverzugszeit der Freilaufdioden.

Logische Zuordnungstabelle

Tabelle I

Freigabe		L	L	H	H
Phase		L	H	L	H
Ausgang	Q ₁	/	/	L	H
Ausgang	Q ₂	/	/	H	L
Transistor	T ₁	×	×	×	·
Transistor	T ₂	×	×	·	×
Transistor	T ₃	×	×	·	×
Transistor	T ₄	×	×	×	·

- L niedriger Spannungspegel, Eingang offen
- H hoher Spannungspegel
- × Transistor gesperrt
- Transistor leitend
- Transistor leitend, bei Strombegrenzung geschaltet
- / Ausgang hochohmig

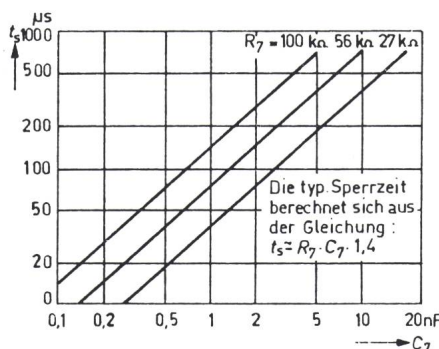


Fig. 7 Sperrzeit als Funktion von C_7 mit R_7 als Parameter

5. Anwendungsschaltung

In Figur 8a ist eine komplette Ansteuerung für einen Zweiphasenschrittmotor realisiert.

Die Versorgungsspannung am Anschluss 5 beträgt 24 V. Der Fühlerwiderstand zur Strommessung am Anschluss 4 ist 1 Ω . Je eine Wicklung des Schrittmotors liegt zwischen den Ausgängen 1 und 9. Die Oszillatorbeschaltung ist so gewählt, dass die Chopperfrequenz ausserhalb des Hörbereiches liegt.

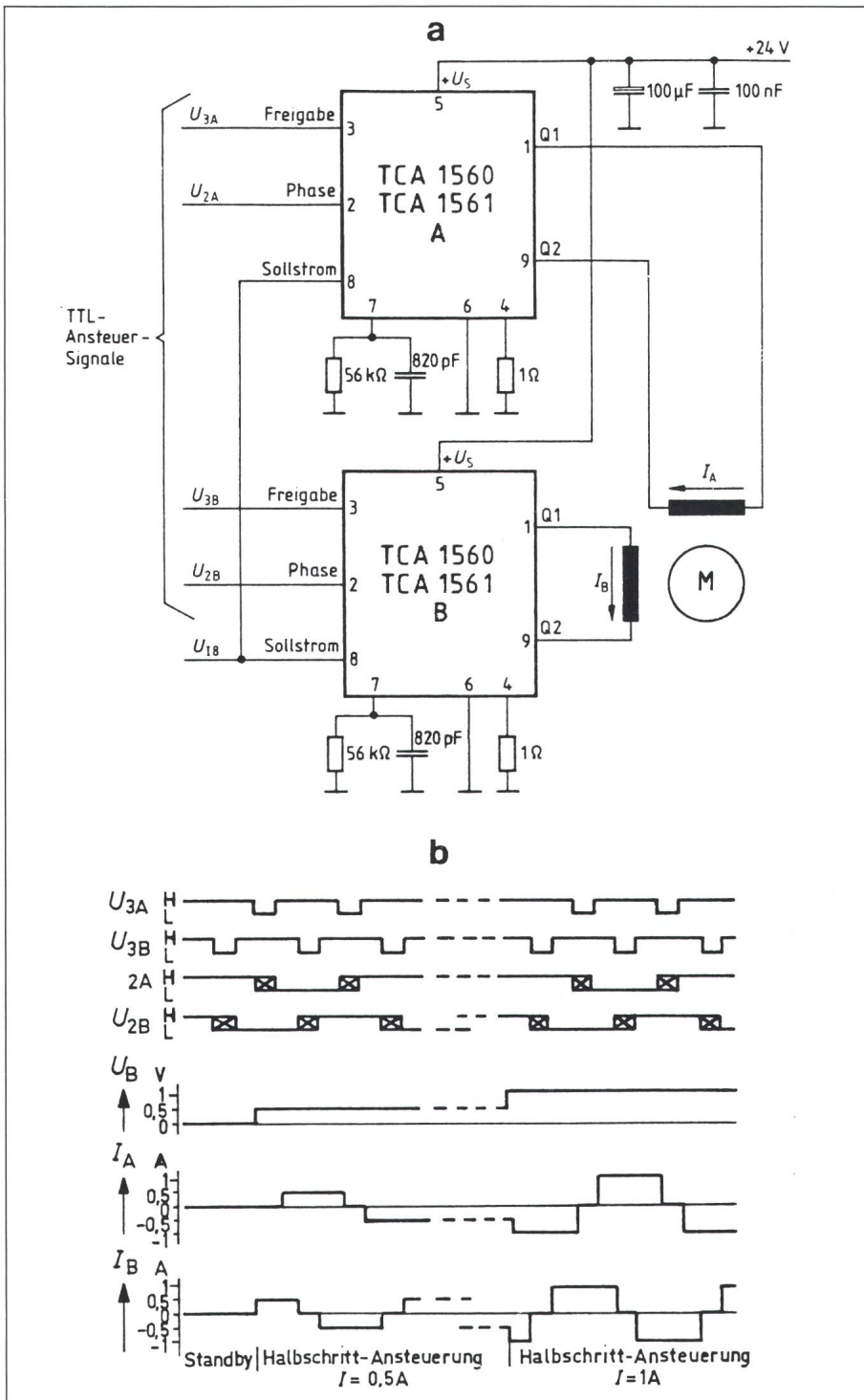


Fig. 8 Anwendungsschaltung (a) und Impulsdiagramm (b) dazu

Zur Steuerung des Vollschrittbetriebes genügen die beiden Phaseingänge an Anschluss 2, die mit 90° verschobenen Rechtecksignalen angesteuert werden. Die Freigabe-Eingänge bleiben auf High-Potential. Mit der Gleichspannung am Anschluss 8 wird der Sollstrom der jeweiligen Motorwicklung bestimmt.

Zur Realisierung des Halbschrittbetriebes werden die Freigabe-Eingänge

zu definierten Zeiten auf Low-Potential geschaltet. Bleiben sie auf Low-Potential, geht die Schaltung in den Bereitschaftszustand über.

Auch Minischrittbetrieb ist möglich, wenn den Sollstromeingängen die entsprechenden Spannungen zugeführt werden.

In Figur 8b ist ein Impulsdiagramm für die Anwendungsschaltung dargestellt.

In der Schaltung aus Figur 9 wurde die Anwendungsschaltung um einen Mikroprozessor ergänzt und ergibt so eine komplette Schrittmotorsteuerung. Da die Schaltung auch für Halbschritt- und Viertelschrittbetrieb ausgelegt ist, sind zusätzlich zwei Transistoren T_1 , T_2 erforderlich, um den Spannungsspiegel am Sollstromeingang zu halbieren. Dies geschieht durch High-Potential am entsprechenden Ausgangsort des Mikroprozessors. Ausserdem wird die Chopperfrequenz, direkt vom Mikroprozessor, beiden Synchroneingängen zugeführt.

Die Ansteuersignale für die IC für Vollschritt-, Halbschritt- und Viertelschrittbetrieb können aus den Bestromungsdiagrammen dieser Betriebsarten (Fig. 3, 4, 5) abgeleitet werden. Figur 10 zeigt die Signale, die vom Mikrocomputer generiert werden müssen, um den Schrittmotor in Vollschrittbetrieb betreiben zu können. Beim 1. Schritt muss Wicklung A positiv, Wicklung B negativ bestromt werden. Das bedeutet, der Phaseingang von IC A benötigt High-Potential der Phaseingang von IC B benötigt Low-Potential. Während des 2. Schrittes müssen beide Wicklungen positiv bestromt werden, deshalb benötigen die Phaseingänge beider Bausteine A- und B-High-Potential usw. Die Inhibit-Anschlüsse (Pin 3) beider IC befinden sich auf High-Potential, um die Endstufen freizugeben. Die Sollstromeingänge haben den mit den Spannungsteilern R_v/R_1 eingestellten Spannungspegel, da die Transistoren T_1 und T_2 durch Low-Potential im Mikroprozessor-Port sperren.

Im Gegensatz zum Vollschrittbetrieb müssen bei Halbschrittbetrieb, um die Zwischenschritte ausführen zu können, Wicklung B beim 2. Schritt und Wicklung A beim 4. Schritt stromlos geschaltet werden. Dies ist über die Freigabeeingänge möglich. Während der Zwischenschritte ist jeweils einer der beiden Freigabeeingänge auf Low-Potential. Die Sollstromeingänge beider IC werden vom Mikroprozessorausgang nicht beeinflusst. Es kann der mit R_v/R_1 eingestellte maximale Motorstrom fließen.

Der Viertelschrittbetrieb ist durch zusätzliche Zwischenschritte mit halbiertem Wicklungsstrom gekennzeichnet (Fig. 11). Zu den entsprechenden Zeitpunkten wird der Transistor T_1 oder T_2 vom Mikroprozessor angesteuert. Der Widerstand R_2 parallel zu R_1 reduziert dadurch die Spannung am Sollstromeingang, so dass bei entspre-

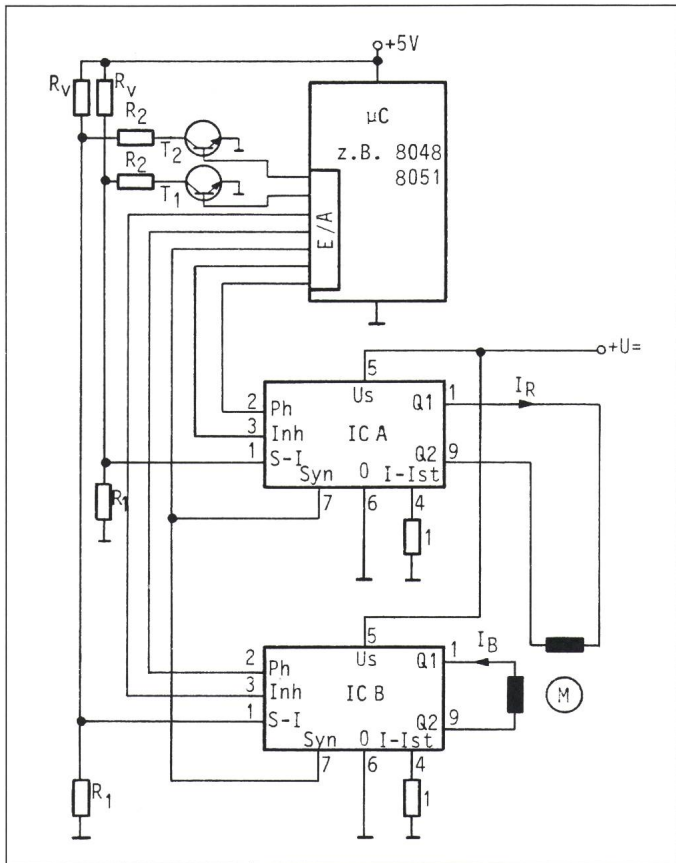


Fig. 9
Mikroprozessor-
gesteuerter
Zweiphasenschrittmotor

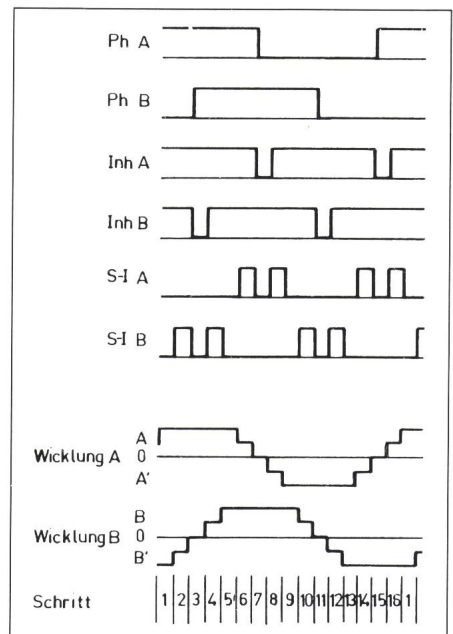


Fig. 11 Signale am Ausgangsort des Mikrocomputers für Viertelschrittbetrieb

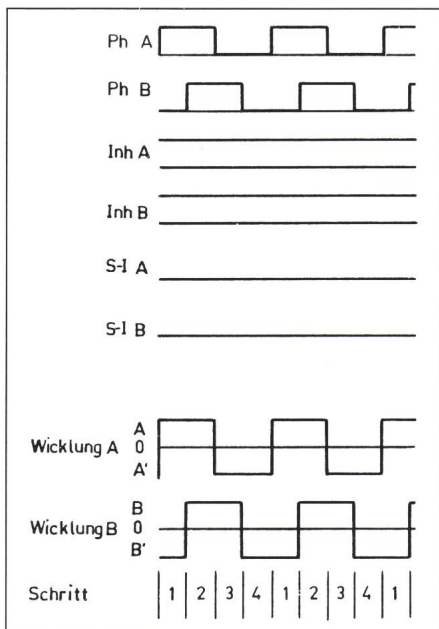


Fig. 10 Signale am Ausgangsort des Mikrocomputers für Vollschrittbetrieb

chender Dimensionierung der Widerstände R_1 , R_2 und R_V der Strom in der Schrittmotorwicklung halbiert wird.

6. Ausblick

Im vorliegenden Artikel wurde der IC ausschliesslich als Schrittmortreiber für Zweiphasenschrittmotoren eingesetzt. Es lassen sich aber ebensogut 3- bis 5-Phasen-Schrittmotoren ansteuern.

Bei der Betriebsart könnte man an eine Sinussteuerung denken, die einen resonanzfreien Lauf des Schrittmotors ermöglicht. Um den Phasenstromverlauf sinusförmig zu gestalten, müssten den Sollstromeingängen Sinushalbwellen aufmoduliert werden.

Neben der Ansteuerung von Schrittmotoren kann der IC jedoch auch vorteilhaft als Hammer- oder Nadeltreiber in Druckern sowie allgemein zur

Steuerung und Überwachung von getakteten Strömen in Spulen (z. B. Ventilen) eingesetzt werden. Ein weiterer Einsatz ergibt sich bei der Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren, durch Takten der dem Motor zugeführten Spannung. Auch das Umpolen der Wicklung bei kollektorlosen Gleichstrommotoren ist mit dem IC denkbar, wobei dann zusätzlich durch den Sollstromeingang eine Drehzeleinstellung erfolgen könnte, um z. B. eine temperaturgesteuerte Drehzeleinstellung zu realisieren.

Damit ist neben der Schrittmotorsteuerung noch ein weites Anwendungsfeld für den Einsatz derartiger IC gegeben.

Literatur

M. Jufer: Evolution récente et limites de la conception des moteurs pas-à-pas. Bull. ASE/UCS 76(1985)9, p. 493...497.

C. Carbon: La commande électronique des moteurs pas-à-pas. Bull. ASE/UCS 73(1982)11, p. 522...526.