Schrittmotor Closed-Loop

Vorteile von Schrittmotoren im geschlossenen Regelkreis (closed-loop)

Schrittmotoren (engl. Stepper) werden in einer Vielzahl von Anwendungen der Antriebstechnik eingesetzt, denn sie sind preiswert und einfach zu bedienen. Darüber hinaus verfügen sie über ein hohes Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen. Allerdings leiden Stepper unter Nachteilen, wie verlorene Schritte, vermindertes Drehmoment bei hohen Drehzahlen, Resonanz und hohem Stromverbrauch. Um diese Nachteile zu kompensieren, hat Galil drei Möglichkeiten im Funktionsumfang der digitalen Motion Controller:

1. Endlagekorrektur (SPM-Mode)
2. Betrieb im geschlossenen Regelkreis mit Mikroschritt (CLS-Mode)
3. Schrittmotor als 2-phasigen, bürstenlosen Servomotor betreiben (2PB-Mode)

Grundlagen des Schrittmotors

Schrittmotoren haben mehrere "gezahnte" Elektromagnete, die um einen zahnradförmigen Rotor angeordnet sind. Um die Motorwelle zum Drehen zu bringen, werden diese Elektromagnete in einer bestimmten Reihenfolge erregt. Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung dieses Ablaufes für einen 2-Phasen-Schrittmotor. Jede spezifische Sequenz entspricht einem Schritt des Motors. Ein Schrittmotor hat typischerweise 200 Schritte pro Umdrehung.

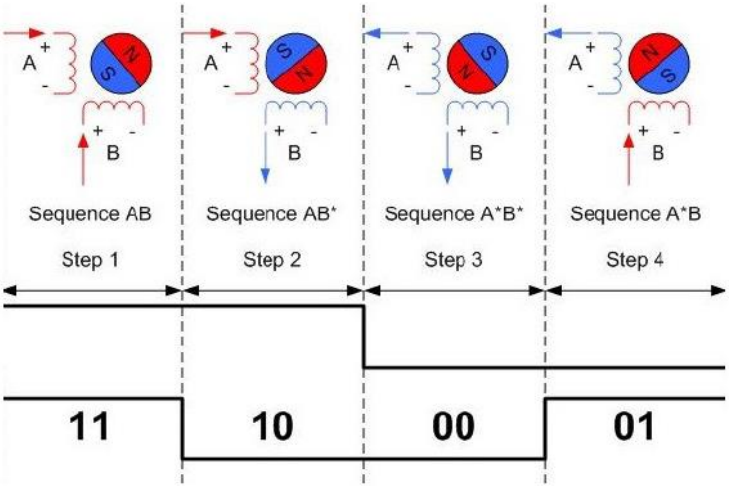

Abbildung 1 Beispiel Strom und Position im Vollschritt

Schrittmotoren sind nicht ohne Nachteile. Der erste Nachteil eines Schrittmotors ist, dass er immer bei maximalem Strom arbeitet. Dies führt zu Energieverschwendung und überschüssiger Wärmeentwicklung. Zweiter Nachteil ist die Vibration, die beim Betrieb von Schrittmotoren verursacht wird.

Und drittens ändern sie ihre Position in diskreten Schritten. Wenn die Schrittfrequenz mit der Eigenschwingung oder der Resonanzfrequenz des Schrittmotors übereinstimmt, steigt die Amplitude dieser Schwingungen an, was zum Verlust der Position führt. Schrittmotoren erfahren auch eine deutliche Verringerung des Drehmoments, wenn die Geschwindigkeit des Motors steigt. Eine übliche Drehzahl-Drehmoment-Kurve wird in Abbildung 2 gezeigt.

Schließlich ist die Positionsauflösung durch die Anzahl der Schritte pro Umdrehung begrenzt. Wenn eine höhere Auflösung benötigt wird, kann der Schrittmotor durch den Prozess des Mikroschritts gesteuert werden.

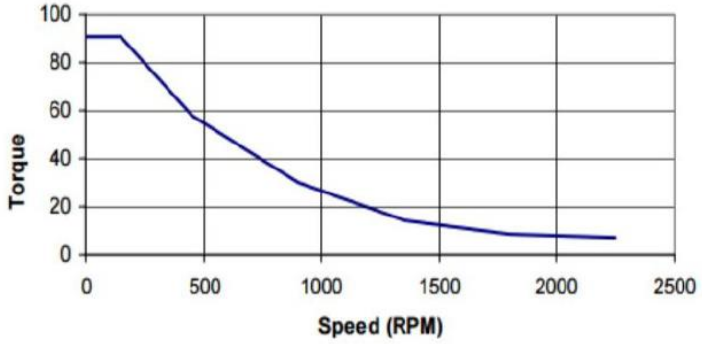

Abbildung 2Drehmoment über Drehzahl

Mikroschritt

Mikroschritt ist eine Methode, einen Schrittmotor so anzutreiben, dass jeder ganze Schritt des Motors in kleinere Inkremente, Mikroschritte genannt, zerlegt wird. Beim Mikroschritt werden normalerweise zwischen 2 und 256 Mikroschritte pro Vollschritt erzeugt, was bedeutet, dass der Motor mit 200 Schritten pro Umdrehung nun bis zu 51.200 dieser Mikroschritte pro Umdrehung haben kann. Abbildung 3 zeigt die Stromwellenform durch jede Schrittmotorphase, mit einer zunehmenden Anzahl von Mikroschritten pro Vollschritt.

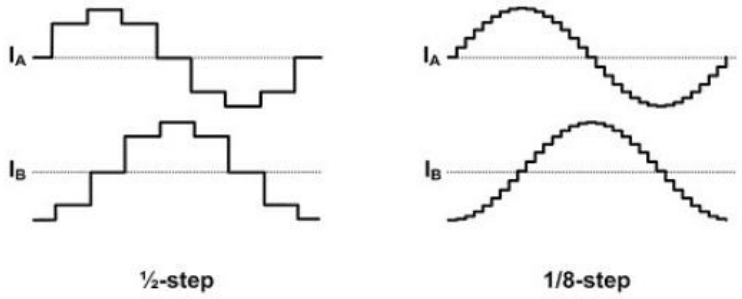

Abbildung 3 Stromverlauf im Mikroschritt

Die tatsächliche Genauigkeit der Mikroschritte ist weitgehend von externen Kräften abhängig. Mikroschritte sind bis auf einen Vollschritt des Motors genau. Wenn jedoch mehr als ein Halbschrittfehler vorhanden ist, wird ein Schritt nicht ausgeführt. Es kommt zu keiner Bewegung der Welle, wenn Reibung, Schwerkraft oder eine andere Kraft der gewünschten Bewegung mit gleicher Kraft entgegenwirken. D.h. die kleine Stromänderung zwischen zwei Mikroschritt-Positionen führt zu keiner Positionsänderung – ein Schritt ist „verloren gegangen“.

Abbildung 4 zeigt eine Darstellung einer Punkt-zu-Punkt-Bewegung, die in einem, von einem Schrittmotor mit angekoppeltem Encoder angetriebenem System ausgeführt wird. Die rote Linie ist die erwartete Position des Schrittmotors, die violette Linie sind die Schrittimpulse, die an den Motor ausgegeben werden und die blaue Linie ist die Motorposition vom Encoder. Die schwarze Linie zeigt an, wenn der Controller aktiv Bewegung berechnet. Aufgrund der Reibung in dem System stimmt die Endposition des Schrittmotors nicht mit der befohlenen Position überein, was zu einem stationären Fehler führt.

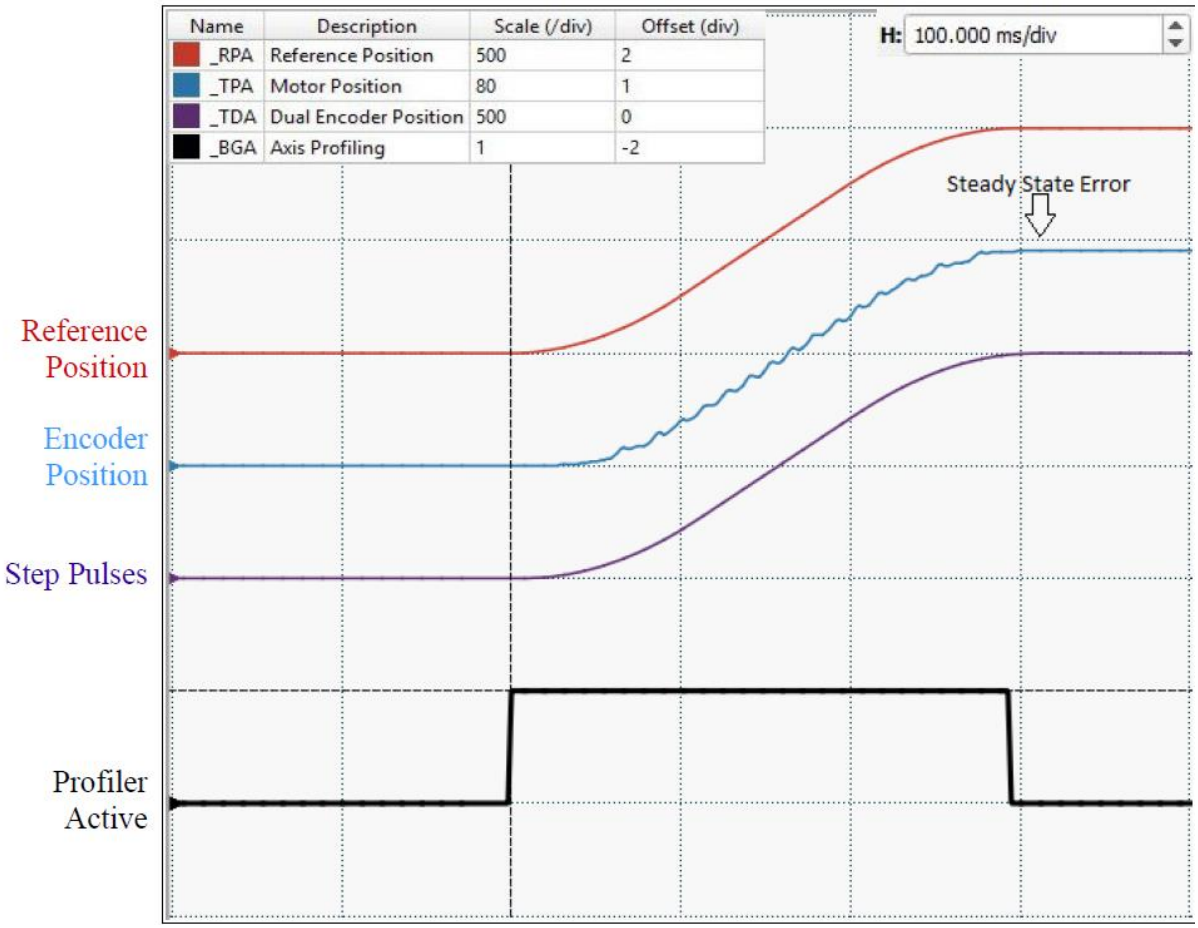

Abbildung 4 Mikroschrittbetrieb

Endlagekorrektur (SPM-Mode)

Durch das Messen der aktuellen Ist-Position des Schrittmotors mit Hilfe eines Rückführungssignals (Encoder-Position) kann die Steuerung die Anzahl der „verlorenen Schritte“ ermitteln. Diese Differenz zwischen Soll- und Ist-Position (Positionsfehler) wird benutzt, um die gewünschte Endposition durch die Anweisung zusätzlicher Schrittimpulse zu erreichen. Die Korrektur erfolgt also erst am Ende einer Bewegung. Galil nennt dies Stepper Position Maintenance Mode oder SPM. SPM betreibt den Schrittmotor jedoch immer noch im Mikroschrittbetrieb.

Abbildung 5 zeigt das gleiche System wie Abbildung 4, das nun im SPM-Modus betrieben wird. Nach dem Ende der Bewegung wird der Positionsfehler erkannt und die Referenzposition wird angepasst, um diesen Fehler zu berücksichtigen. Dann wird eine Fehlerkorrekturbewegung befohlen, um den Schrittmotor in die richtige Position zu bringen.

Durch das Hinzufügen eines Encoders hat der Controller nun die Möglichkeit, die im System vorhandenen Fehler zu erkennen und zu korrigieren. Jedoch wirkt sich diese Art von Fehlerkompensation nur auf den stationären Fehler aus. Der SPM-Modus ist somit für Anwendungen gedacht, bei denen es nur auf die Genauigkeit in der Zielposition (Endlage) ankommt.

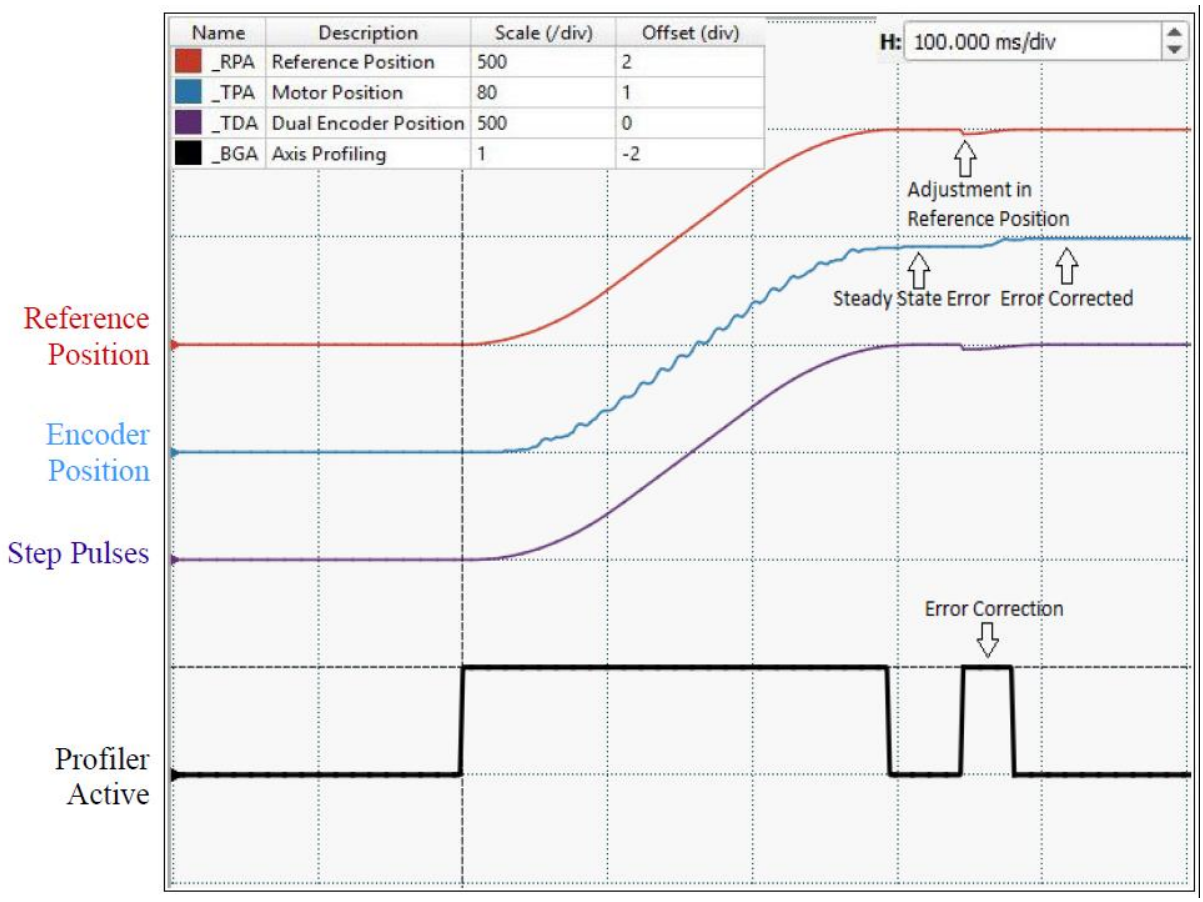

Abbildung 5 Stepper Position Maintenance Mode (SPM) – Betrieb mit Endlagekorrektur

Mikroschritt im Closed-Loop (CLS-Mode)

Wenn eine kontinuierliche Fehlerkorrektur bereits während der Bewegung erforderlich ist, bietet sich der CLS-Modus (Closed-Loop Microstepping) an. Abbildung 6 zeigt ein Schrittmotorsystem, das im CLS-Modus betrieben wird. Zusätzlich zur Referenzposition und Encoder-Position wird nun intern auf dem Controller ein Positionsfehler (grüne Linie) berechnet, der zur kontinuierlichen Anpassung der Schrittmotorposition verwendet wird. Es ist wichtig zu beachten, dass im CLS-Modus die Bewegung auf der Grundlage der Encoder-Position berechnet wird, aber es werden weiterhin Schrittimpulse vom Controller erzeugt, um den Schrittmotor anzutreiben. Das erzeugte Fehlersignal wird durch den CLS-Filter geleitet, der dann den Positionsfehler durch Anpassung der Schrittimpulse, die an den Schrittmotor ausgegeben werden, ausgleicht. Das geschieht bereits während eines aktiven Bewegungsprofils.

Die Mikroschritttechnik im Closed-Loop ist eine echte Betriebsart mit geschlossenem Regelkreis und stellt die optimale Nutzung eines Schrittmotors dar, der noch als Schrittmotor angetrieben wird. Der Betrieb mit geschlossenem Regelkreis birgt das Risiko der Instabilität, wenn der Regelkreis nicht richtig abgestimmt ist. Daher muss auf die Stabilität geachtet werden. Darüber hinaus ist dieser Modus immer noch leistungsmäßig ineffizient und hat im Vergleich zu einem klassischen Servosystem eine geringe Bandbreite. Die geringe Bandbreite verschlechtert sich weiter, wenn externe Schrittmotorantriebe von Drittanbietern mit kleiner Bandbreite im Stromregelkreis und mit nichtlinearen Eigenschaften verwendet werden.

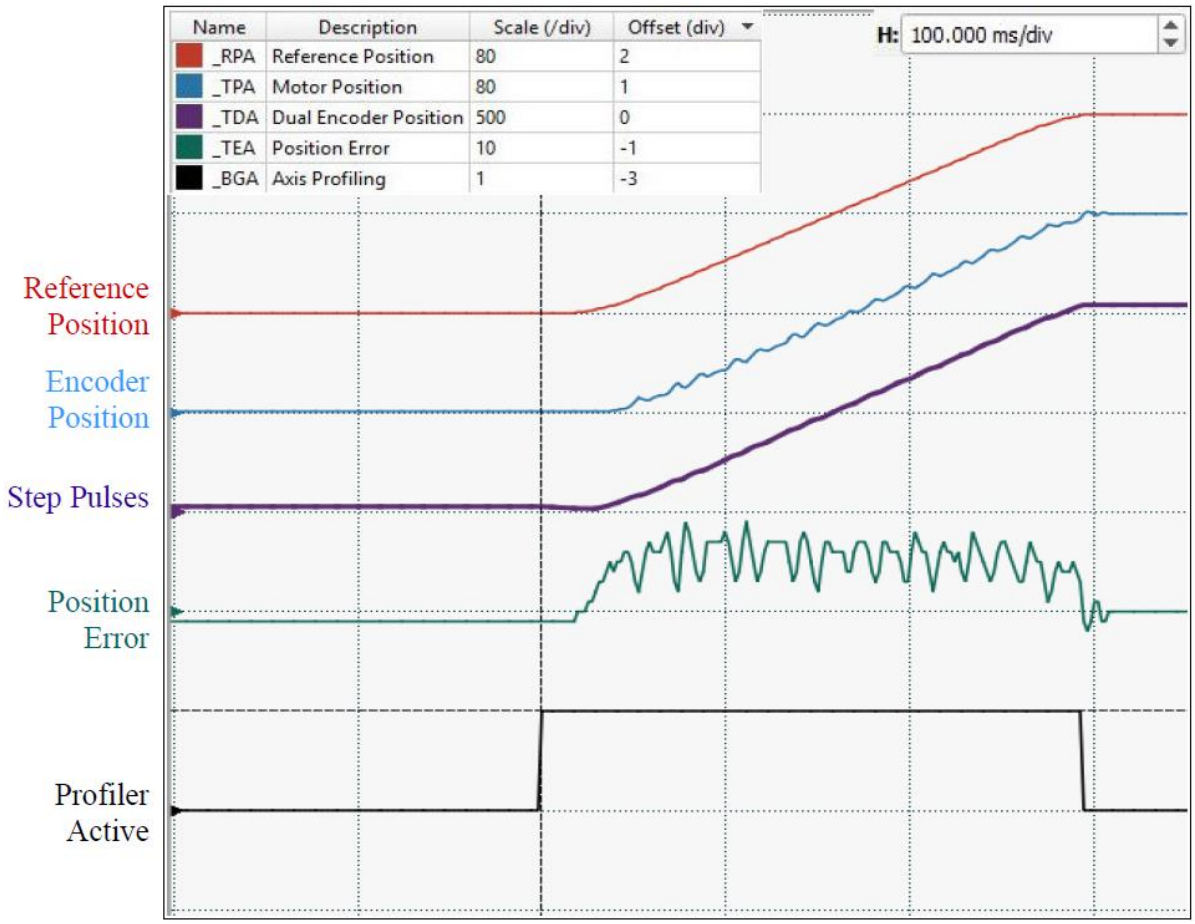

Abbildung 6 Closed-Loop Microstepping (CLS-Mode) – Betrieb im geschlossenen Regelkreis

Schrittmotor als 2-phasigen bürstenlosen Motor betreiben

Um die höchste Leistung zu erreichen, kann der Schrittmotor als 2-phasiger bürstenloser Servomotor behandelt werden. Der Strom zum Motor wird dann in Abhängigkeit vom Fehlersignal gesteuert, genau wie bei Standard-Servomotoren. Galil bezeichnet dies als bürstenlosen 2-Phasen-Modus oder 2PB. Abbildung 7 zeigt das Verhalten eines Schrittmotors, der in diesem Modus angetrieben wird. Statt der Schrittimpulse wird nun ein Drehmoment-Sollwertsignal (braune Linie) vom Controller erzeugt und an einen der internen Verstärker ausgegeben, um die Position des Motors zu steuern. Deutlich zu sehen ist der hier, wesentlich kleinere Positionsfehler im Vergleich zum CLS-Mode.

Der Betrieb eines Schrittmotors in diesem Modus verbessert die Bandbreite erheblich, was zu reduzierten Bewegungszeiten führt. Ein im 2PB-Modus angetriebener Schrittmotor ist analog zu einem klassischen Servomotor, der an ein Untersetzungsgetriebe gekoppelt ist. Da dieser Modus wie ein Standard-Servomotor arbeitet, kann der erweiterte Funktionsumfang der PID-Filter genutzt werden, einschließlich Notch-, Pol- und Feedforward-Filter. Um den Schrittmotor auf diese Weise anzutreiben, ist die Gestaltung des Verstärkers aufwendiger. Nur so wird der momentan erforderliche Strom an den Motor geliefert. Letztlich führt dies dazu, dass der Schrittmotor effizienter, also mit weniger Verlustleistung (Wärme), betrieben wird.

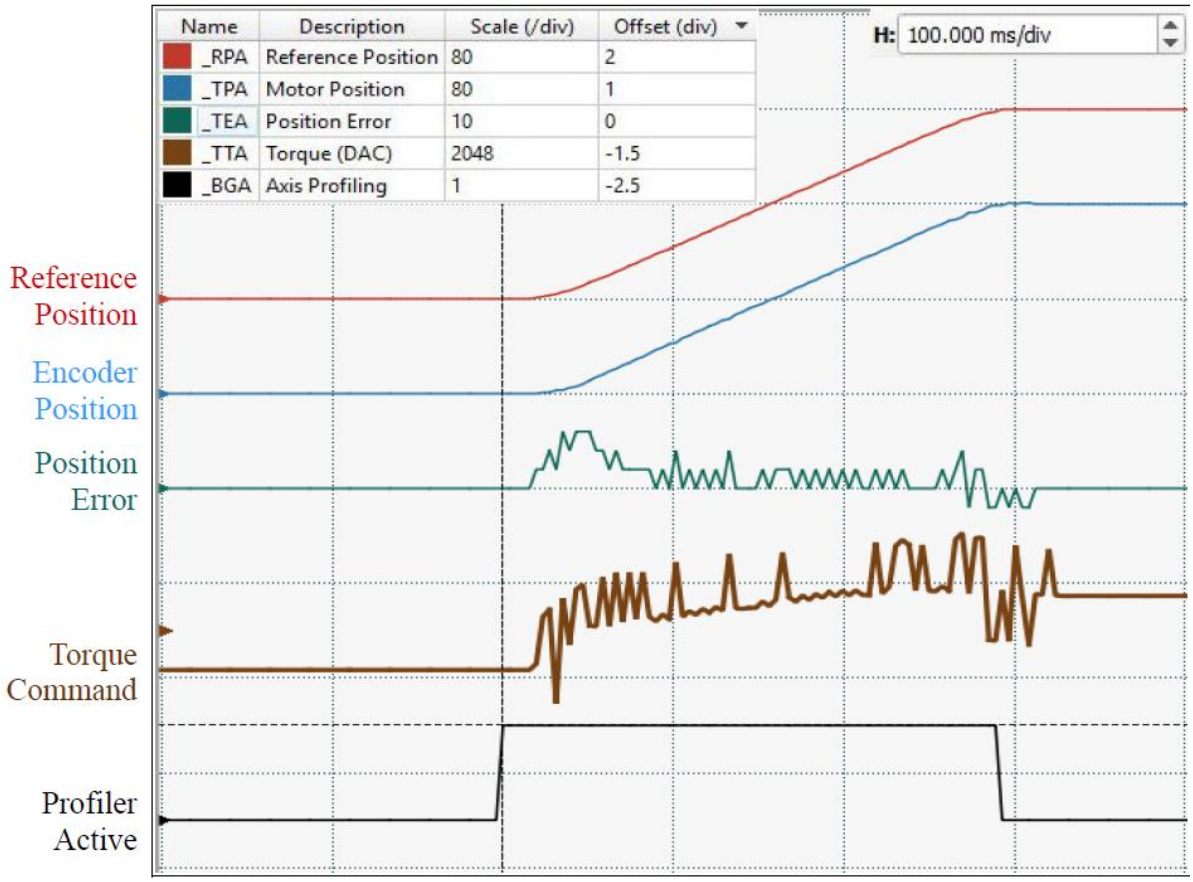

Abbildung 7 2-Phase Brushless Mode (2PB-Mode) - Betrieb als 2-phasiger Motor

Verfügbarkeit von 2PB

Regler	Achszahl	2PB-Modus	Anschluss für ext. Regler/Treiber
D3527	2	Vorhanden, mit MT4 einstellbar	Ja
D3547	4	Vorhanden, mit MT4 einstellbar	Ja

Schrittmotorsteuerung im geschlossenen Regelkreis

Durch die Nutzung von Galils Varianten der Schrittmotorsteuerung mit geschlossenem Regelkreis, können die verschiedenen Nachteile von Schrittmotoren überwunden werden. Die Endlagekorrektur kann für Ungenauigkeiten mit Schrittmotoren angepasst werden.

Im CLS-Modus kann die Position dynamisch mit Mikroschritten im geschlossenen Regelkreis angepasst werden und schließlich kann der Schrittmotor als bürstenloser 2-Phasen-Servo im 2PB-Modus betrieben werden, um die Leistung und Effizienz des Motors weiter zu erhöhen. Aufgrund der genannten Vorteile, ist der 2PB-Modus zu bevorzugen.

Wenn Sie Fragen dazu haben, welche Betriebsart für Ihre Anwendung geeignet ist, wenden Sie sich an unser Team. Wir beraten Sie gerne.

ACHSTRON Motion Control GmbH
Berner Feld 42
78628 Rottweil – Germany

T +49 741 174 29-0
F +49 741 174 29-90

Mail mail@achstron.de
www www.achstron.de