

## Prinzipien der Schrittmotor Ansteuerung

Die wohl einfachste Art der Schrittmotoransteuerung ist wie in Bild 1 zu sehen der Unipolarbetrieb

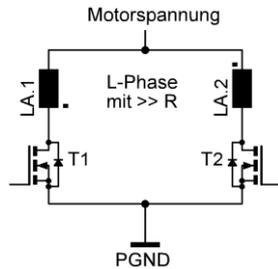


Bild 1

eines Schrittmotors mit hochohmigen Wicklungen. Der Phasenstrom wird nur über die Beziehung  $I = U/R$  begrenzt. Die Wicklungen werden einfach mittels Transistoren an die Spannung gelegt. Ein aufwendiger Stromregler ist nicht notwendig. Anwendungen sind einfache Applikationen im niedrigen Drehzahlbereich bei denen der Preis eine übergeordnete Rolle spielt.

Die Dynamik kann erhöht werden, indem man das Leistungsteil wie in Bild 2 geregelt ausführt. Der

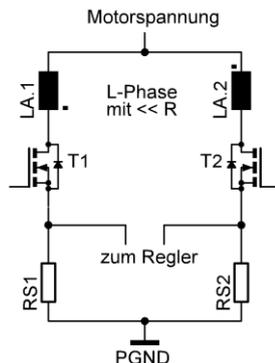


Bild 2

Stromanstieg folgt hier im Wesentlichen der Funktion  $di/dt = f(U/L)$ . Wie man erkennen kann werden nur dann Vorteile erzielt wenn man niederinduktive Schrittmotoren bei höherer Spannung betreibt. Dabei kann man den Phasenstrom entweder in der Versorgungsleitung (Mittelanzapf der Wicklungen) messen oder im jeweiligen Fußpunkt eines Schalttransistors. Das Prinzip der Stromregelung ist sehr einfach. Die entsprechende Wicklung wird an Spannung gelegt bis sich der vorgegebene Phasenstrom über die Beziehung  $i_p = I + U/L \cdot t$  einstellt. ( $I =$  Restrom in der Wicklung zum Einschaltzeitpunkt) Bei diesem Spitzenstrom wird dann abgeschaltet und der Phasenstrom degeneriert über den Freilaufkreis. Dieser Reglertyp ist bei Schrittmotortreibern sehr verbreitet und wird als Spitzenstromregler bezeichnet. Hinter diesem Prinzip verstecken sich jedoch auch ein paar Nachteile.



Einige monolithische Leistungs-IC's haben eine konstante Ausschaltzeit. Da aber die Einschaltzeit für den Stromaufbau über die Beziehung  $U/L$  variiert, resultiert daraus aber auch eine Frequenzvariation in der Ansteuerung so dass fast immer mit akustischen Interferenzen zu rechnen ist. Auch kann der Motorstrom wegen vorhandener Schaltzeiten nicht beliebig fein quantisiert werden, demzufolge ist Mikroschrittbetrieb höherer Auflösung und entsprechender Schrittconstanz bei den Spitzenwertstromreglern prinzipiell nicht möglich, auch wenn in den Datenblätter hier und da verschiedenes zu lesen steht. Nebenbei sei noch erwähnt, dass bei der unipolaren Ansteuerung die Transistoren eine mindest Spannungsfestigkeit der doppelten Versorgungsspannung haben müssen. Nach all den Nachteilen gibt es aber auch neben dem günstigen Preis und einfacher Technik mindestens noch den Vorteil, dass die Wicklung zum Stromaufbau unmittelbar an die volle Versorgungsspannung angeschlossen wird bis der Spitzenstrom erreicht ist. Daraus ergibt sich ein schnellstmöglicher Stromaufbau in der Wicklung und demzufolge gute dynamische Eigenschaften im Antriebsverhalten des Schrittmotors.

Bei der einfachen bipolaren Ansteuerung des Schrittmotors wie in Bild 3 verwendet man eine

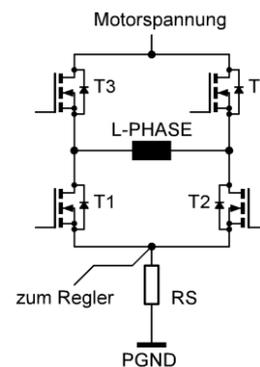


Bild 3

Voll-Brücke (oft auch H-Brücke genannt). Der Phasenstrom wird im Fußpunkt der beiden unteren Transistoren durch einen Sense-Widerstand gemessen. In der Regel wird die Strommessung nur während der Einschaltphase vorgenommen da sich hierbei der Motorstrom direkt am Sense-Widerstand abbildet. Bei Erreichen des vorgegebenen Spitzenstromes schaltet dann wieder der Spitzenstromregler einfach ab. Der Phasenstrom degeneriert dann wieder über den Freilaufkreis

Bei der bipolaren Vollbrückensteuerung ist es üblich den Stromregler mit einer konstanten Frequenz zu takten. Die akustischen Interferenzen sind dann zwar weitestgehend vermieden worden jedoch bleibt das Problem der systembedingten Schaltzeiten bestehen. Die Beziehung für den Phasenstrom  $i_p = I + U/L \cdot t$  zeigt, dass der nach der Freilaufphase vorhandene Reststrom  $I$  den Phasenstrom  $i_p$  nicht beliebig klein werden lässt. Dies wird dann umso mehr bedeutsam je kleiner die Phasenströme geregelt werden sollen. Wird mit jeder Taktperiode die Motorphase zwangsangesteuert, beginnt der Strom mit  $U/L \cdot t$  zu steigen. Die Einschaltdauer  $t$  hat aber wegen der oben angesprochenen Schaltzeiten eine Mindestdauer. So ist es also ohne Weiteres nicht möglich Motorströme um den Nullpunkt souverän zu handeln wie es für sauberen Mikroschrittbetrieb unabdingbar ist. Um diese Problematik zu mindern haben einige Hersteller monolithischer Treiberbausteine versucht in den Freilaufkreis entsprechend einzuwirken in dem z.B. bei einem zunehmenden Phasenstrom der Freilaufkreis kurz geschlossen wird und so der Phasenstrom kaum abnimmt oder bei abnehmenden Phasenstrom oder Umpolung zum schnellen Stromabbau (fast current decay) alle Transistoren voll abgeschaltet werden. Alle derartigen Eingriffe sind Lösungsansätze, helfen aber nicht über einen weiten Betriebsbereich einen sauberen Mikroschritt mit hoher Schrittconstanz, Dynamik und geringe Verlustleistung in der Endstufe zu gewährleisten.

### Neue Generation von Schrittmotor Treibern:

Zum Einsatz kommt ein digitaler Signalprozessor (DSP) und ein Endstufenkonzept wie in Bild 4 zu sehen ist.

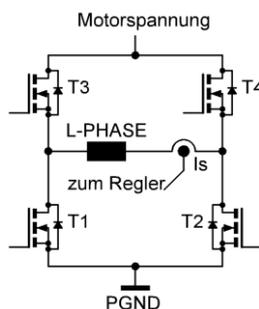


Bild 4

Der prinzipielle Aufbau der Schrittmotorendstufe entspricht ebenfalls der bipolaren Ansteuerung, jedoch wird der Strom direkt in der Motorleitung erfasst. Der verlustbehaftete Sensewiderstand im Fußpunkt entfällt. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Strommessvorgang vom Schaltzeitpunkt der Endstufe unabhängig erfolgen kann. Beide Halbbrücken werden simultan diagonal getaktet.

Wie in Bild 5 zu sehen werden die Transistoren so geschaltet, dass der Phasenstrom immer einen niederohmigen Pfad über einen angesteuerten Transistor findet. So gibt es den klassischen Freilaufkreis über die parasitären Dioden nicht mehr. Daraus resultierend konnte die Verlustleistung der Endstufe drastisch reduziert werden. Um die hohen

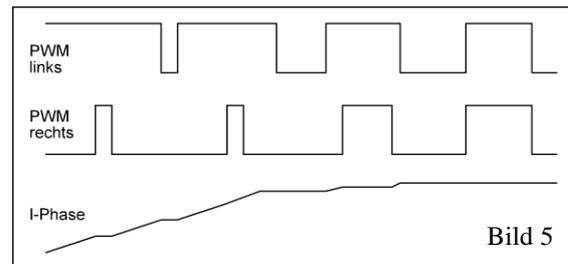


Bild 5

Anforderungen an den Mikroschrittbetrieb wie hohe Schrittzahl pro Umdrehung bei gleichzeitig guter Schrittconstanz zu gewährleisten ist es unabdingbar den Phasenstrom direkt in der Motorleitung mit entsprechender Genauigkeit zu messen. Um externe Einflüsse wie Gegen-EMK, Wicklungskopplung usw. zu minimieren wird der Phasenstrom kontinuierlich erfasst so dass der echte 4-Quadranten Stromregler darauf sofort reagieren kann. Die Laufeigenschaften werden dadurch deutlich verbessert. Bild 6 zeigt die Phasenströme für

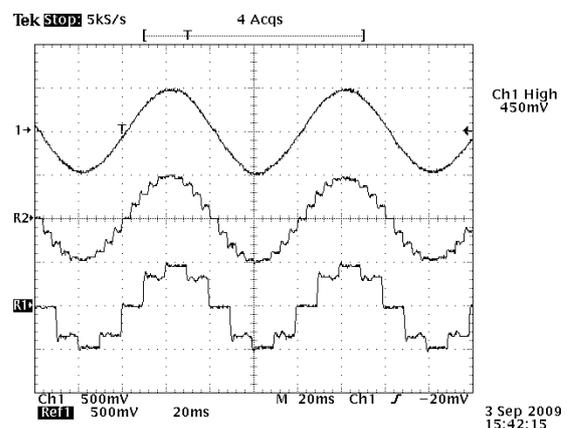


Bild 6

Erregungen 10000, 1000 und 400 Schritten pro Umdrehung unter Verwendung eines 2-Phasen Schrittmotors mit 1,2mH Induktivität und Motorspannung von 70V. Daraus resultiert eine Stromanstiegskonstante  $U/L$  von  $70V$  pro  $1,2mH = 47 \cdot 10^3$  A/s oder  $47A/ms$ . Dies sind extrem hohe Werte.

Die besondere Anforderung an den DSP bei Schrittmotoransteuerungen ist also die Notwendigkeit eines sehr schnellen Stromreglers. Denn der Stromanstieg in einer Schrittmotorwicklung muss wegen seiner hohen Polpaarzahl und somit hohen Umpolfrequenz sehr schnell sein. Hochdynamische Antriebe werden also erst dann möglich, wenn der Regler den Stromanstiegsfaktor  $U/L$  souverän beherrscht. Oder anders ausgedrückt, der schnelle Stromregler zeichnet sich dadurch aus, dass hochdynamische Motoren (haben sehr niedrige Wicklungsinduktivität) bei relativ hoher Motorspannung betrieben werden können.

Das stellt natürlich besondere Anforderungen an die Soft- und Hardware. Niederinduktive Motoren benötigen höhere Phasenströme um entsprechende Drehmomente erzeugen zu können. Entsprechend muss das Leistungsteil dafür ausgelegt sein. Die Software darf sich mit Ballast wie Signalaufbereitung usw. nicht verzetteln. Das muss häppchengerecht von der Hardware geliefert werden. Der Stromregler selbst ist voll digital realisiert und verwendet einen sehr schnellen rekursiven DDC-Algorithmus. (DDC: Direct Digital Control)

Wie im Blockschaltbild zu sehen sind die wesent-

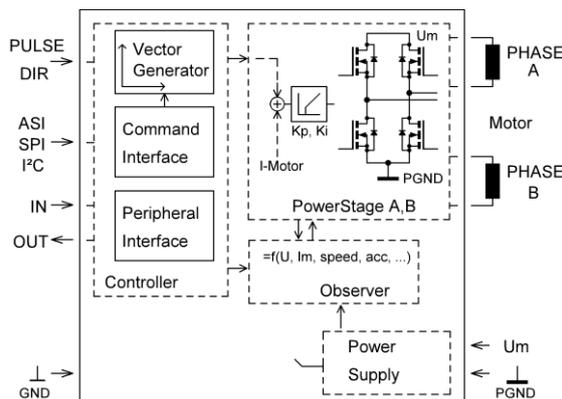


Bild 7

lichen Komponenten der Controller (Vector Generator + Com-mand Interface + Peripheral Interface), ein Beobachter (Observer) sowie die Endstufe mit dem Stromregler. Der Vektorgenerator gibt den Schrittwinkel vor. Dieser ist als Tabelle angelegt mit entsprechender Stufung für den Mikroschrittbetrieb. Der Betrieb von 2-Phasen oder 3-Phasen Schrittmotoren oder evtl. kundenspezifische Sonderschrittauflösungen wird durch einfache Tabellenanpassungen möglich. Bei Standard Treibern wird der Vektorgenerator über die Signale Puls und

Richtung gespeist oder über das Command Interface mit integriertem Fahrprofilgenerator (Indexer) falls Punkt zu Punkt Bewegungen autonom ausgeführt werden sollen. Verschiedene Schnittstellen stehen dafür zur Verfügung. Besonders hervorzuheben ist die eingehende Migration bei Verwendung neuester Hardware und DSP, da doch einige Randfunktionen durch Software realisiert werden können.

Vergleich: Reglertyp	Spitzenstrom	kontinuierlich 4 Quadrant
Mikroschrittkonstanz	⊖	⊕
langsame Bewegungen	⊖	⊕
Laufruhe	⊖	⊕
Resonanzverhalten	⊖	⊕
Verlustleistung	⊖	⊕
EMK-Einfluss	⊖	⊕
Reglerdynamik	⊖	⊕
Stromrippel	⊖	⊕
Stromaufbau @U/L	⊕	⊖
Geräuschemission	⊖	⊕
Kosten	⊕	⊖