

## Schrittmotoren (Steppermotoren)

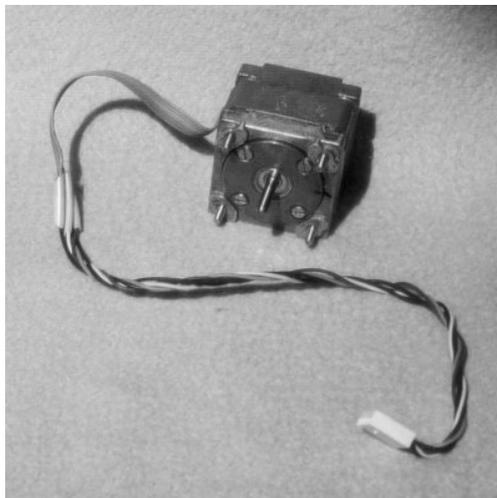
*Christian Fuchs 9/2000*

### Definition:

Schrittmotoren werden zur (winkel-)genauen mechanischen Positionierung eingesetzt. Pro Impuls erfolgt eine Drehung (je nach SM) um  $1,8^\circ$  (oder  $3,6^\circ = 100$  Impulse für 1 Umdrehung, bis hin zu  $15^\circ$  pro Impuls). Durch vorgeschaltete Getriebe kann die Auflösung mechanisch erhöht/reduziert werden, durch Einsatz von z.B. (Zahn-)Riemern oder Zahnstangen die Drehbewegung in eine lineare Bewegung umgewandelt werden.

### Anwendungsgebiete:

Positionierung d. Druckkopfs in Tintenstrahl- und Nadeldrucker  
 Drehung der Papierwalze in Drucker und elektronischen Schreibmaschinen  
 X / Y-Achsensteuerung in Plottern  
 Kopfpositionierung in Diskettenlaufwerken  
 SAT-Spiegelpositionierung bei Dreh-/schwenkbaren Siegeln  
 Bewegung von Roboterarmen



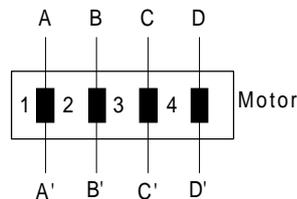
*Unipolarer Schrittmotor 'Robotron', 12V*

### Formen:

#### 1) Unipolare Schrittmotore

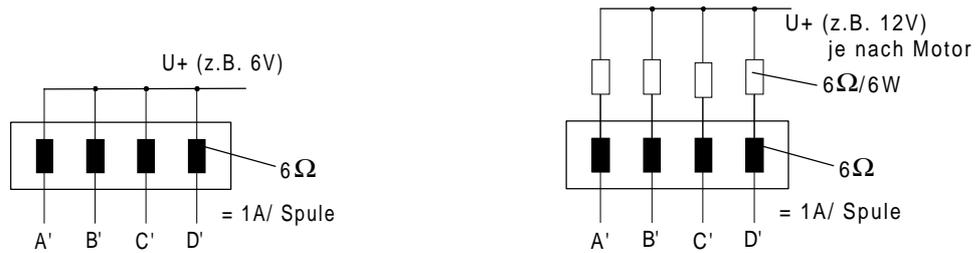
sind dadurch gekennzeichnet, daß der Strom immer in der gleichen Richtung durch die Motorspulen (Stränge, Wicklungen) fließt, d.h., jede Spule hat ein eindeutig 'positives' (A B C D) und ein eindeutig 'negatives' (A' B' C' D') Ende. Typischerweise werden dabei 4 Wicklungen pro Motor verwendet. Deren Enden können

a) **einzeln herausgeführt** sein.

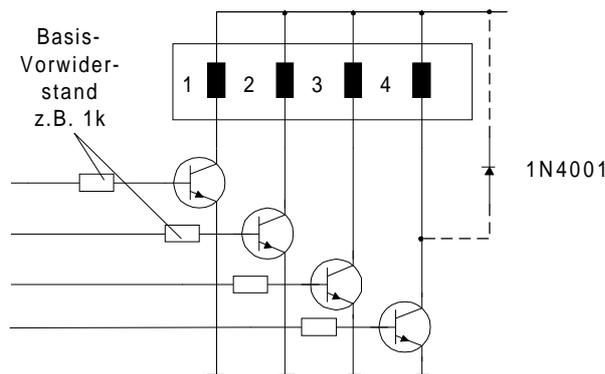


In diesem Fall hat der Motor 8 Anschlüsse, wobei bei unbekanntem Anschlußbild die beiden jeweils zu einer Wicklung gehörigen Anschlüsse mit einem Multimeter /Widerstandsmesser leicht herausmeßbar sind. Die Reihenfolge der Anschlüsse, und ob 'positiver' (A B C D) oder 'negativer' (A' B' C' und D') Anschluß muß allerdings 'experimentell' ermittelt werden

Im Betrieb werden die 'positiven' Enden mit der positiven Versorgungsspannung verbunden (wenn dadurch der Strom durch die Wicklung zu groß wird, ist pro Spule ein Vorwiderstand nötig),

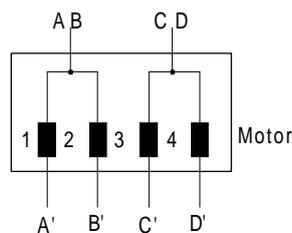


Am anderen (negativen) Ende (A' B' C' D') jeder Wicklung wird der Strom durch Schalter (typischerweise Transistoren) in einer bestimmten Reihenfolge ein- und ausgeschaltet, was (bei richtiger Reihenfolge) pro Umschaltung zu einem Drehschritt (z.B. 1,8°) in die eine (Uhrzeigersinn - clockwise) oder andere (gegen Uhrzeigersinn - counterclockwise) Richtung führt.

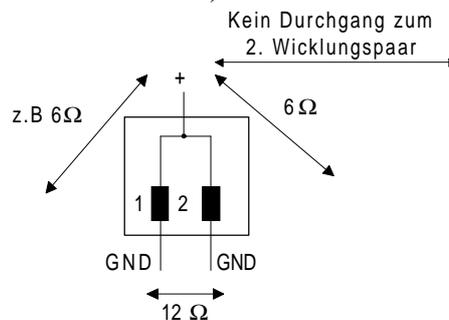


Nicht zu vergessen eine Freilaufdiode pro Transistor, die dazu dienen, daß der - beim Ausschalten des Spulenstroms durch das zusammenbrechende Magnetfeld entstehende - gegenläufige Strom den Transistor nicht zerstört.

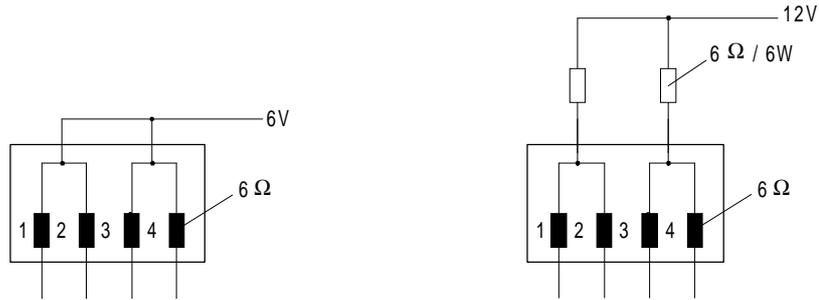
b) Häufig sind jedoch **2 Spulen** miteinander an ihrem 'positiven' Ende **verbunden**, da bei der richtigen Ansteuerung ohnedies immer nur eine der zusammengeschlossenen Wicklungen von Strom durchflossen wird.



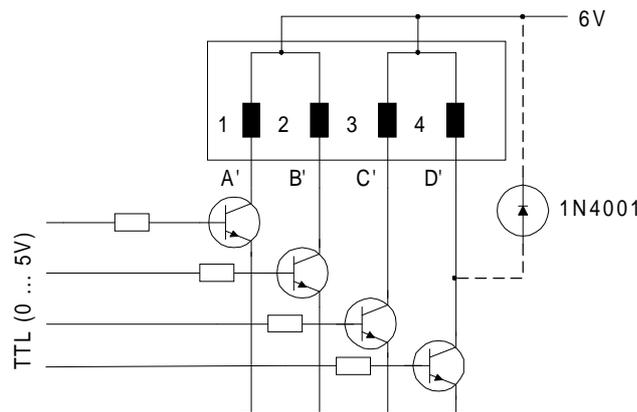
(auch hier lassen sich mit einem Multimeter / Ohmmeter die zusammengehörigen Spulen herausmessen - hier sogar das 'positive' und 'negative' Ende erkennen.)



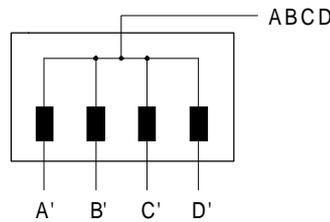
Wieder werden die positiven Enden mit der Versorgungsspannung verbunden (wobei hier zur eventuellen Reduktion des Spulenstroms nur mehr 2 Vorwiderstände nötig sind.)



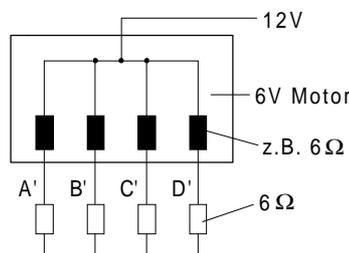
Und wieder werden die Wicklungen durch Transistoren (geschützt durch Freilaufdioden) ein- und ausgeschaltet, die ihrerseits über Basiswiderstände von Logikgattern (TTL / HCT kompatibel = 0 ... 5V) angesteuert werden.



c) Schließlich können als dritte Variante die 4 ‘positiven’ Anschlüsse (A B C D) bereits im Motor zu einem einzigen gemeinsamen **Anschluß zusammengefaßt** sein, so daß insgesamt 5 Anschlüsse nach außen geführt sind.

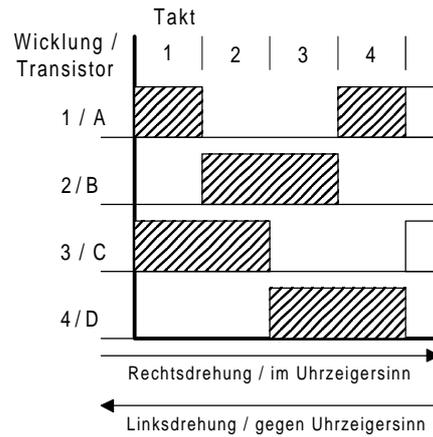


Da beim meist verwendeten Vollschrittmodus (siehe unten) immer 2 der 4 Spulen stromdurchflossen sind, müßte durch einen Vorwiderstand der doppelte (für 2 Wicklungen) Strom fließen, daher sind zur Strombegrenzung nachgeschaltete Widerstände günstiger.



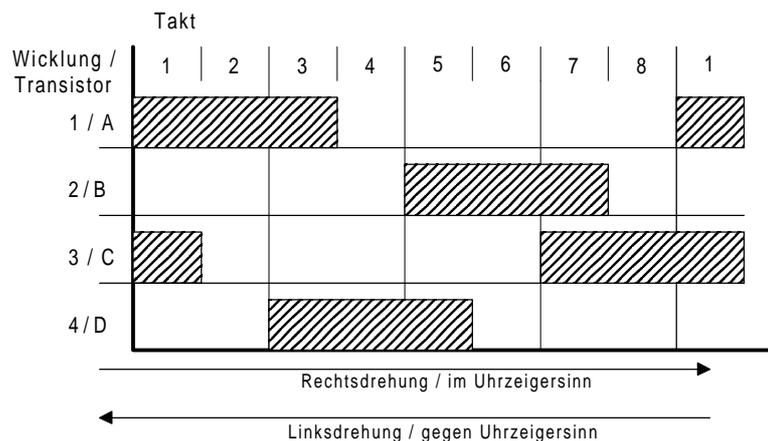
An diese Widerstände werden wiederum die Transistoren angeschlossen, die die Wicklungs-Widerstandskombinationen gegen Masse schalten können.

Die **Ansteuerung** erfolgt im einfachen, sogenannten ‘**Vollschrittbetrieb**’ durch 2 überlappende Logiksignale und ihren komplementären (invertierten) Signalen, da von den beiden verbundenen Spulen (bei der Variante b), wie erwähnt, immer nur eine stromdurchflossen ist. Nach 4 Schritten (Taktimpulsen) z.B.  $4 \times 1,8^\circ = 7,2^\circ$  Drehung beginnt das Ansteuermuster wieder von Neuem.



Dabei wird, wie erwähnt, durch die positive TTL-Spannung über den Basiswiderstand die Basis des jeweiligen Transistors angesteuert, d.h. er schaltet die Kollektor-Emitter-Strecke durch, wird also leitend und Strom kann durch ihn und die jeweilige Spule fließen.

Neben dem Vollschrittbetrieb ist noch ein '**Halbschrittbetrieb**' möglich, wodurch sich die Auflösung erhöht (z.B.  $0,9^\circ$  statt  $1,8^\circ$ ), da dabei jedoch teilweise nur eine der 4 Spulen eingeschaltet wird, ist die Kraft (Drehmoment) geringer als im Vollschrittbetrieb. Das Ansteuerungsmuster für den Halbschrittbetrieb sieht folgendermaßen aus:



Das heißt, erst nach 8 Schritten, also z.B.  $8 \times 0,9^\circ = 7,2^\circ$  ist ein Ansteuerzyklus beendet und beginnt für eine weitere Drehung von Neuem.

Für eine Drehung in die Gegenrichtung (rückwärts) ist das jeweilige Ansteuermuster in die andere Richtung (beim Vollschritt von 4 nach 1, beim Halbschritt von 8 nach 1) zu durchlaufen.

Zusätzlich zum Voll- und Halbschrittmodus gibt es noch einen '**Viertelschritt- (Microstep) -modus**', bei dem zusätzlich zum Ansteuermuster der Spulen noch unterschiedlich starke Ströme durch die Spulen notwendig sind, wodurch sich die Auflösung gegenüber dem Halbschritt nochmals verdoppelt, die Drehkraft und evtl. die Winkelgenauigkeit jedoch weiter abnimmt. Das ist jedoch bereits recht aufwändig zu bewerkstelligen, wenn man nicht eigens dafür entwickelte integrierte Schaltungen einsetzt.

Neben der einfachen Strombegrenzung durch Vorwiderstand (und natürlich Spulenwiderstand), kann der Spulenstrom auch elektronisch begrenzt werden, indem er - sobald ein voreingestelltes Maximum erreicht ist - ausgeschaltet wird, und nach einer ebenfalls einstellbaren kurzen Zeit (im ms-Bereich) wieder eingeschaltet wird. Der Spulenstrom wird also 'zerhackt' (Chopperbetrieb, Pulsbreitenmodulation). Auch das läßt sich mit entsprechenden IC's effektiv erreichen, und ist vor allem bei leistungsstarken Schrittmotoren sinnvoll.

Schließlich kann zur Vermeidung eines unruhigen Motorlaufs eine sinusförmige Ansteuerspannung der Wicklungen eingesetzt werden. Auch hierfür gibt es Spezial-IC's.

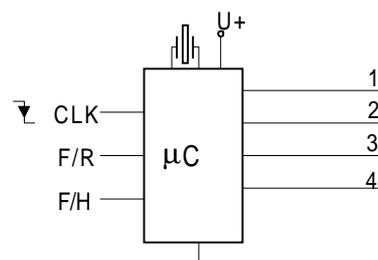
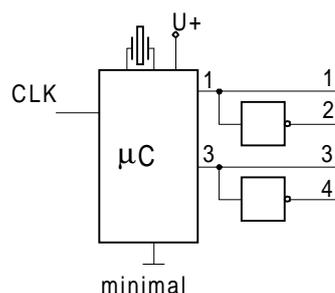
Bei der Ansteuerung ist also zwischen dem **Logikteil**, der das Impulsmuster für die Schrittmotor-Transistoren liefert, und dem **Leistungsteil**, also den Transistoren, die die Spulenströme ein- und ausschalten zu unterscheiden. Für beide Teile der Ansteuerung gibt es mehrere Lösungsmöglichkeiten:

- 1.) Für den **Logikteil** ist die 'durchschaubarste (billigste) Möglichkeit, den Aufbau der
- Schaltung mit Logikgattern** durchzuführen, die so verbunden werden, daß an den Eingängen der Takt (bei dem ein Schritt erfolgt) und die Richtung der Drehung mit Logikpegeln angelegt werden können, und die Ausgänge der Schaltung daraufhin die korrekte Impulsfolge zur Ansteuerung der Wicklungstransistoren liefern. Ein Beispiel dafür ist meine 'Steppermotorencontroller' - Schaltung für unipolare Motoren mit 6 Anschlüssen (zB aus 5 ¼ -Zoll-Floppylaufwerken) zum Betrieb im Vollschrittmodus (wobei hier der Leistungsteil auch bereits integriert ist).
  - die 2.Möglichkeit besteht in der **Verwendung spezieller Schrittmotoren-Ics**, die ebenfalls diese Impulsfolgen liefern, oft aber noch zusätzliche Möglichkeiten bieten (Umschaltbar auf Halbschritt- oder Microstepbetrieb, integrierter Leistungsteil, ...) und in unterschiedlichen Preislagen erhältlich sind. Typische Vertreter hierfür sind:

SAA1024	(veraltet)
SAA1027	(für unipolare Schrittmotoren mit 9,5 - 18V und 500mA mit integriertem Open-Kollektor-Leistungsteil; nicht mehr beim Hersteller (Philips) aufgelistet, bei Bauteilhändlern durchaus noch im Programm)
L297	(nur Logikteil für Voll- und Halbschrittmodus, zur Kombination mit Leistungsteil L298)

wobei ausführliche Informationen (auch zur Schrittmotorsteuerung allgemein) in den jeweiligen Datenblättern zu finden sind.

- die 3. Möglichkeit ist die Ansteuerung des Leistungsteils mit einem **Microcontroller** (zB. PICs, wie der PIC16F84, Atmels AVRs, 8051-Derivate oder 68HCxx, und so weiter ...) Hierbei wird in einer Schleife ein I/O- Pin als 'Takteingang' abgefragt (oder noch besser über einen Interrupt), evtl. auch ein Pin für Vor- und Rücklauf oder Halbschritt, und aus einer gespeicherten Tabelle das entsprechende Bitmuster an 4 I/O-Pins gelegt. In der Minimalvariante sind 3 (bzw. 4 für Links/Rechtslauf) Pins notwendig, nämlich ein Takteingangspin und 2 Ausgangspins für die Signale der Transistoren 1 und 3 zur Wicklungsansteuerung des Schrittmotors. Die Signale für die Transistoren (und somit Wicklungen) 2 und 4 erhält man, wenn man die Signale 1 und 3 jeweils invertiert (z.B. Mit 2 der 6 Gatter eines 74HCT04). Stehen genügend Ausgangspins zur Verfügung wird man natürlich die 4 Transistoren / Wicklungen durch 4 getrennte Pins ansteuern - womit auch ein Halbschrittbetrieb, bei dem die 4 Wicklungssignale unabhängig (also nicht 2 Signale die Inversion der anderen beiden Signale bilden) von einander sind, möglich wird.

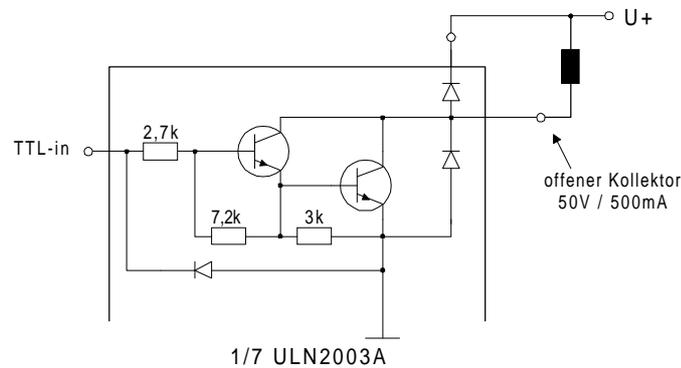


- 2.) Auch für den **Leistungsteil** gibt es mehrere Möglichkeiten:
- Wiederum die durchschaubarste Lösung ist es, die Leistungstreiber mit **diskreten Transistoren** aufzubauen. Je nach Spulenstrom (grob nach dem Ohmschen Gesetz: Spulenstrom (A) =

Spulenspannung (V) / Spulenwiderstand ( $\Omega$ ) sind dabei Kleinsignal-NPN-Transistoren, oder NPN-Leistungstransistoren zu verwenden, z.B.:

BC337	50V,	08A,	0,625W
BC141	100V,	1A,	0,75W
BD139	145V,	1,5A,	12,5W
BD239	115V,	2A,	30W
TIP3055	100V,	15A,	90W
2N3055	100V,	15A,	115W

- b) eine weitere Möglichkeit ist es, ein (Darlington-) **Transistorarray** mit integrierten Freilaufdioden wie das (von mir in der Steppercontrollerschaltung verwendete) ULN2003A, das mit TTL/CMOS-Spannungen ansteuerbar ist (da interne 2,7k Basiswiderstände vorliegen), zu verwenden, wobei auf die Einhaltung der Grenzwerte (max. Spannung, max. Verlustleistung) zu achten ist. Die Schrittmotorwicklung wird an ihrem 'positiven' Ende mit U+, am 'negativen' Ende mit dem Kollektor des OK-Ausgangs eines der 7 Darlingtontransistoren des ICs verbunden.



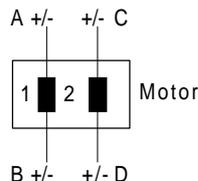
- c) Weiters gibt es eigene **Schrittmotortreiber-ICs**, wie das L298 (das vor allem zum L297 kompatibel ist, aber auch unabhängig davon eingesetzt werden kann.), zB:

L298 (ST)	(2H-Brücken, 46V, 4A)
L2619 (ST)	(2 Brücken für 2 bipol. Steppermotoren, 50V, 0,75A))
PBL3717A (ST)	(1H-Brücke, 46V, 1A)
BPL377 70/1 (Ericson)	(1H-Brücke 60V, 1,8A)
UDN2544B (Allegro)	(4-Transistoren für 1 unipolaren Steppermotor, 50V, 1,8A)
LMD18245 (National)	(1H-Brücke für bipolare Schrittmotoren, 55V, 3A)

- d) Schließlich enthalten Schrittmotor-Logik-ICs teilweise auch bereits einen **integrierten Leistungsteil** (z.B. SAA1027), mit dem sich kleinere Motoren direkt betreiben lassen.

## 2) Bipolare Schrittmotore

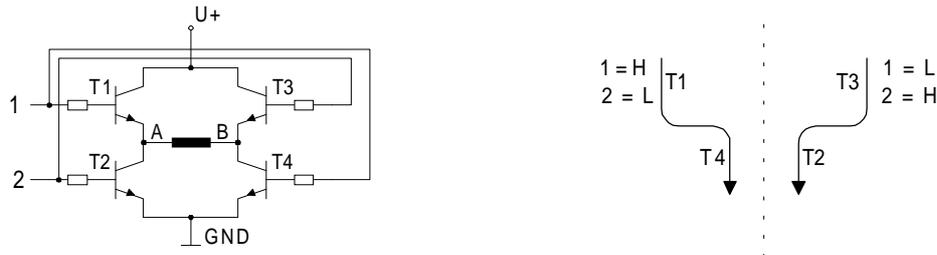
Sie enthalten (meist) 2 Wicklungen (Spulen) und sind dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Wicklungsenden jeweils abwechselnd einmal den 'positiven' und dann wieder den 'negativen' Anschluß darstellen, d.h. derselbe Wicklungsanschluß wird einmal mit U+ und einmal mit U- (GND) verbunden.



Die Umschaltung dazu erfolgt wieder - angesteuert durch ein bestimmtes Impulsmuster aus dem Logikteil - durch Transistoren, was dann die Drehung bewirkt.

Die zusammengehörigen Anschlüsse lassen sich bei unbekanntem Anschlußbild wieder mit dem Multimeter/Ohmmeter herausmessen.

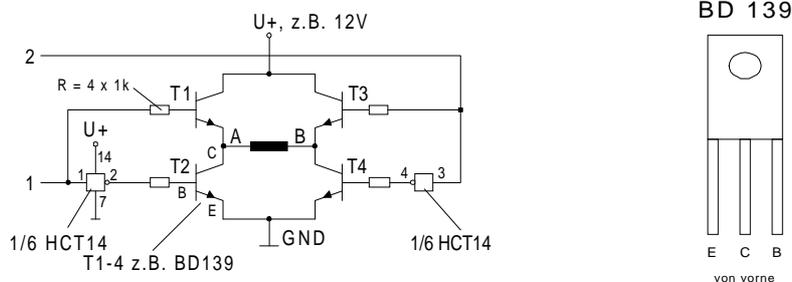
Da jeder Anschluß abwechselnd mit der positiven und negativen Spannung verbunden werden muß, erfolgt hier die Ansteuerung über eine sogenannte H-Brückenschaltung, die folgendermaßen aussieht,



wobei für jede der beiden Wicklungen eine solche Schaltung nötig ist. Hier ist nur die erste Brücke mit der angeschlossenen Wicklung A-B dargestellt. Um Strom in Richtung A nach B (positive Spannung an A, negative an B) durch die Spule fließen zu lassen, wird Anschluß 1 auf logisch H (z.B. 5V) und Anschluß 2 auf L (0V) gelegt. Dadurch werden Transistor 1 und 4 durchgeschaltet, und 3 und 2 gesperrt, d.h. Wicklungsende A über 1 mit U+ und Wicklungsende B über 4 mit GND (0V) verbunden. Der Strom fließt somit von A nach B durch die Motorwicklung.

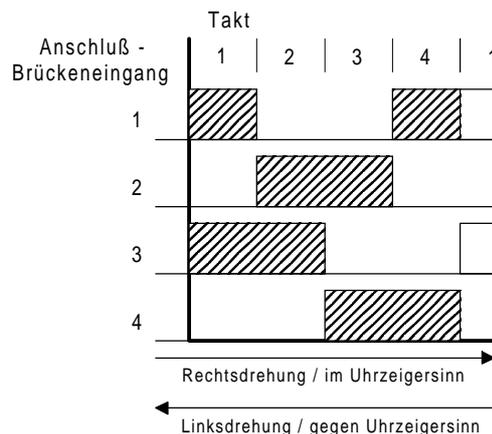
Wird dagegen 1 auf L und 2 auf H gelegt, werden die Transistoren 3 und 2 durchgesteuert, während die anderen beiden sperren. Nun ist also Anschluß B mit U+ und A mit GND verbunden, der Strom fließt in die umgekehrte Richtung von B nach A.

Wenn jedoch 1 und 2 auf H gelegt würden, würden alle Transistoren durchschalten und so ein Kurzschluß die Brücke zerstören, daher sieht die bessere Ausführung der H-Brücke so aus:



Für die 2. Motorwicklung C-D ist eine zweite Brücke (mit Ansteueranschlüssen 3 und 4 notwendig).

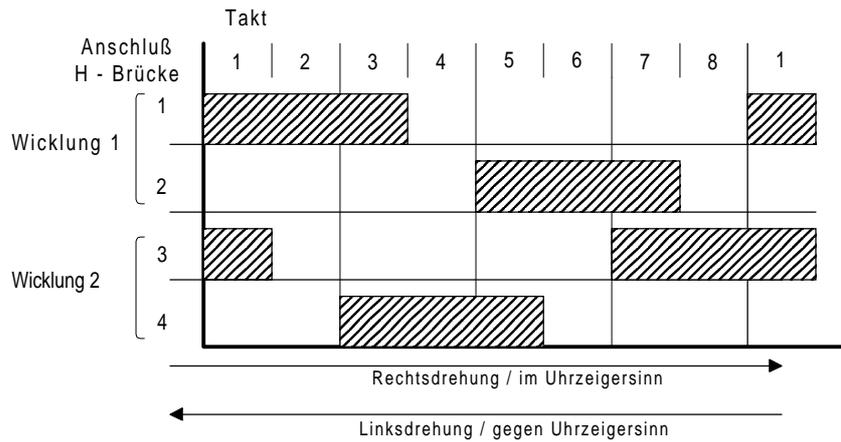
Auch hier gibt es wieder einen Voll- und Halbschrittbetrieb. Die Ansteuerimpulse im **Vollschrittbetrieb** sehen dabei folgendermaßen aus:



(Natürlich können H-Brücken auch zur Ansteuerung unipolarer Schrittmotoren verwendet werden, indem sie so beschaltet werden:)

Die Anschlüsse 1 und 2 bzw. 3 und 4 werden jeweils komplementär zu einander (1 ist invertiert 2, 3 ist invertiert 4) angesteuert, die Signale sind phasenverschoben. Es handelt sich bei genauer Betrachtung wieder um das völlig identische Ansteuermuster wie bei unipolaren Schrittmotoren, der Unterschied liegt erst in der Leistungsstufe, die hier eben nicht aus einfachen Transistoren sondern aus den Brückenschaltungen besteht.

Wie erwähnt gibt es auch hier wieder einen **Halbschrittmodus** (geringeres Drehmoment aber dafür höhere Auflösung), bei dem die Brückentransistoren jedoch einzeln ansteuerbar sein müssen, wobei folgendes Impulsmuster zur Anwendung kommt:

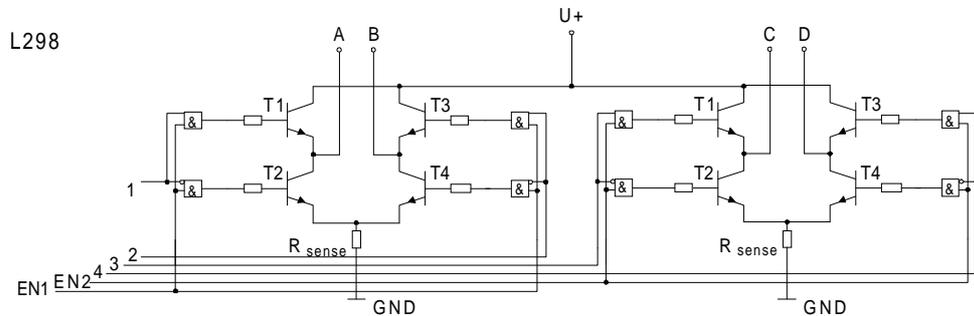


Auch ein **Microstepbetrieb** ist durch zusätzliche Beeinflussung der Spulenströme (entsprechende IC's vorausgesetzt) wieder möglich.

1) Zur **Logikansteuerung** lassen sich aufgrund der identischen Impulsmuster alle 3, bei den unipolaren Schrittmotoren erwähnten Möglichkeiten verwenden ('diskreter' Aufbau mit **Logik-ICs** [Zum Betrieb bipolarer Schrittmotoren ist daher 'meine Stepper-Controller-Schaltung Version B (= mit Logikausgängen ohne nachgeschaltete Treiber) und einer entsprechenden Treiberschaltung mit Transistoren oder dem L298 geeignet.], weiters spezielle **Schrittmotor-ICs** und schließlich **Microcontroller**).

2) Der **Leistungsteil** kann

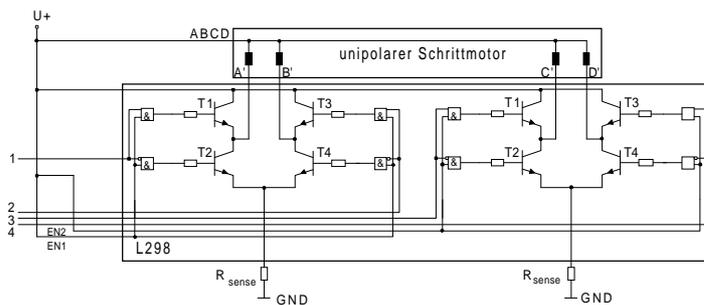
- a) ebenfalls wieder aus einzelnen, (billigen) **Transistoren** - eben in Form einer H-Brücke aufgebaut werden,
- b) oder mit **Spezial-Treiber-ICs** wie dem erwähnten L298, der bereits 2 integrierte Brückenschaltungen für einen Schrittmotor mit 2 Motorwicklungen enthält,



daneben gibt es aber auch noch andere:

- L298    |
- L 2619  | —→ 2 H.Brücken
- BPL 377  |
- LM18245  | —→ 1 H-Brücke

(Verwendet man nur die 'unteren' Transistoren einer H-Brücke, läßt sich mit ICs wie dem L298 auch ein unipolarer Schrittmotor betreiben:



c) Schrittmotoransteuer-**ICs mit integrierten Treibern** sind hier weniger üblich.

Christian Fuchs, Au/Graz 9/2000