

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

Keywords

Schrittmotor
Feldbus
Encoder
Microstepping
Phasenstrom
Fahrweg-Steuerung
Drehzahlinterface
KL2531
KL2541

Schrittmotor

Dieses Application Example liefert in Teil A allgemeine Informationen zum Schrittmotor, (Aufbau, Einsatzgebiete, Ansteuerung etc.) und beschreibt in Teil B den Funktionsumfang der Schrittmotorklemmen KL2531 und KL2541 von Beckhoff mit Anwendungsbeispielen für eine einfache Fahrwegsteuerung an einer SPS und für ein Drehzahlinterface mittels einer NC.

A Allgemeines zu Schrittmotoren

Schrittmotoren sind Sonderbauformen der Synchronmaschine, bei denen der Rotor als Permanentmagnet ausgeführt ist, während der Stator aus einem Spulenpaket besteht. Im Unterschied zum Synchronmotor verfügt der Schrittmotor über eine große Zahl von Polpaaren. Zum Betrieb des Motors wird eine Ansteuereinheit benötigt, welche die einzelnen Wicklungen des Motors nach einer bestimmten Impulsfolge bestromt. Ein Schrittmotor neigt zu mechanischer Schwingung, und oberhalb seiner Lastgrenze verliert er an Dynamik und unter Umständen auch einzelne Schritte, bei starker Belastung kommt es sogar zum Stillstand der Welle. Daher ist eine sichere Positionierung nur innerhalb der Leistungsgrenzen gewährleistet. Wenn der Motor jedoch innerhalb seiner Lastgrenzen betrieben wird, kann durch die Aneinanderreihung von Einzelschritten ein Positioniervorgang ohne Rückführung der Rotorlage ausgeführt werden. Diese Betriebsart (offene Steuerkette) und die Langelebigkeit des Schrittmotors ermöglichen den Einsatz als Positionierantrieb in preissensitiven Applikationsfeldern.

1. Grundlagen zur Funktion eines Schrittmotors

Ein Schrittmotor besteht, wie bei den meisten Elektromotoren üblich, aus einem **Stator** (der feststehenden äußeren Wicklung) und einem **Rotor** (rotierende Welle mit Magneten). Die Drehung der Motorwelle (Rotor) kommt dadurch zustande, dass das elektromagnetische Feld des Stators sprungweise geschaltet wird und die Welle sich um den Schrittwinkel dreht. Bei einfachster Ansteuerung schaltet man den Schrittmotor von Pol zu Pol bzw. von Schritt zu Schritt. Eine volle Drehung der Motorwelle setzt sich somit aus einer definierten Anzahl von Einzelschritten zusammen. Eine Stromzufuhr der Motorwicklungen

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

bewirkt im Motor ein **Magnetfeld** von Nord nach Süd (bei negativer Polung der Stromzufuhr und entsprechendem Wickelsinn von Süd nach Nord). Der bewegliche Stator mit seinen Permanentmagneten richtet sich entsprechend der Richtung des äußeren Magnetfeldes vom Stator aus.

Grundtypen von Schrittmotoren

Die vielfältigen Bautypen lassen sich im Allgemeinen auf drei Grundtypen zurückführen:

- 1– Reluktanz-Schrittmotoren (VR)
(variable reluctance (stepping) motor)
- 2– Permanentmagnet Schrittmotor/Klauenpol schrittmotor (PM)
(permanent magnet motor, claw-poled PM motor, Tin-Can-Motor)
- 3– Hybridschrittmotor (HY)
(hybrid stepping motor)

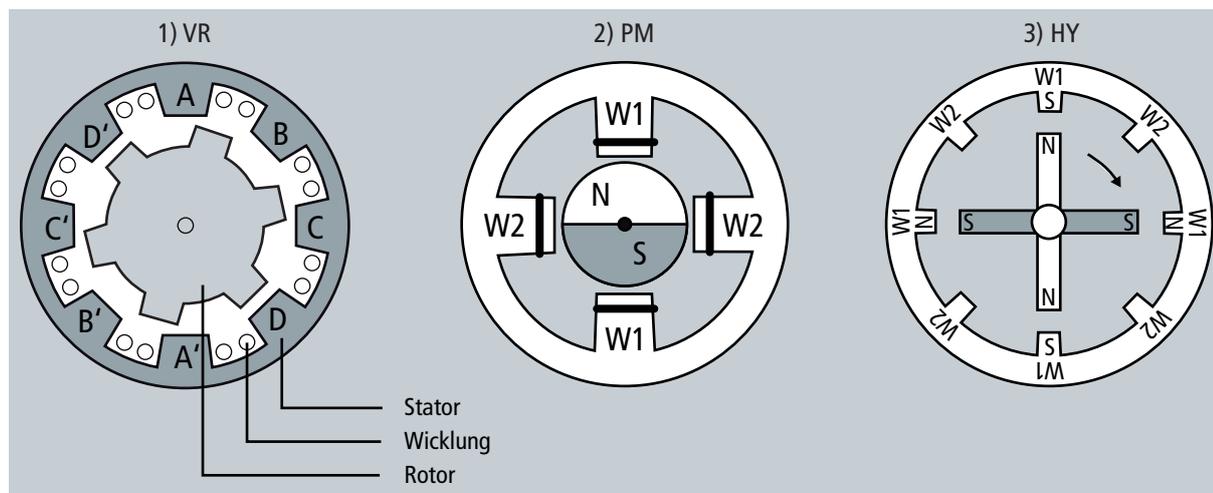


Abb. 1 Grundtypen von Schrittmotoren: Reluktanz-Schrittmotor, Permanentmagnet Schrittmotor und Hybrid-Schrittmotor

Reluktanz-Schrittmotor (Abb. 1 links)

Der Rotor besteht aus einem weichmagnetischen Material, dessen Zahnteilung gegenüber der Polteilung des Stators ungleich ist. Bei Erregung eines Strangs nimmt der Rotor die Stellung ein, in welcher der magnetische Widerstand (Reluktanz) für den erregten magnetischen Kreis am geringsten ist. Wird der Rotor ausgelenkt, entsteht ein Drehmoment, das den Rotor wieder in die ursprüngliche Lage zurück führt. Zum Drehrichtungswechsel benötigt der Stator mindestens zwei Strangwicklungen. Auf Grund der unterschiedlichen Zahnteilung auf Pol und Rotor ist die Drehfeldrichtung entgegengesetzt zur Rotordrehrichtung. Im stromlosen Zustand besitzt der Motor kein Selbsthaltungsmoment.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

Permanenterregter Schrittmotor/Klauenpolschrittmotor (Abb. 1 Mitte)

Ein permanent erregter Schrittmotor besteht aus einem Stator mit einzeln ansteuerbaren Wicklungen und einem Rotor als Permanentmagnet. Der Rotor kann jedoch auch als zylinderförmiger Ferritstab ausgeführt sein, der entlang seines Umfangs mehrpolig magnetisiert ist. Der permanentmagnetische Rotor stellt sich immer polariätsrichtig zur Ständerwicklung aus. Permanenterregte Schrittmotoren besitzen ein Selbsthaltungsmoment, mit dem man einen nicht erregten Motor statisch belasten kann, ohne eine kontinuierliche Drehung hervorzurufen.

Hybridschrittmotor (Abb. 1 rechts)

Kombination aus VR (kleine Schrittwinkel) und PM (hohes Drehmoment, Selbsthaltungsmoment). Der Rotor besteht aus einem in axialer Richtung angeordneten Permanentmagneten, der zwischen zwei weichmagnetischen Zahnscheiben liegt. Diese Zahnscheiben sind gegeneinander um eine halbe Zahnteilung versetzt. Durch die Anordnung der Permanentmagneten im Rotor bildet eine Zahnscheibe den Nordpol und die andere den Südpol des Rotors. Je nach stromdurchflossenem Strang des Stators richten sich die Rotorzähne nach den Statorzähnen aus.

1.1 Besonderheiten

Resonanzen

Der unruhige Lauf in bestimmten Drehzahlbereichen, meist in Kombination ohne angekoppelter Last zeigt an, dass der Schrittmotor in seiner Resonanz-Frequenz betrieben wird. Unter Umständen kann der Motor dabei sogar stehen bleiben. Man kann zwischen Resonanzen im unteren Frequenzbereich bis ca. 250 Hz und Resonanzen im mittleren bis oberen Frequenzbereich unterscheiden: Für die mittel- bis hochfrequenten Resonanzen sind im Wesentlichen die elektrischen Kenngrößen wie Induktivität der Motorwicklung und Kapazitäten in den Zuleitungen verantwortlich. Sie wirken sich wegen der hohen Frequenz nicht massiv auf das Drehmoment aus und sind durch eine hohe Taktung der Regelung relativ einfach in den Griff zu bekommen. Die Resonanzen im unteren Frequenzbereich werden im Wesentlichen durch die mechanischen Kenngrößen des Motors beeinflusst. Neben dem unruhigen Lauf bewirken sie außerdem einen recht erheblichen Drehmomentverlust, welcher die Anwendung nicht nur stört, sondern sie durch den möglichen Schrittverlust auch behindert.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

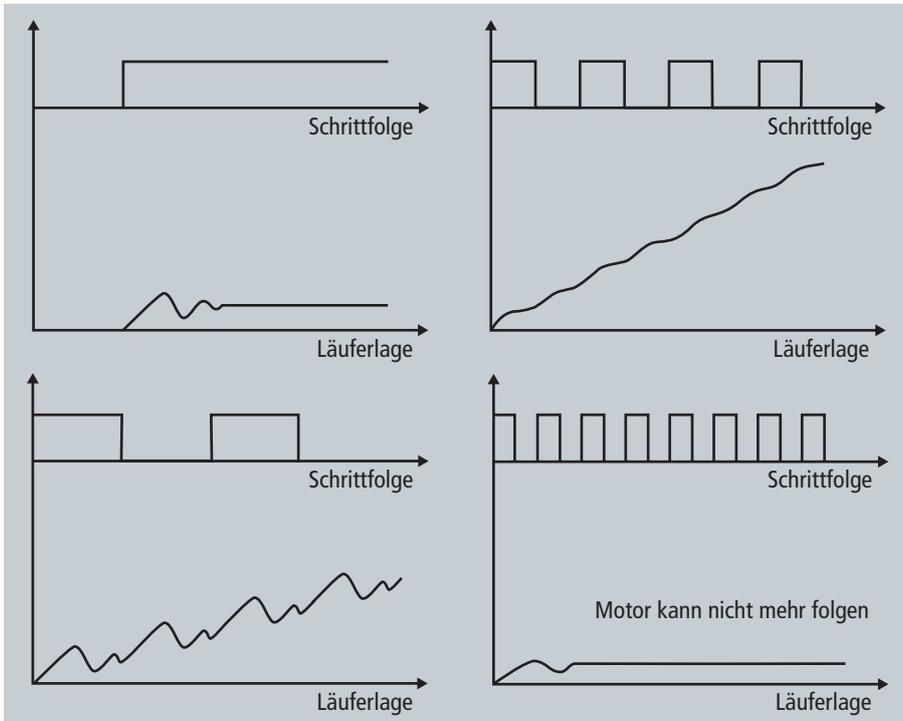


Abb. 2 Läuferlage in Abhängigkeit zur Schrittfolge

Der Schrittmotor stellt im Grunde ein schwingungsfähiges System dar, vergleichbar mit einem Masse-Federsystem, bestehend aus dem sich bewegenden Rotor mit Trägheitsmoment und einem magnetischen Feld, das eine Rückstellkraft auf den Rotor erzeugt. Beim Auslenken und Loslassen des Rotors wird eine gedämpfte Schwingung erzeugt. Jeder Stromimpuls bewirkt einen Einschwingvorgang der Läuferlage (Abb. 2 oben links). Mit zunehmender Frequenz wird der Einschwingvorgang bereits vom Folgeimpuls überlagert und der Drehzahlverlauf glättet sich (Abb. 2 oben rechts und unten links). Entspricht die Ansteuerfrequenz der Resonanzfrequenz, wird die Schwingung verstärkt, sodass der Rotor im ungünstigsten Fall den Schritten nicht mehr folgt und zwischen zwei Rastungen hin und her schwingt (Abb. 2 unten rechts).

Wärmeentwicklung

Schrittmotoren nehmen auch im Stillstand ihren Nennstrom auf, den sie dann aber nicht in Bewegung umsetzen können. Daher erwärmt sich der Motor zwangsläufig und kann je nach Auslegung des Motors 100 °C wärmer werden als die Umgebung. Eine Temperaturüberwachung wird von vielen Herstellern empfohlen.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

1.2 Vorteile von Schrittmotoren gegenüber anderen Motoren

Im Gegensatz zu anderen Motoren hat der Schrittmotor auch bei niedriger Drehzahl ein hohes Haltemoment; das auch im Stillstand anliegt. Ein weiterer Vorteil liegt in der einfachen Ansteuerung von Schrittmotoren: Durch das abwechselnde Bestromen der einzelnen Spulen wird der Motor immer um einen Schritt bewegt. Durch die feste Anzahl von Schritten pro Umdrehung kann immer ein direkter Rückschluss auf die aktuelle Position gezogen werden, wenn die Schritte gezählt werden und der Motor innerhalb seiner Leistungsgrenzen betrieben wird. Daher ist für einfache Positionieraufgaben innerhalb der Leistungsgrenzen kein Encoder nötig. Schrittmotoren sind somit als kostengünstige Gesamtlösungen für einfache Positionieraufgaben bestens geeignet.

1.3 Einsatzgebiete der verschiedenen Schrittmotortypen

1– PM:

technologisch relativ einfache Lösung für Antriebe kleiner Leistung mit geringen bis mittleren Anforderungen an die Dynamik | Einsatz in Automobiltechnik und Gebäudeautomatisierung für Klima und Heizungsanlagen

2– VR:

Untergeordnete Bedeutung | lässt sich günstig fertigen | erreicht nur geringen Wirkungsgrad | kein Haltemoment | neigt stärker zu mechanischen Schwingungen als polarisierte Schrittmotoren

3–HY:

Energetisch günstigster Motor mit höchsten Leistungsparametern | über 100 cNm Drehmoment keine Verbesserung des Masse-Leistungsverhältnisses | Kleine Leistungsklassen dominieren in peripheren Datenverarbeitungsgeräten (Drucker/Scanner etc.) | Große Leistungsklassen typisch für hochwertige Positionieraufgaben (Robotik)

Handelstypische Ausführungen sind Schrittmotoren mit folgenden Parametern:

	Reluktanz-Schrittmotor	Klauenpolschrittmotor	Hybridschrittmotor
Schrittwinkel in °	1,8...30	6...45	0,36...15
Selbthaltemoment M_H in cNm	1,0...50	0,5...60	3...1000

2. Grundlagen der Ansteuerung

Da es nicht ausreicht, eine konstante Versorgungsspannung an den Schrittmotor anzulegen; um eine Rotation der Welle zu erzeugen, müssen die einzelnen Spulen abwechselnd bestromt werden. Dazu ist in jedem Fall eine Ansterelektronik nötig, in der man die Parameter Geschwindigkeit und Richtung vorgeben kann. Weiterhin muss die Ansterelektronik die drei unterschiedlichen Schrittmuster unterstützen, mit denen man die Rastposition der Welle beeinflusst.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

2.1 Vollschrift und Halbschrift

Vollschrift

Es werden immer zwei benachbarte Wicklungen geschaltet, damit sich der Rotor mittig zwischen den Polachsen ausrichtet. Man erreicht dadurch ein großes Drehmoment.

Halbschrift

Es wird zwischen zwei Vollschriftpositionen nur eine Wicklung geschaltet, so wird der Schrittwinkel auf Kosten eines kleineren, ungleichförmigen Drehmomentes halbiert.

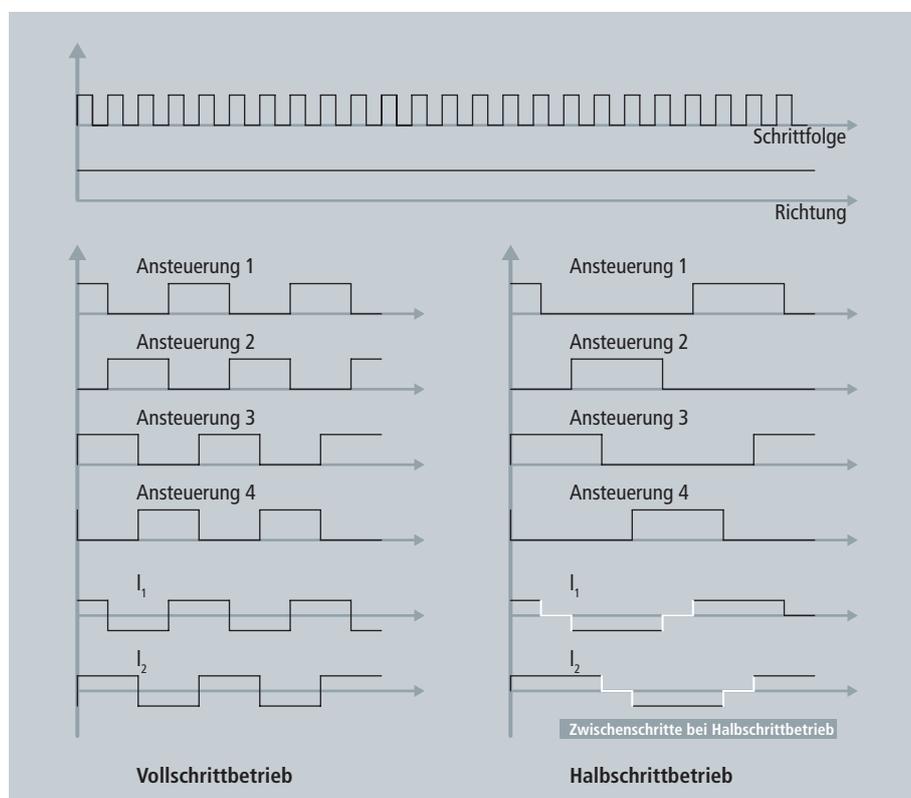


Abb. 4 Unterschiede der Ansteuerarten für Schrittmotoren (links Vollschrift, rechts Halbschrift)

2.2 Mikroschritt

Sowohl beim Vollschrift- als auch beim Halbschriftbetrieb werden komplette Wicklungen nach einem bestimmten Impulsmuster geschaltet, der Motor schaltet schlagartig um einen festen Winkel weiter. Bei Microstepping wird durch die Ansteuerlektronik eine PWM in sehr feiner Auflösung erzeugt, sodass die Wicklungen mit einem konstanten Stromfluss in SinCos-Form versorgt werden. Das Drehmoment des Motors ist bei dieser Betriebsart ausschließlich von der Stromstärke abhängig.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

B Schrittmotorklemmen KL2531 und KL2541 von Beckhoff

Die Schrittmotorklemmen KL2531 und KL2541 integrieren eine kompakte Motion-Control-Lösung für Schrittmotoren bis 200 W in kleinster Bauform, mit denen uni- und bipolare Schrittmotoren direkt angesteuert werden können. Es wird keine zusätzliche Endstufe benötigt, da die Klemmen die Endstufen für zwei Motorspulen enthalten. Durch die volle Integration in den Feldbus werden die Klemmen über das Feldbus-Konfigurationstool mit wenigen Parametern an die Anwendung und an den Motor angepasst.

3. Grundlagen zum Aufbau/zur Funktion der Klemmen

Beide Klemmen geben je zwei geregelte Ströme mit SinCos-Verlauf aus. Die Stromregelung wird mit 25 kHz getaktet und ermöglicht einen glatten und resonanzfreien Stromverlauf. Hochdynamische, induktionsarme Motoren laufen dadurch problemlos wie Schrittmotoren mit einer kleinen Rotormasse. Die Auflösung des Stromes erfolgt in 64 Schritten pro Periode (64-faches Microstepping). Sie unterscheiden sich durch ihre Leistungsklassen.

KL2531

- unterer Leistungsbereich
- geringe Bauform: in 12 mm Breite PWM für zwei Motorspulen und zwei digitale Eingänge (24 V DC)
- bis zu 24 V DC Versorgungsspannung
- Spitzenstrom 1,5 A pro Phase
- direkter Anschluss unterschiedlicher Schrittmotoren
- geringer Aufwand zur Anpassung an Motor und Anwendung

KL2541

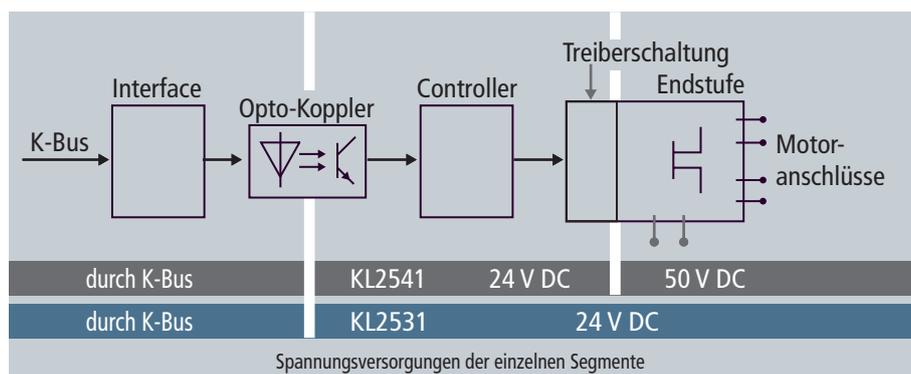
- nächste Leistungsklasse (kleine Servoantriebe)
- 24 mm Breite
- Drehmoment bis zu 5 Nm (je nach Motor)
- bis zu 50 V DC Versorgungsspannung
- Spitzenstrom 5 A pro Phase
- integrierte Inkremental-Encoder-Schnittstelle (24 V DC)
- hohe mechanische Leistung bis in den 200-Watt-Bereich
- direkter Anschluss unterschiedlicher Schrittmotoren
- geringer Aufwand zur Anpassung an Motor und Anwendung

Zu beachten ist, dass für typische Anwendungen die Nennleistung der Motorspannungsversorgung so dimensioniert werden kann, dass der aufgenommene Laststrom 50 % des Stroms einer Schrittmotorphase beträgt. Dadurch kann eine KL2541, die einen Schrittmotor mit max. 5 A Spulenstrom in einer typischen Anwendung betreibt, in der Regel mit einem Netzteil 48 V/2,5 A betrieben werden.

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

3.1 Blockschaubild



3.2 Beschaltung von Schrittmotoren

Bei VR-Schrittmotoren ist für die Richtungsänderung des Drehmomentes keine Änderung der Polarität des Stroms notwendig. Bei Schrittmotoren mit Permanentmagneten ist die Durchflutung mit beiden Polaritäten erforderlich, daher kann man sie unipolar oder bipolar ansteuern. Beim Bipolarbetrieb erreicht man einen höheren Wirkungsgrad, jedoch ist der Schaltungsaufwand beim Unipolarbetrieb geringer.

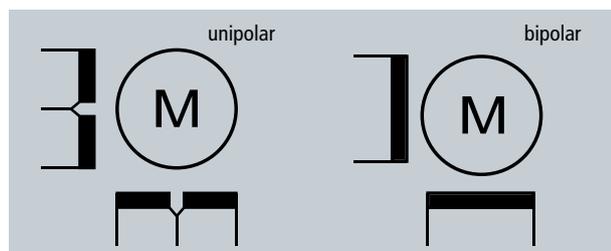


Abb. 6 Betriebsarten bei Schrittmotoren: unipolar und bipolar

Unipolar:

Jede Statorspule ist mit einer Mittelanzapfung versehen, die fest mit der Versorgungsspannung verbunden ist. Der Strom durchfließt die Strangwicklung nur in einer Richtung, da jeder Strang mit zwei Drähten parallel gewickelt ist. Die Stromrichtung der Statorspule hängt davon ab, welches Spulenende an Masse gelegt wird. Bei dieser Beschaltung ergeben sich Einsparungen bei der Ansteuerelektronik (siehe Abb. 6 links).

Bipolar:

Beim Bipolarbetrieb wird jede Strangwicklung des Motors über eine Vollbrücke gespeist und kann also in beiden Richtungen Strom führen. Daher wird immer die gesamte Spule umgepolt und nicht nur eine Hälfte. Sind die Stränge des Schrittmotors mit zwei parallelen Drähten gewickelt, so müssen die beiden Zweige einer Spule parallel geschaltet werden (siehe Abb. 6 rechts).

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

Hinweis:

Weitere Informationen zum Anschluss der Motoren an die Klemmen: siehe Dokumentation -> Montage und Verdrahtung -> Anschlussbeispiele. Downloadlink am Ende des Dokuments

3.3 Ergänzende Produkte

Ergänzend kann die Puffer-Kondensator-Klemme KL9750 mit besonders Ripplestrom-festen 500- μ F-Kondensatoren zur Schrittmotor-Klemme eingesetzt werden: Sie stabilisiert die Spannungsversorgung, nimmt zurückgespeiste Energie auf und bietet Überspannungsschutz von hochdynamischen Antrieben. Übersteigt die rückgespeiste Energie das Fassungsvermögen der Kondensatoren, verhindert ein externer Ballastwiderstand eine Überspannung.

4. Anwendungsbeispiele

Die Klemmen enthalten nur ein Dateninterface, welches je nach Betriebsart das Register **DataOUT** entweder zur Positions- oder zur Drehzahlvorgabe nutzt. Die folgenden Anwendungsbeispiele umreißen kurz den Funktionsumfang der Betriebsarten **Fahrwegsteuerung** (Positionsvorgabe) und **Drehzahlinterface** (Geschwindigkeitsvorgabe).

4.1 Fahrwegsteuerung (an einfacher SPS)

Für Positionierungen, die von einer SPS übernommen werden, ist die Fahrwegsteuerung die optimale Lösung. In dieser Betriebsart wird der Klemme ein 16-Bit-Positionswert und verschiedene Parameter, wie Geschwindigkeit und Beschleunigung, vorgegeben. Die Klemme fährt nach der Freigabe selbsttätig auf die Zielposition.

Mit der Betriebsart ‚Fahrwegsteuerung‘ sind einfache Positionierungen aus einer herkömmlichen SPS (ohne NC) zu realisieren. Dazu können entsprechende Verfahr-/Positionierbefehle über die Steuerung direkt in die Register des klemmeninternen Speichers geschrieben werden. Die Schrittmotorklemme bietet die Möglichkeit einer einfachen Referenzierung (Homing). Dazu werden im Modus ‚Referenzierung‘ die digitalen Eingänge als Nockenrückführung verwendet.

Die folgenden Fahrbefehle sind im Modus „Fahrweg-Steuerung“ möglich:

- manuell
- Fahrauftrag einfach
- Fahrauftrag mehrfach
- Auto-Start-Funktion
- Auto-Stopp-Funktion
- Schnell-Stopp-Funktion
- Referenzierung/Homing (über die digitalen Eingänge)
- Selbstjustierung

Application Note DK9221-0210-0014

Motion Control

4.2 Drehzahlinterface (Betrieb an einer NC)

Für Positionierungen, die von der NC übernommen werden, ist die Betriebsart „Geschwindigkeit direkt“ die optimale Lösung. Hierbei wird die Schrittmotorklemme in einem geschlossenen Regelkreis betrieben, während die NC als Geschwindigkeits-Sollwert-Generator arbeitet. Die Klemme folgt diesen Sollwerten und gibt den aktuellen Positionswert als Feedback zurück an die NC. Die verwendeten Rampen und Reglerparameter (P, I) werden in der NC konfiguriert.

In der Betriebsart „Geschwindigkeit direkt“ sind sämtliche Funktionen und Fahrbefehle der Standard-TwinCAT-Library „Motion Control“ möglich. Als Auszug die am häufigsten verwendeten Befehle (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Move absolute
 - Move relative
 - Read Position
 - Referenzieren auf Nocke oder auf 0-Spur (C-Signal) des Encoders
 - MC Reset
-
- Schrittmotorklemme, 24 V DC, 1,5 A www.beckhoff.de/KL2531
 - Schrittmotorklemme, 50 V DC, 5 A, mit Inkremental-Encoder www.beckhoff.de/KL2541
 - Puffer-Kondensator-Klemme www.beckhoff.de/KL9570
 - Dokumentation der Schrittmotorklemmen

http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/KL2531_KL2541de.chm

Dieses Dokument enthält exemplarische Anwendungen unserer Produkte für bestimmte Einsatzbereiche. Die hier dargestellten Anwendungshinweise beruhen auf den typischen Eigenschaften unserer Produkte und haben ausschließlich Beispielcharakter. Die mit diesem Dokument vermittelten Hinweise beziehen sich ausdrücklich nicht auf spezifische Anwendungsfälle, daher liegt es in der Verantwortung des Kunden zu prüfen und zu entscheiden, ob das Produkt für den Einsatz in einem bestimmten Anwendungsbereich geeignet ist. Wir übernehmen keine Gewährleistung, dass der in diesem Dokument enthaltene Quellcode vollständig und richtig ist. Wir behalten uns jederzeit eine Änderung der Inhalte dieses Dokuments vor und übernehmen keine Haftung für Irrtümer und fehlenden Angaben. Eine detaillierte Beschreibung unserer Produkte enthalten unsere Datenblätter und Dokumentationen, die darin enthaltenen produktspezifischen Warnhinweise sind unbedingt zu beachten. Die aktuelle Version der Datenblätter und Dokumentationen finden Sie auf unserer Homepage (www.beckhoff.de).

© Beckhoff Automation GmbH, Februar 2010

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.