



**Schrittmotor
kurz erklärt**

DELTRON AG
delconec®

Industrie Neuhof 8c
3422 Kirchberg
Switzerland
Tel. +41 (0)34 448 12 12
Fax +41 (0)34 448 12 13
www.deltron.ch
www.delconec.com
info@deltron.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Was ist ein Schrittmotor	3
2	Anwendungen von Schrittmotoren	3
3	Schrittmotor-Typen.....	3
3.1	Reluktanz-Schrittmotor	3
3.2	Permanentmagnet-Schrittmotor.....	4
3.3	Hybrid-Schrittmotor	4
3.4	Weitere Bauformen	4
4	Schrittauflösung.....	4
5	Ansteuertechnik.....	5
5.1	Anschluss der Phasen (Spulen).....	5
5.1.1	Unipolar.....	5
5.1.2	Bipolar.....	5
5.1.3	Anschlussdiagramme	6
5.2	Ansteuerung.....	6
5.2.1	Normal-Betrieb.....	6
5.2.2	Wavedrive-Betrieb	6
5.2.3	Halbschritt-Betrieb	7
5.3	Positionen	7
5.4	Micro-Schritt-Betrieb	8
5.4.1	Schrittsequenzen	8
5.5	Elektrische Ansteuerung	8
6	Kenngrossen eines Schrittmotors	9
7	Zubehör	10
8	Auswahl des passenden Schrittmotors.....	11

1 WAS IST EIN SCHRITTMOTOR



Ein Schrittmotor besteht aus einem feststehenden Stator und einem darin drehenden Rotor. Das Drehmoment, welches den Rotor antreibt, entsteht durch unterschiedlich ausgerichtete Magnetfelder im Stator und Rotor. Der Rotor dreht sich immer so, dass sich der grösstmögliche magnetische Fluss ausbildet. Im Gegensatz zu andern Motoren befinden sich beim Schrittmotor nur im Stator Spulen. Die Drehbewegung entsteht also durch gezieltes Ein- und Ausschalten einzelner Wicklungen. So lässt sich auf einfachste Weise Drehsinn und Drehzahl des Motors steuern. Um die Position des Rotors zu bestimmen, genügt es, ausgehend von einer Ausgangslage die Schritte im bzw. gegen den Uhrzeigersinn zu zählen und mit dem Schrittwinkel zu multiplizieren.

2 ANWENDUNGEN VON SCHRITTMOTOREN

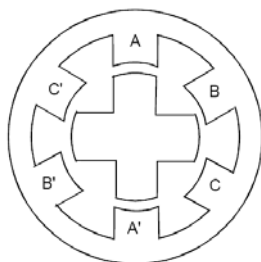
Schrittmotoren finden Anwendung in der Automation. Sie werden häufig in Robotern eingesetzt. Für folgende Aufgaben werden die Schrittmotoren häufig eingesetzt:

- Allgemeine Positionier-Aufgaben
- Gesteuerte Positionierungen (ohne Messung)

Die Schrittmotoren bieten folgende Vorteile:

- Genaue Positionierung, keine kumulierte Fehler
- Haltemoment in Ruhelage
- Günstige Antriebslösung mit hoher Genauigkeit
- Einfacher Aufbau des Treibers

3 SCHRITTMOTOR-TYPEN



3.1 Reluktanz-Schrittmotor

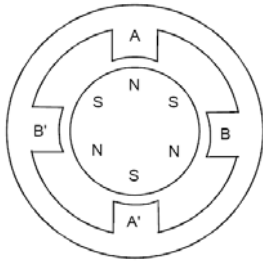
Beim Reluktanz-Schrittmotor besteht der Rotor aus einem gezahnten Weicheisenkern. Der Reluktanz-Motor erfreute sich wegen seines günstigen Preises lange grosser Beliebtheit. Nachteilig ist hingegen das vergleichsweise geringe Drehmoment. Da der Weicheisenkern selbst keine magnetischen Pole ausbildet, hat der Reluktanz-Motor kein Rastmoment.

Vorteil:

- Grosse Geschwindigkeit
- Genauer Schrittwinkel
-

Nachteil:

- Kleines Drehmoment



3.2 Permanentmagnet-Schrittmotor

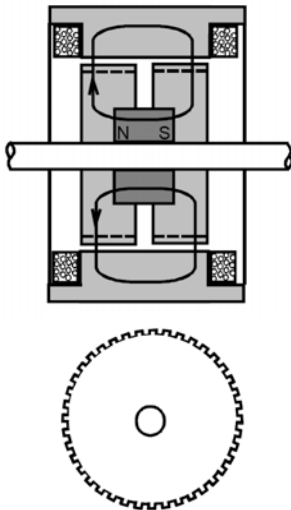
Beim Permanentmagnet-Schrittmotor besteht der Rotor aus einem zylindrischen Permanentmagneten mit radialer Magnetisierung. Daher kann man nur eine begrenzte Zahl von magnetischen Polen nebeneinander anordnen, was zu einem recht grossen Schrittwinkel führt.

Vorteil:

- günstig
- grösseres Drehmoment als beim Reluktanz-Motor
- Grösseres Rotor-Trägheitsmoment

Nachteil:

- Grosse Schrittwinkel
- Magnetische Verluste



3.3 Hybrid-Schrittmotor

Der Hybrid-Schrittmotor vereint die Vorzüge beider Bauformen. Sein Rotor besteht aus einem axialen Permanentmagneten, an dessen Enden gezahnte Kappen befestigt sind. Beide sind um eine halbe Zahnbreite gegeneinander versetzt, so dass sich Nord- und Südpole abwechseln. Hybrid-Schritt-Motoren sind heute am verbreitetsten und in den unterschiedlichsten Ausführungen zu bekommen.

Vorteil:

- Hohes Drehmoment
- Genauer Schrittwinkel

Nachteil:

- Magnetische Verluste

3.4 Weitere Bauformen

Weitere Bauformen sind z. B. der Scheibenmagnet-Schrittmotor, welcher sich vor allem durch hohe Drehzahlen und hohe Leistungsdichte auszeichnet und der Linearmotor.

4 SCHRITTAUFLÖSUNG

Die physikalische Schrittauflösung eines Motors hängt von der Anzahl der einzeln steuerbaren Phasen und von der Anzahl der Polpaare (=Anzahl der Nord- bzw. Südpol(-zähne) im Rotor) ab. Da eine Erhöhung der Phasenzahl auch den Schaltungs- und Verdrahtungsaufwand erhöht, legt man die Auflösung des Motors im wesentlichen über die Polpaarzahl fest. Bezüglich der Phasenzahl sind 2-Phasenmotoren am gängigsten, weshalb sich alle folgenden Überlegungen zum Drehmoment und zur Ansteuerung hierauf beziehen. Erhältlich sind ausserdem 5-polige Motoren, die besonders für Microschritt geeignet sind, sowie 3-polige Modelle, die einen Kompromiss zwischen den beiden Varianten bzgl. Laufverhalten und Hardwareaufwand bilden.

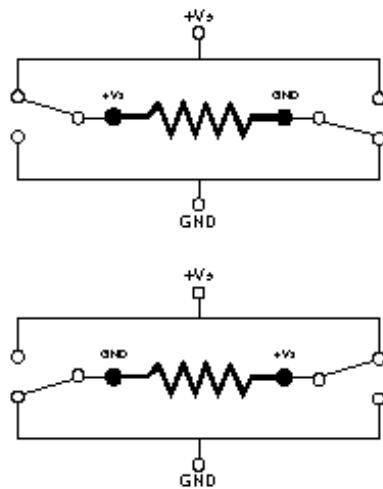
Beispiele:	2 Phasen	0.9°, 1.8°
	3 Phasen	1.2°
	5 Phasen	0.72°

5 ANSTEUERTECHNIK

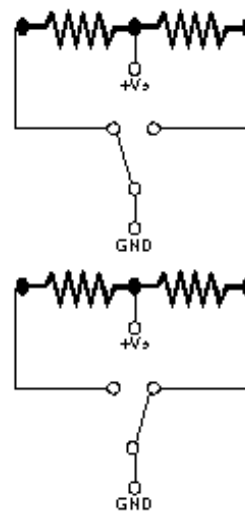
5.1 Anschluss der Phasen (Spulen)

Man kann zwei Gruppen von Motoren bzw. Ansteuertechniken unterscheiden:

Unipolare und bipolare Motoren. Beim Bipolarbetrieb werden die Spulen umgepolt, während im Unipolarbetrieb am Mittelabgriff der Spule die Versorgungsspannung fest anliegt, und abwechselnd immer ein Spulenende nach Masse gezogen wird. Wegen des relativ hohen Schaltungsaufwandes bei bipolarer Beschaltung war die unipolare Schaltung lange sehr beliebt, obwohl sie wegen der kleineren Spulenströme ein kleineres Drehmoment und kleinere Drehzahlen erzeugt. Mit dem Aufkommen preiswerter, integrierter Schaltungen begann sich die bipolare Ansteuertechnik mehr und mehr durchzusetzen.



Bipolare Beschaltung



Unipolare Beschaltung

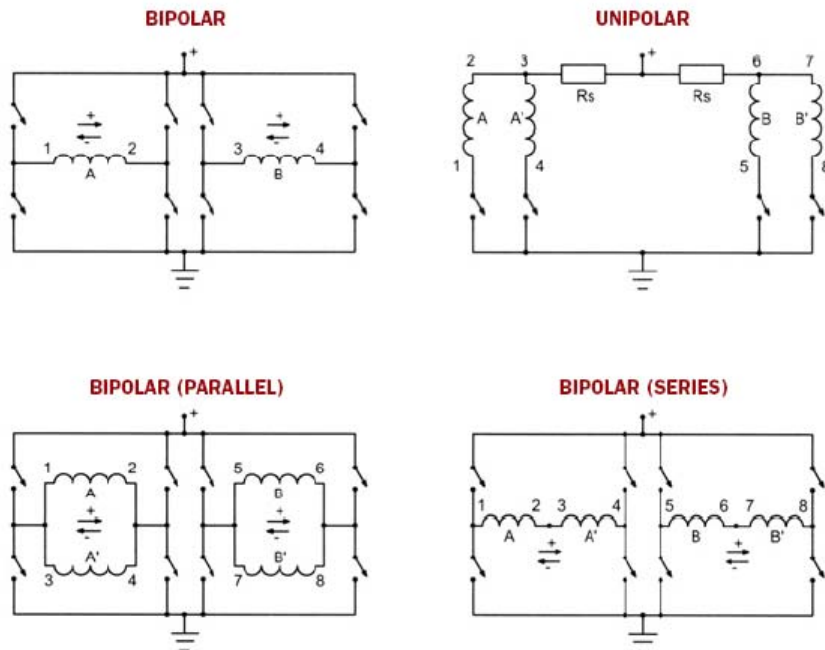
5.1.1 UNIPOLAR

Unipolare Motoren verfügen über zwei Spulen mit Mittelabgriff. Sie haben fünf oder sechs Anschlüsse. Mit einem Multimeter lässt sich schnell feststellen, welche Anschlüsse die Mittelabgriffe und welche die Spulenenden sind. Die Ansteuerung erfolgt durch wechselweises Einschalten von jeweils einem Spulenende, so dass immer nur die halbe Spule bestromt ist.

5.1.2 BIPOLAR

Ein 2-phasiger, bipolarer Motor hat zwei Spulen, manchmal auch zwei Spulenpaare, die durch Umpolen angesteuert werden. Sind zwei Spulenpaare vorhanden (also acht Anschlüsse am Motor), können die Spulenpaare wahlweise parallel oder in Reihe geschaltet werden, woraus sich unterschiedliche (dynamische) Eigenschaften ergeben. Eine Parallelschaltung führt im allgemeinen zu mehr Drehmoment im oberen Drehzahlbereich, stellt aber auch höhere Anforderungen an den Stromregler. Bipolare Motoren mit 8 Anschlüssen können prinzipiell auch unipolar angesteuert werden, wobei man allerdings einen Teil der Motorperformance verschenkt.

5.1.3 ANSCHLUSSDIAGRAMME

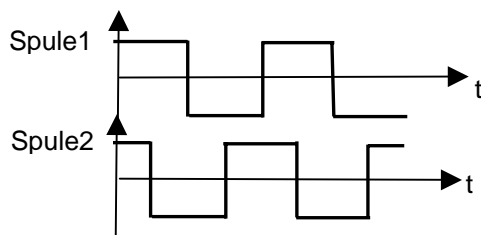


5.2 Ansteuerung

Der Schrittmotor dreht sich bei jeder Spulenumpolung einen 'Schritt' weiter (daher sein Name). Erfolgt die Umschaltung schnell genug, geht der Rotor in eine Drehbewegung über. Aus der Ansteuerung der Spulen kann man den Drehwinkel jederzeit (verhältnismäßig) genau bestimmen.

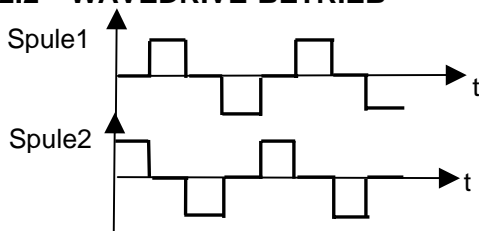
Bei der Beschaltung der Spulen ergeben sich drei weitere Betriebsarten: Normal- Wavedrive- und Halbschrittbetrieb.

5.2.1 NORMAL-BETRIEB



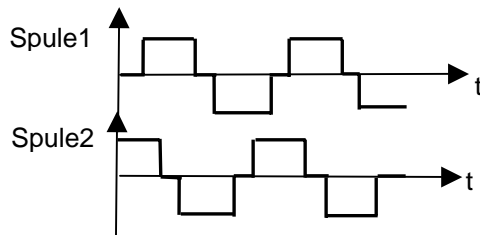
Es werden immer beide Spulen gleichzeitig bestromt. Es ergeben sich vier unterschiedliche Schrittpositionen pro Umlauf.

5.2.2 WAVEDRIVE-BETRIEB



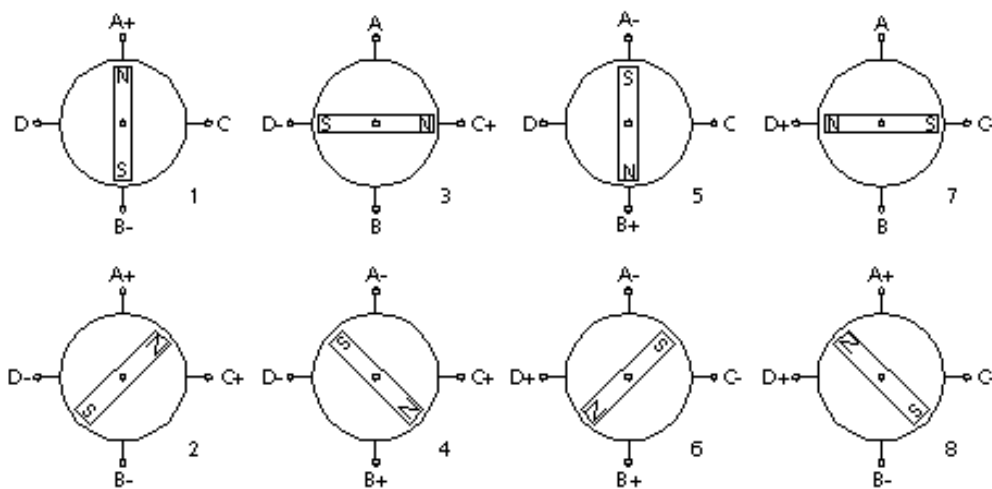
Hier wird immer nur eine Spule bestromt. Die Leistungsaufnahme und damit auch das Drehmoment sind im Vergleich zu 5.2.1 geringer. Die resultierenden vier Schrittpositionen liegen zwischen denen aus 5.2.1.

5.2.3 HALBSCHRITT-BETRIEB



Kombination aus 5.2.1 und 5.2.2. Es wird wechselweise eine, bzw. zwei Spulen bestromt. Es ergeben sich 8 Schrittpositionen. Daher kommt die Bezeichnung Halbschritt, da der physikalische Schrittwinkel des Motors halbiert wird. Die Auflösung ist grösser, dafür das Drehmoment kleiner.

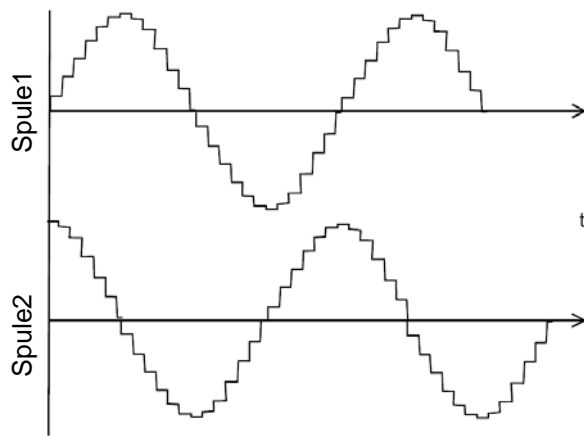
5.3 Positionen



Obere Reihe „Wavedrive-Betrieb“; untere Reihe “Normal-Betrieb“; beide Reihen „Halbschritt-Betrieb“

Im Halbschritt-Betrieb ergibt sich eine Besonderheit: Sind beide Spulen bestromt, ergibt sich der resultierende Kraftvektor aus der Addition der aufeinander senkrecht stehenden Einzelvektoren. Er ist aufgrund dieser Geometrie um den Faktor Wurzel zwei grösser als die jeweiligen Einzelvektoren. Um einen unruhigen Lauf bei niedrigen Drehzahlen zu vermeiden, empfiehlt es sich, diesen Einfluss zu kompensieren. Dies geschieht z.B. durch Anheben des Spulenstromes um den Faktor Wurzel zwei, wenn nur eine Spule bestromt ist. Da der Nennstrom der Motoren immer für den Fall angegeben wird, dass beide Spulen bestromt sind, ist die Gefahr einer Überhitzung der Wicklung trotzdem ausgeschlossen.

5.4 Micro-Schritt-Betrieb



Im Mikro-Schritt-Betrieb kann der natürlicher Schrittswinkel des Motors in viel kleinere Winkel geteilt werden. Z.B. hat ein Standard 1.8°-Motor 200 Schritte/Umdrehung. Wenn der Motor mit einem „divide-by-10“ Mikro-Schritt angesteuert wird, dann dreht jeder Mikro-Schritt den Motor 0.18 Grad und es ergeben sich 2.000 Schritte/Umdrehung. Normalerweise reichen Mikro-Schritt-Betriebe von „divide-by-10“ bis „divide-by-256“ (51.200 Schritte/Umdrehung für einen 1.8-Grad-Motor). Die Mikro-Schritte werden erzeugt, indem man den Strom in den zwei Wicklungen entsprechend einer Sinus und Kosinus-Funktionen fließen lässt. Dieser Modus wird nur verwendet, wo kleiner Lärm / Vibration oder mehr Auflösung angefordert wird.

5.4.1 SCHRITTSEQUENZEN

Die Ansteuerung der Phasen (Spulen) geschieht nach folgenden Tabellen:

FULL STEP OPERATION

One Phase On					Two Phases On				
Unipolar				Bipolar	Unipolar				Bipolar
	A	A'	B	B'		A	A'	B	B'
1	+	0	0	0	1	0	+		
2	0	0	+	0	2	-	0		
3	0	+	0	0	3	0	-		
4	0	0	0	+	4	+	0		
1	+	0	0	0	1	0	+		

HALF STEP OPERATION

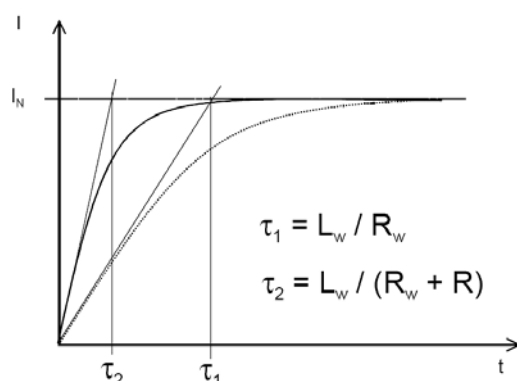
Unipolar					Bipolar		
	A	A'	B	B'		A	B
1	+	0	0	+	1	+	+
2	+	0	0	0	2	0	+
3	+	0	+	0	3	-	+
4	0	0	+	0	4	-	0
5	0	+	+	0	5	-	-
6	0	+	0	0	6	0	-
7	0	+	0	+	7	+	-
8	0	0	0	+	8	+	0
1	+	0	0	+	1	+	+

Die Bezeichnungen beziehen sich auf 5.1.3

5.5 Elektrische Ansteuerung

Bei der elektrischen Ansteuerung des Motors ergeben sich verschiedene Möglichkeiten:

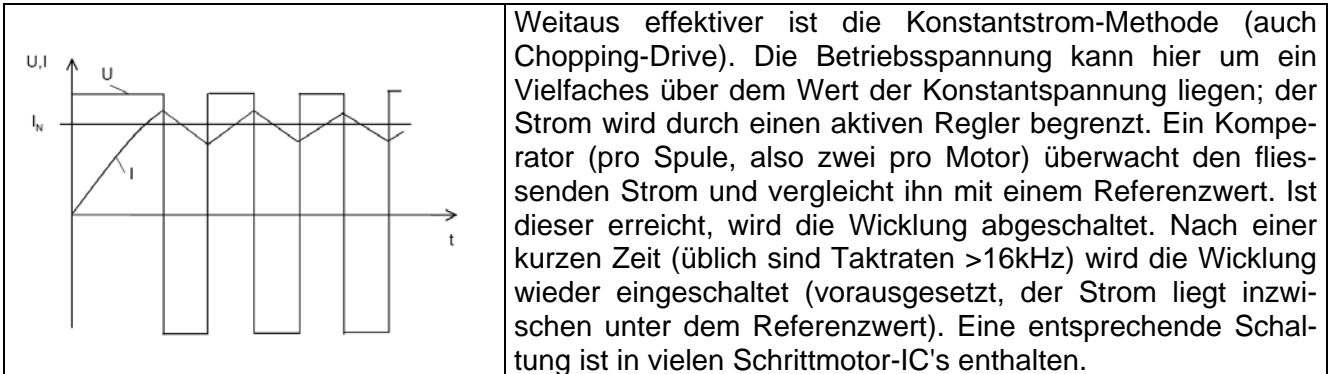
Konstante Spannung



Am preiswertesten ist die Konstantspannungs-Ansteuerung (L/R-Drive). Die anzulegende Spannung wird dabei so gewählt, dass bei Motorstillstand (=Gleichstrombetrieb) gerade der erlaubte Nennstrom fließt. Abgesehen von den hohen Verlusten beim Stillstand des Motors ist das Drehmoment und damit vor allem die maximale Drehzahl begrenzt. Der Spulenstrom (und damit das Drehmoment des Motors) folgt dem Gesetz $U=L \cdot di/dT$. Daraus folgt, dass der Strom zeitlich der Spannung „hinterherläuft“. Bei hohen Beschleunigungen wird der Maximalstrom nicht mehr erreicht, weil sich vorher die Polarität der Spannung wieder geändert hat.

Dieses Problem lässt sich durch eine modifizierte Konstantspannungs-Ansteuerung (auch L/nR-Drive genannt) beseitigen. Hierzu wird den Motorwindungen je ein Widerstand vorgeschaltet und die Spannung entsprechend erhöht. Der Vorwiderstand muss also im Stillstand bzw. bei niedrigen Drehzahlen die überschüssige Energie „vernichten“, die Verlustleistung ist also entsprechend hoch.

Konstanter Strom



6 KENNGRÖSSEN EINES SCHRITTMOTORS

Phasenzahl

Gebräuchlich sind Schrittmotoren mit ein bis fünf Phasen. Einphasige Motoren haben in der klassischen Antriebstechnik eine geringe Bedeutung. Die größte Verbreitung hat der 2-Phasenmotor mit seinen Varianten gefunden. Ein 4-Phasen Schrittmotor ist im Grunde ein 2-Phasenmotor mit getrennt herausgeführten Wicklungsanschlüssen. 5-Phasen Schrittmotoren bieten ein besseres Laufverhalten und eine von Natur aus höhere Schrittauflösung. Relativ neu auf dem Markt befindet sich der 3-Phasen Schrittmotor.

Schrittwinkel

Er besagt, welcher Drehwinkel mit dem Motor ohne elektronische Zusatzmaßnahmen aufzulösen ist. Die Angabe der Schrittzahl pro Umdrehung besagt sinngemäß dasselbe. Die Datenblätter der Motorhersteller beziehen sich auf Voll- oder Halbschritt. Um die gleiche Wellendrehzahl mit Halbschrittsteuerung zu erreichen muss die doppelte Taktfrequenz wie im Vollschritt gefahren werden.

Phasenstrom

Auf diesen Wert bezieht sich das Nennmoment des Motors. Mit diesem Strom kann der Motor im allgemeinen auch dauernd betrieben werden, ohne ihn thermisch zu überlasten. In der Regel wird allerdings im Motorstillstand eine Stromabsenkung vorgenommen, um den Motor nicht unnötig thermisch zu belasten.

Rastmoment

Das Rastmoment ist kennzeichnend für Permanentmagnet- und Hybrid-Schrittmotoren. Es ist beim Drehen des unbestromten Motors spürbar. Es wird deutlich grösser, wenn die Wicklungen kurzgeschlossen werden.

Haltemoment

Das Haltemoment gibt an, welches Moment der bestromte Motor im Stillstand halten kann, ohne dass dieses eine kontinuierliche Drehung des Rotors hervorruft.

Drehmoment

Das Drehmoment gibt an, welches maximale Moment der Motor bei unterschiedlichen Drehzahlen abgibt. Meist liegen diese Angaben in Form von Kennlinien vor.

Wicklungswiderstand

Dieser Wert ist Anhaltspunkt zur Berechnung der ohmschen Verluste im Motor. Ebenso hat dieser Wert ggf. Auswirkungen auf die Auslegung der Ansteuerung (Vorwiderstände etc.)

Wicklungsinduktivität

Diese Angabe hat Bedeutung bei der Wahl der Betriebsspannung, da sie die Geschwindigkeit des Stromauf- und Abbaus mitbestimmt und damit die dynamischen Eigenschaften beeinflusst.

Nennspannung

Die Nennspannung besagt, welche Spannung im stationären Fall an den Motor zu legen ist, um den Phasenstromnennwert zu erreichen. Sie ist bei Konstantstrom-Ansteuerung nicht mit der Betriebsspannung zu verwechseln.

Rotorträgheitsmoment:

Das Rotorträgheitsmoment addiert sich zum Trägheitsmoment der Last, und begrenzt damit die maximal mögliche Beschleunigung. Man benötigt diese Angabe zum Berechnen eines Antriebs.

Motortemperatur, Wicklungstemperatur

Diese meist auf einen definierten Punkt am Motorgehäuse bezogene Temperatur darf während des Betriebes nicht überschritten werden, da ansonsten irreversible Schäden entstehen können. Die max. Motortemperatur ist abhängig von der verwendeten Temperaturbeständigkeit des Isolierlackes der Motorwicklung, dem Curietemperatur des Magnetmaterials, der Güte der Motorlager und weiteren konstruktiven Details des Motors.

Mechanische Maße, Gewicht, Wellenbelastung

Zum mechanischen Ein- und Anbau von Motor und Last sind diese Angaben mit zu berücksichtigen.

Weitere Angaben

Oft findet man auch Angaben über Schutzart, Isolationseigenschaften etc, welche bei speziellen Umgebungsbedingungen oder anderen Randbedingungen zu berücksichtigen sind.

7 ZUBEHÖR

Die Schrittmotoren werden häufig mit folgendem Zubehör angeboten:

- Dämpfer zur Unterdrückung von Schwingungen
- Encoder zur Überwachung der ausgeführten Schritte
- Getriebe zur Erhöhung des Drehmoments
- Bremse
- Integrierte Steuerung zur Ansteuerung der Phasen (Spulen)

8 AUSWAHL DES PASSENDEN SCHRITTMOTORS

Für die Bestimmung des optimalen Schrittmotors müssen folgende Daten bekannt sein:

- Mechanische Last (Masse, Trägheitsmoment, Drehmoment)
- Gewünschte Auflösung (ergibt den Schrittwinkel)
- Geschwindigkeit-Zeit-Profil

Folgende Werte werden berechnet:

- Schrittwinkel
- Beschleunigung, Verzögerung
- Geschwindigkeit
- Benötigtes Drehmoment

Mit diesen Angaben kann nun der Motor bestimmt werden.

Überprüfung des ausgewählten Motors:

- Beschleunigung / Verzögerung in der Limite
- Verhältnis der Trägheitsmomente (Last, Rotor)
- Kräfte an der Achse zulässig

Deltron AG hilft Ihnen gerne bei der Auswahl der Schrittmotoren mit der passenden Steuerung. Nehmen Sie mit uns Kontakt auf.