

Whitepaper



Flüsterleise **Schrittmotoren für alle**



TRINAMIC
MOTION CONTROL



ELEKTRONIK SERVICE GMBH

www.trinamic.com • www.mev-elektronik.com

”

Flüsterleise

Schrittmotortreiber für alle

Schrittmotoren werden vor allem wegen Ihrer großen Zuverlässigkeit bei niedrigen Kosten eingesetzt.

Diese Zuverlässigkeit wurde aber oft mit einer charakteristischen Geräusentwicklung erkaufte. Auch wenn die Zeiten, in denen Schrittmotoren im Voll- oder Halbschrittbetrieb spannungsgesteuert betrieben werden, schon lange vorbei sind, hängt dem Schrittmotor noch immer der Makel der Geräusentwicklung an. Um diesem Problem zu begegnen, hat TRINAMIC Schrittmotortreiber Bausteine entwickelt, die ohne zusätzlichen Entwicklungsaufwand und vor allem ohne zusätzliche Kosten die Geräusentwicklung auf ein Minimum reduzieren.

Inhalt

- Schrittmotoren in neuen Anwendungsfeldern
- Vom Vollschritt- bis zum Mikroschrittbetrieb
- Von „Unipolar Ungeregelt“ zu Bipolar mit Stromregelung
- Vom herkömmlichen Strom-Chopper zu stealthChop™
- Vergleichsmessung mit verschiedenen Regelverfahren
- Stromabsenkung zur Lautstärkereduktion
- Empfehlungen für ein akustisch (und thermisch) optimiertes Layout
- Fazit

Schrittmotoren in neuen Anwendungsfeldern

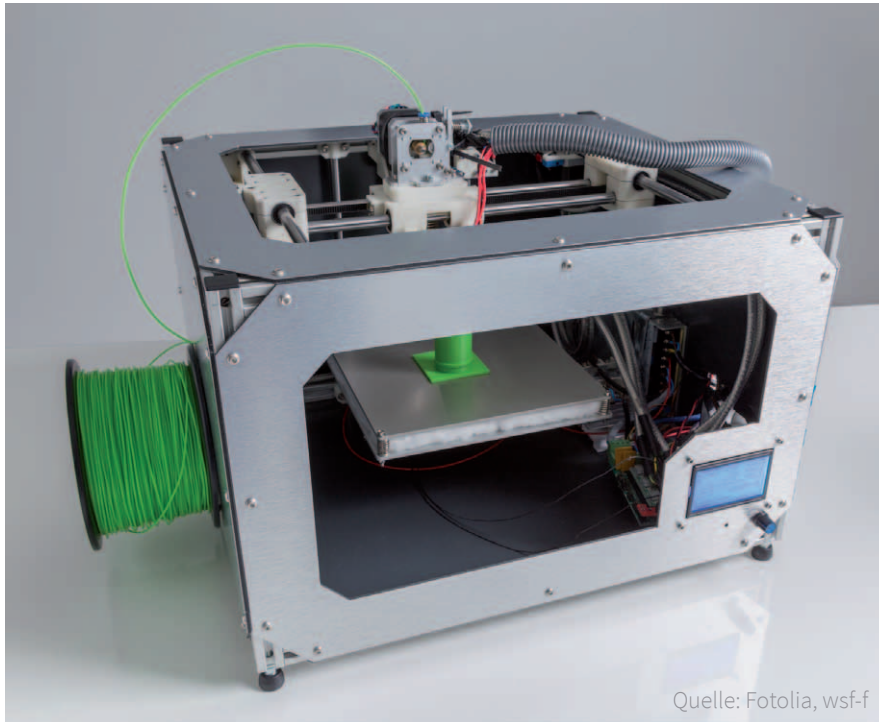
“

Um den Menschen herum werden immer mehr Aufgaben automatisiert. In vielen dieser Anwendungen werden Motoren eingesetzt. Besonders wenn diese Bewegungen in der Nähe des Menschen durchgeführt werden, gibt es erhöhte Anforderungen an die Geräuscentwicklung. Die einfachste Art der Motorisierung ist die Verwendung eines DC-Motors. Hier genügt es eine Spannung anzulegen und der Motor dreht sich. Ein DC-Motor ist sehr kostengünstig herzustellen, daher wird er in vielen Anwendungen eingesetzt. Allerdings hat er auch einige gravierende Nachteile: Ein DC-Motor hat bei niedrigen Geschwindigkeiten ein sehr niedriges Drehmoment. Daher muss für Anwendungen im unteren Drehzahlbereich ein Getriebe eingesetzt werden, das Kosten, Geräusche und Verluste verursacht und eine mechanische Schwachstelle bildet. Für Positionieraufgaben ist zudem eine Rückführungs-Einrichtung nötig, z. B. Potentiometer, Encoder, Resolver, die wiederum Kosten verursacht und die Zuverlässigkeit schwächt. Zur Kommutierung des Motors werden Schleifkohlen verwendet, die verschleifen und dabei Abrieb erzeugen. Funken, die bei der Kommutierung entstehen, erzeugen teilweise unerwünschte elektromagnetische Störungen (EMV).

Im Gegensatz dazu hat die Drehmomentkennlinie eines Schrittmotors den Maximalwert im Stillstand und fällt dann bei Steigerung der Geschwindigkeit ab. Daher kann er häufig als Direktantrieb ohne Getriebe verwendet werden. Eine Positionsrückführung ist in der Regel nicht nötig (open-loop). Ein Schrittmotor wird elektronisch kommutiert.

Kommt nun noch eine geringe Geräuscentwicklung als weiterer Vorteil hinzu, erschließen sich weitere Anwendungsfelder.

Ein gerade sehr stark wachsender Markt sind die 3D-Drucker, die dabei sind auch die Privathaushalte zu erobern. Da ein 3D-Druck sich über viele Stunden hinziehen kann und häufig über Nacht läuft, ist hier die Geräusentwicklung besonders kritisch. Auch andere Geräte wie Bürodrucker oder Kopierer sind hier zu nennen.



Quelle: Fotolia, wsf-f

Bild 1: 3D-Drucker

Ein weiterer stark wachsender Bereich ist die Haus- und Gebäudeautomation. Bewegliche Überwachungskameras (PTZ) sollen möglichst nicht hörbar sein. Das gleiche gilt für die geregelten Ausströmklappen einer zentralen Klima-/Lüftungsanlage.

Auch klassische Anwendungen wie die Laborautomation und Medizintechnik profitiert von lautlosen und vibrationsarmen Antrieben. Selbst in der Industrie ist die Geräusentwicklung z.B. bei Regelventilen ein Thema. Da mit den Geräuschen auch Vibrationen und damit Verschleißerscheinungen verringert werden, sind die neuen Technologien auch für herkömmliche Anwendungen sehr interessant.

Vom Vollschritt- bis zum Mikroschrittbetrieb

“

Der einfachste Schrittmotor besteht aus vier Spulen, von denen jeweils zwei in Reihe geschaltet und gegenüber angeordnet sind und einem drehbaren Magneten als Rotor. Die beiden in Reihe geschalteten Spulen nennt man „Phase“.

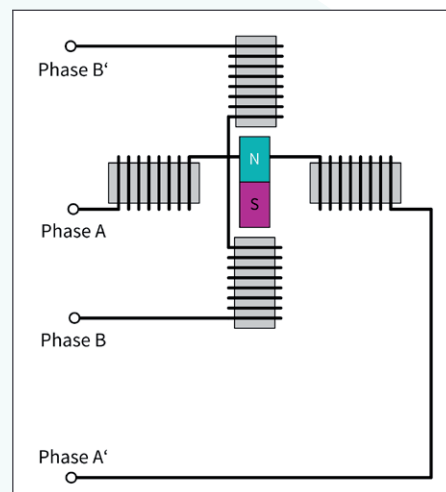


Bild 2: Einfachster Schrittmotor: 4 Spulen, 1 Magnet

Werden nun die beiden Phasen mit einem Strom beaufschlagt, bilden sich magnetische Pole an den Spulen und der Rotor-Magnet richtet sich auf eine stabile Position zwischen den zwei Phasen aus. Diese Position wird „Vollschrittposition“ genannt. Wird nun die Stromrichtung an einer der Phasen umgekehrt, dreht der Rotormagnet um 45° auf die nächste Vollschrittposition. Er macht einen „Schritt“.

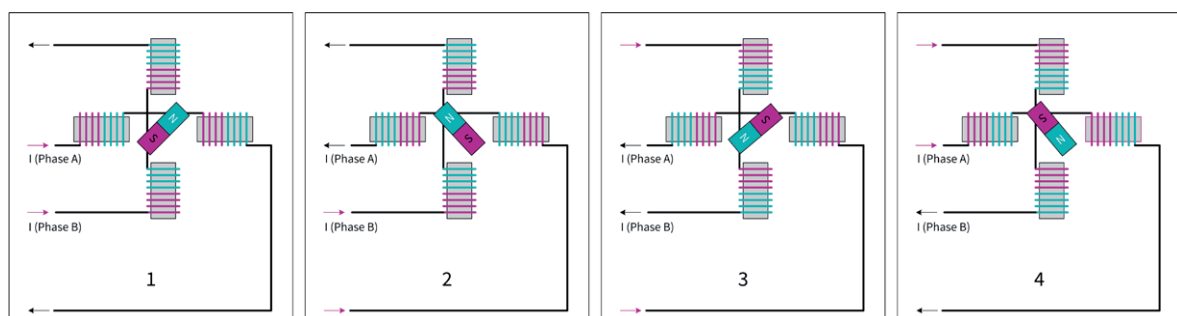


Bild 3a: Vollschritt-Positionen

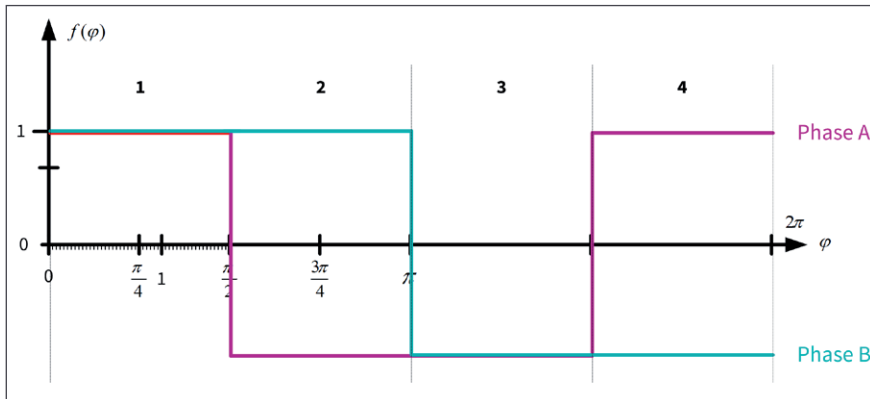


Bild 3b: Zeitdiagramm Vollschrittbetrieb

Nach vier Vollschritten ist eine Periode beendet. Bei dem einfachen 2-Phasen Schrittmotor aus dem Beispiel entspricht eine Periode mit 4 Schritten einer Umdrehung. In der Praxis werden in der Regel hochpolige Schrittmotoren mit bis zu 400 Schritten pro Umdrehung verwendet. Auch hier gibt es bei jedem vierten Vollschritt den gleichen elektrischen Zustand. Ein hochpoliger Schrittmotor hat also auf einer Umdrehung mehrere stabile Positionen. Daher kann es bei Überlast oder äußeren Einwirkungen zu Positionsverlusten „Schrittverlusten“ kommen.

Der Rotor des Schrittmotors bildet zusammen mit dem Stator ein Feder-Masse-System mit einer eigenen Resonanzfrequenz. Die Massenträgheit des Rotors bewirkt ein Einschwingen auf die gewünschte Position. Je größer die Schrittweite ist, umso höher sind die Über- und Unterschwingen.

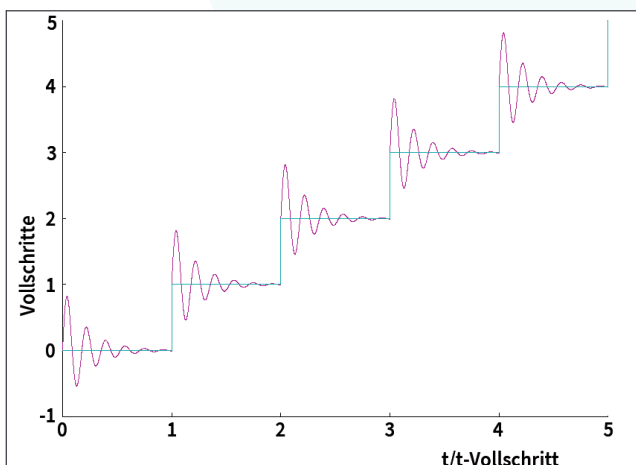


Bild 4: Einschwingverhalten eines Schrittmotors im Vollschrittbetrieb

Ein Schrittmotor baut Drehmoment auf, indem der Rotor und das elektrisch gesteuerte Magnetfeld des Stators um bis zu einem Vollschritt gegeneinander verdreht werden. Somit ist das Drehmoment des Systems abhängig vom Lastwinkel und damit von der Rotorposition. Das bedeutet wiederum, dass Abweichungen von der gewünschten Position auch Einschränkungen im gewünschten Drehmoment nach sich ziehen. Große Einschwingvorgänge wie sie besonders in der Nähe der Resonanzfrequenz auftreten, führen daher zu erheblichen Drehmoment-Einbrüchen.

Große Einschwingvorgänge wie sie besonders in der Nähe der Resonanzfrequenz auftreten, führen daher zu erhebliche Drehmoment-Einbrüchen. Überschreitet der Rotor beim Einschwingen einen Abstand von mehr als zwei Vollschritten von der eigentlichen Zielposition, springt er auf die nächste stabile Position um (Schrittverlust). Daher verhalten sich Schrittmotor-Antriebe im Vollschrittbetrieb nahe der Resonanzfrequenz des Systems teilweise unberechenbar.

Eine leichte Verbesserung dieses Verhaltens ist bereits im Halbschrittbetrieb gegeben. Hier wird zwischen zwei Vollschritten jeweils eine der Phasen stromlos geschaltet. So ergeben sich eine Verdopplung der Anzahl der Positionen und eine Halbierung der Schrittweite.

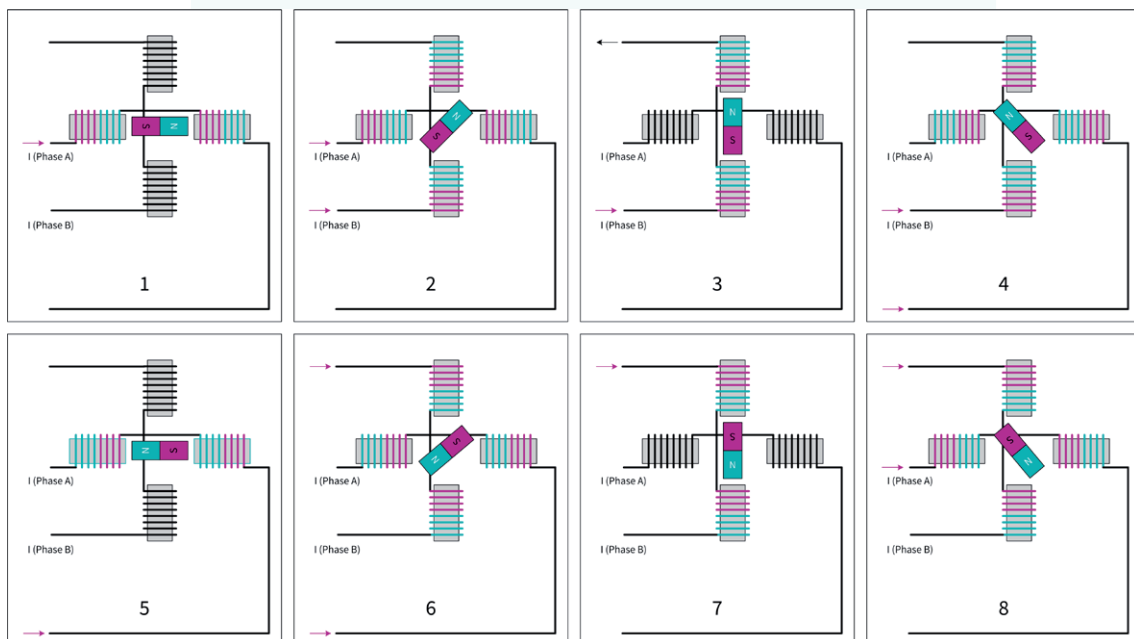


Bild 5a: Halbschrittpositionen

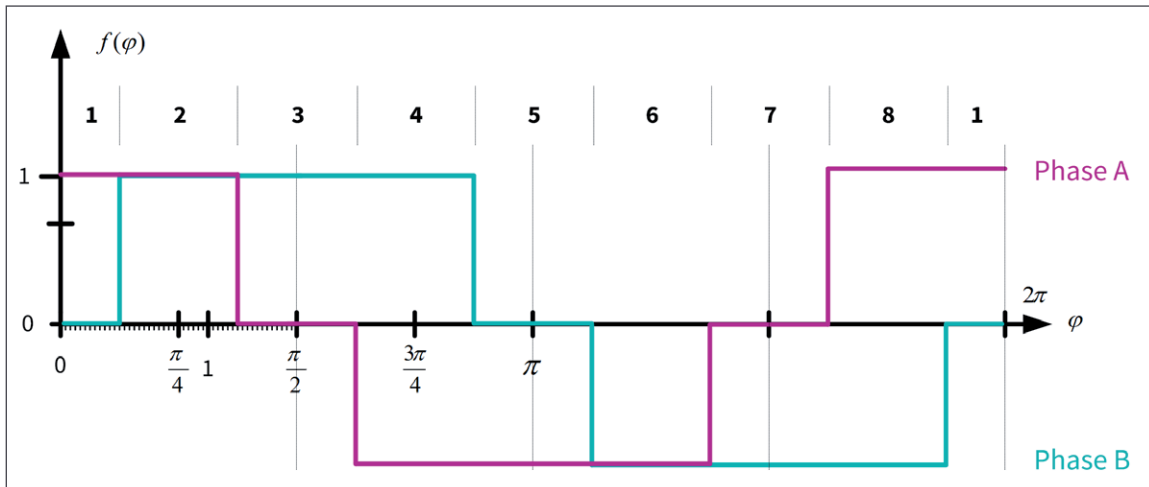


Bild 5b: Zeitdiagramm Halbschrittbetrieb

Das Optimum im Laufverhalten wird mit der Mikroschrittansteuerung erreicht. Hier werden die Phasen nicht nur ein- und ausgeschaltet, sondern mit verschiedenen Stromwerten beaufschlagt.

Dabei werden die beiden Phasen mit einem angenäherten, zueinander um 90° versetzten Sinus angesteuert. Ein Vollschritt wird dabei in kleinere Einheiten unterteilt. Diese werden „Mikroschritte“ genannt. Die Mikroschritt-Auflösung ist die Anzahl der Zwischenpositionen in die ein Vollschritt geteilt wird.

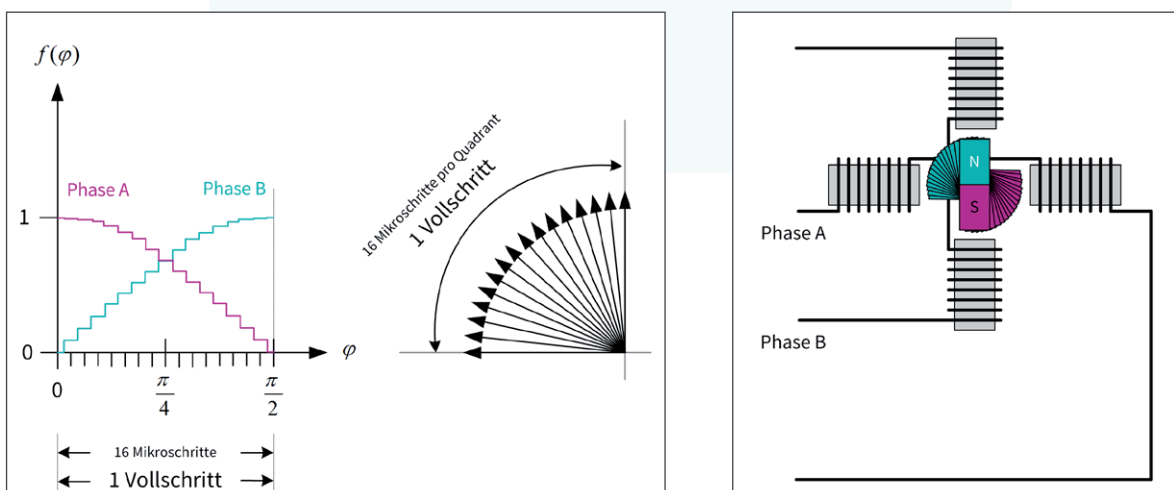


Bild 6: Mikroschrittbetrieb mit 1/16-Schritt.

Je höher die Mikroschrittauflösung ist, desto sauberer ist die theoretische Sinusform des Phasenstroms.

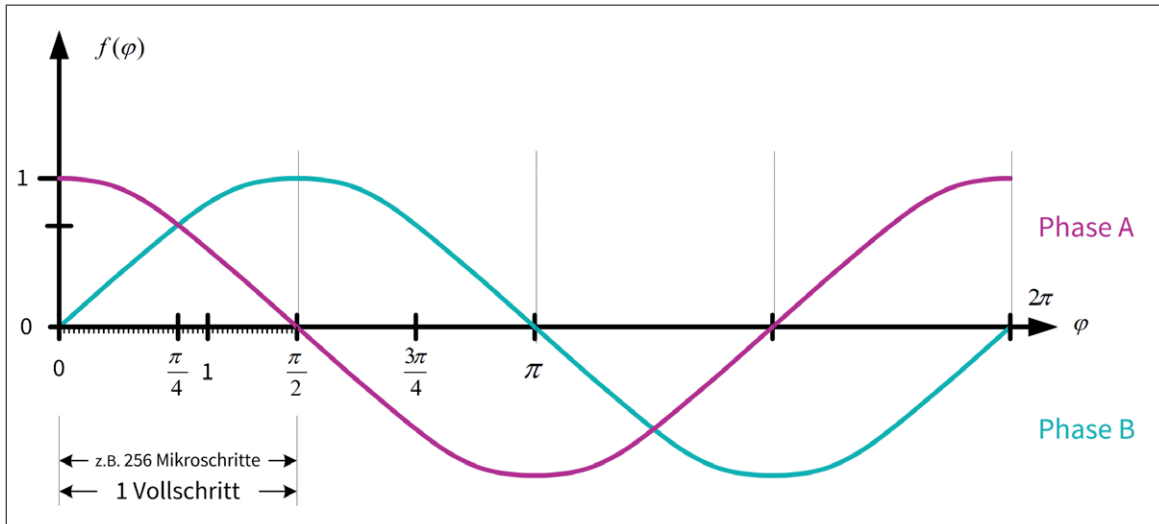


Bild 7: Zeitdiagramm von idealen Mikroschritt

Da der zurückgelegte Weg im Mikroschrittbetrieb im Vergleich zum Vollschrittbetrieb deutlich reduziert ist, sind auch die Einschwingeffekte deutlich geringer. In Bild 8 ist dargestellt, wie sich die Positionsabweichungen bei der Umschaltung von Vollschritt auf Mikroschritt deutlich reduzieren.

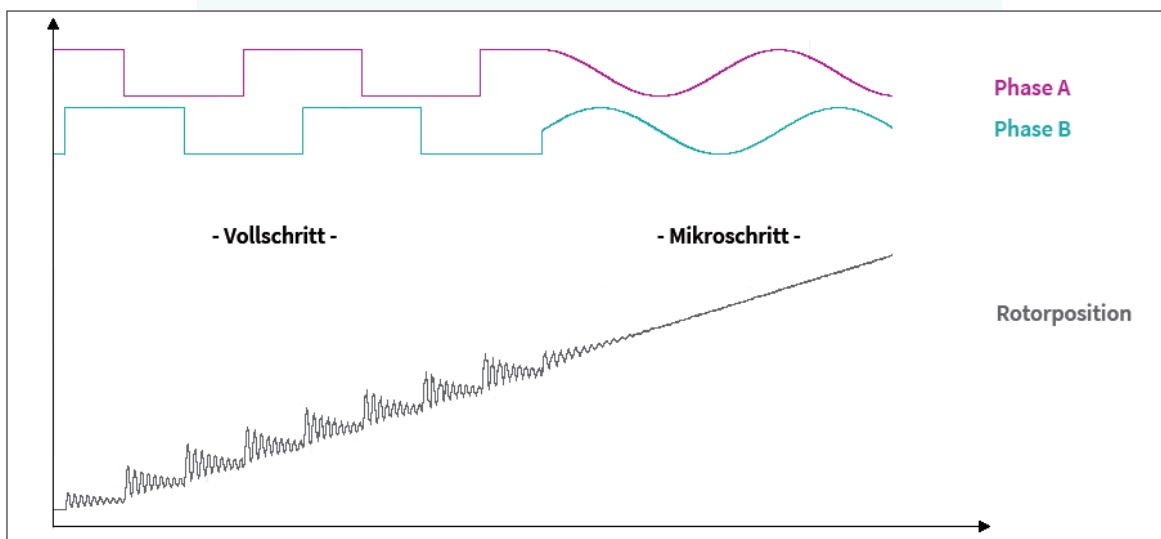


Bild 8: Einschwingverhalten Vollschritt vs. Mikroschritt

Der Stand der Technik bei integrierten Schrittmotor-Treiber-ICs ist derzeit eine Mikroschritt-Auflösung von 256. Die Vorgabe von sinusförmigen Sollwerten reicht in der Praxis aber nicht aus, um auch einen sinusförmigen Phasenstrom zu erhalten. Das Schalten von Induktivitäten sowie andere Störeffekte erfordern weitere Maßnahmen, um eine sehr hohe Laufruhe zu erhalten.

Von „Unipolar Ungeregelt“ zu Bipolar mit Stromregelung

In der Vergangenheit wurde häufig mit der unregelmäßig unipolaren Ansteuerung gearbeitet, bei der der Mittelabgriff der beiden Spulen einer Phase fest mit Masse verbunden und dann abwechselnd die Spulen auf Betriebsspannung geschaltet wurde.

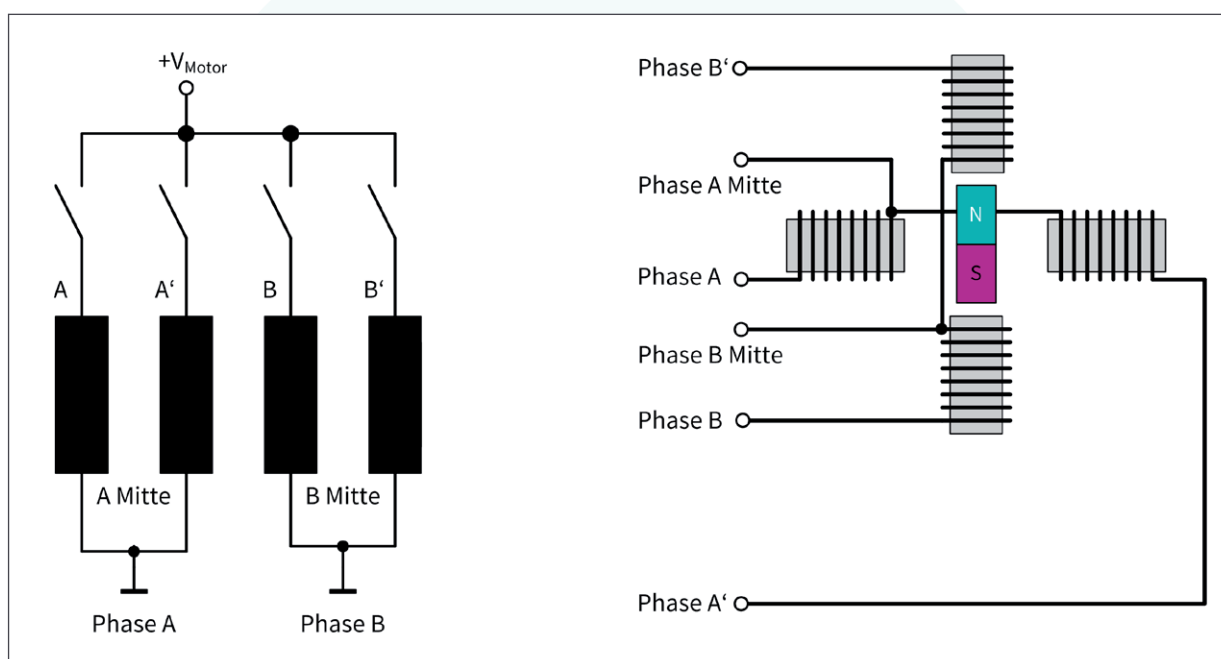


Bild 9: Ungeregelte unipolare Ansteuerung

Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass nur 4 Schalter zur Ansteuerung benötigt werden. Da aber immer nur eine halbe Phase bestromt wird, wird der Motor nie voll ausgenutzt.

Ein weiterer Nachteil ist die die generatorische Spannung, die beim Drehen des Motors erzeugt wird: die Gegen-EMK (Back-EMF). Diese ist umso höher je schneller der Motor dreht. Da sie der Betriebsspannung entgegen wirkt, sind die effektive Spannung und damit der Phasenstrom geringer je schneller der Motor dreht. Daher nimmt das Drehmoment in dieser Betriebsart bei steigender Drehzahl sehr schnell ab.

Aus diesem Grund werden heute bei Anwendungen, die etwas höhere Anforderungen haben, geregelte bipolare Treiberstufen verwendet. Hier kommt für jede Motorphase eine H-Brücke zum Einsatz. Der Phasenstrom wird über einen Widerstand gemessen und die Schalter – in der Regel MOSFETs – werden so mit einer PWM angesteuert, dass sich der gewünschte Phasenstrom einstellt.

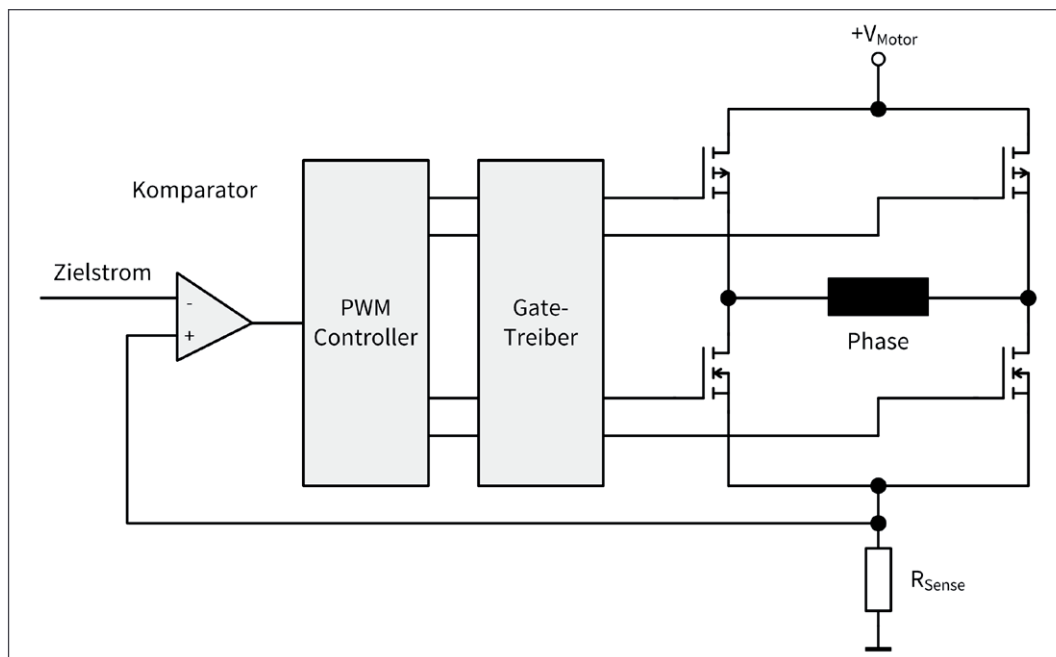


Bild 10: Geregelte bipolare Ansteuerung mit H-Brücke

Der gewünschte Motorstrom wird demnach eingepreßt und ist damit nicht mehr direkt abhängig von der Spannung. Die steigende Gegen-EMK bei zunehmender Drehzahl hat so einen deutlich geringeren Einfluss und die Drehmomentkurve fällt deutlich langsamer ab. Diese PWM-Stromregelung wird auch Chopper genannt. In der Praxis gibt es verschiedene Chopper-Varianten, die den Strom unterschiedlich regeln.

Da beim Schrittmotor Induktivitäten geschaltet werden, in denen der Stromfluss nicht beliebig schnell verändert werden kann, verwenden die verschiedenen Chopper-Varianten unterschiedliche Mechanismen um dem Rechnung zu tragen.

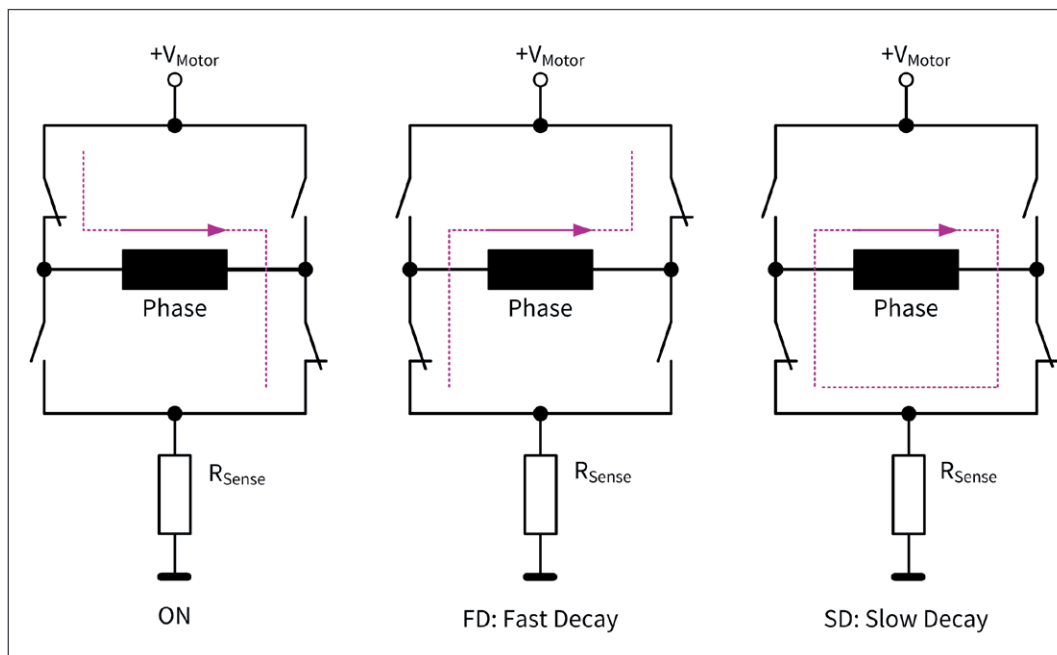


Bild 11: Chopper-Zustände

Im ON-Zustand werden die MOSFETs so angesteuert, dass der Strom in der gewünschten Richtung durch die Motorphase fließt. Beim Ausschalten gibt es dann die Möglichkeit die Spule möglichst schnell zu entstromen, indem die Brücke umgepolt wird (Fast Decay). Soll der Strom in der Spule möglichst langsam abnehmen, werden die beiden unteren Schalter geschlossen, so dass der Strom zirkulieren kann (Slow Decay).

Chopper-Varianten, die beide Ausschalt-Modi verwenden werden Mixed-Decay-Chopper genannt. Stellen sich die Anteile automatisch ein, handelt es sich um Automatic-Mixed Decay.

Es gibt Chopper bei denen die Schaltfrequenz konstant ist und sich das Tastverhältnis ändert. Bei anderen Varianten ist die Ausschaltzeit konstant und die Frequenz ist variabel.

Bei vielen heute auf dem Markt verfügbaren Treibern wird ein Mixed-Decay-Chopper mit konstanter Ausschaltzeit (constant T_{off}) verwendet.

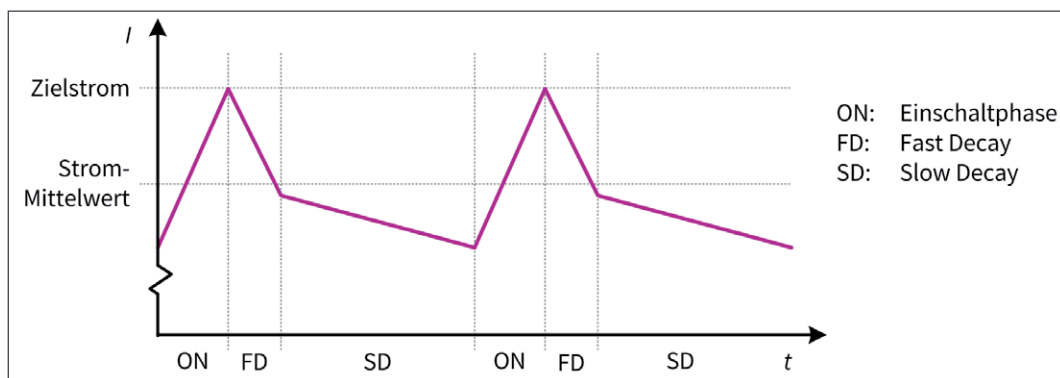


Bild 12: Mixed-Decay-Chopper mit konstanter Ausschaltzeit

Die Einschaltphase (ON) dauert so lange, bis der gewünschte Zielstrom erreicht ist. Danach erfolgt eine Fast Decay-Phase, gefolgt von einer Slow Decay Phase. Wie aus dem Bild 13 zu ersehen ist, ergibt sich ein Durchschnittsstrom, der stets geringer als der Zielstrom ist. Der Stromripple ist nicht symmetrisch.

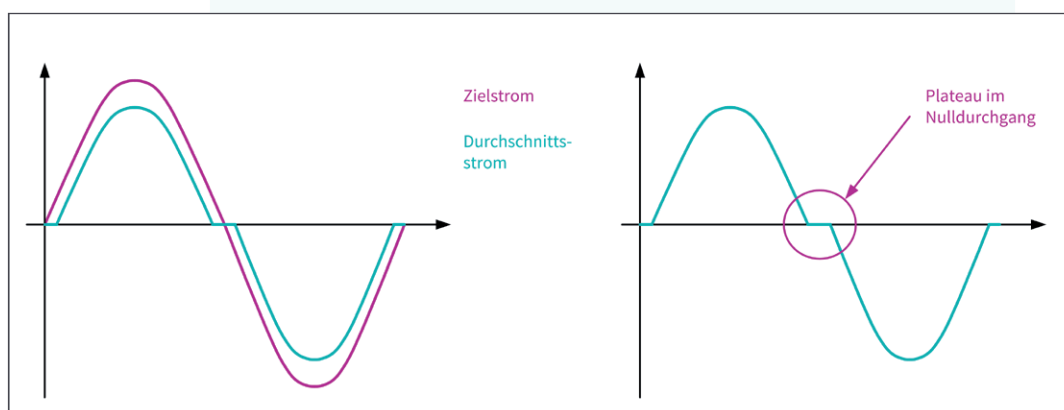


Bild 13: Unsauberer Nulldurchgang beim Mixed-Decay-Chopper mit konstanter Ausschaltzeit

Der Effekt ist ein unsauberer Nulldurchgang. Bei niedrigen Geschwindigkeiten wird dies sogar in der Bewegung sichtbar: Der Motor macht knapp zwei Vollschrte und bleibt dann kurz stehen. Bei mittleren Geschwindigkeiten verursacht dies ein hörbares Brummen und Vibrieren des Motors.

Bei höheren Geschwindigkeiten kommt häufig die Gegen-EMK zum Tragen, die die fallende Flanke der Sinuswelle deutlich deformiert, wenn die Mixed-Decay Einstellungen nicht optimiert sind.

Das von TRINAMIC patentierte spreadCycle™ Chopper Verfahren bietet hier eine Vielzahl von Verbesserungen.

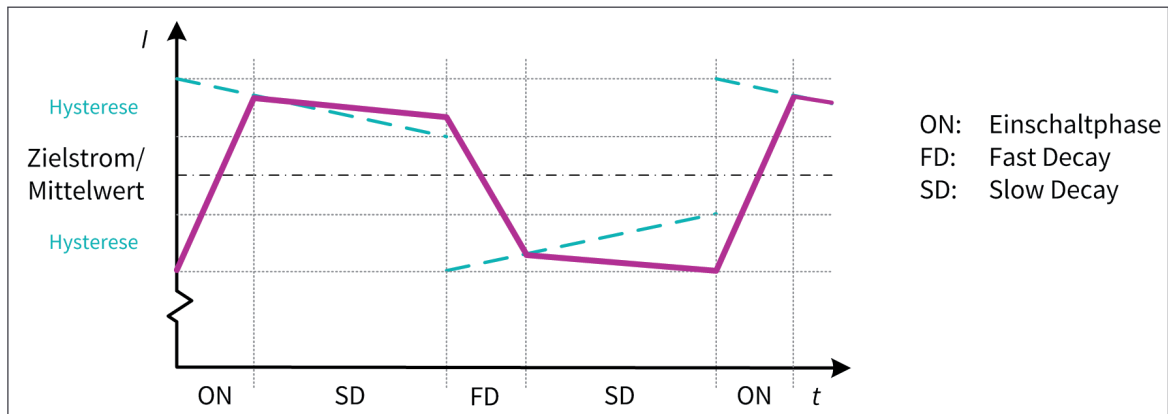


Bild 14: spreadCycle™ Hysterese Chopper mit konstanter Ausschaltzeit

Hier folgt auf die Einschaltphase erst Slow-Decay, dann Fast Decay gefolgt von einer weiteren Slow-Decay-Phase. So ergibt sich ein symmetrischer Stromripple. Der Durchschnittsstrom entspricht dem Zielstrom. Auf Grund der einstellbaren Hysterese-Punkte, optimiert sich der Fast-Decay-Anteil von selbst, so dass stets ein sauberer sinusförmiger Phasenstrom erreicht wird.

Weiterhin trägt der somit möglichst geringe Fast-Decay Anteil dazu bei, dass der Motor nicht unnötig durch Stromrippel erhitzt wird. Ein sauber regelnder Chopper ist die Voraussetzung für eine sinnvolle Verwendung von hohen Mikroschrittauflösungen. Versuche haben gezeigt, dass die Qualität des Choppers wichtiger für die Laufruhe ist als die Mikroschrittauflösung. Ein Motor, der mit 16 Mikroschritten und spreadCycle betrieben wird, ist bereits ruhiger und vibrationsärmer als mit 256 Mikroschritten und einem nicht optimierten Mixed-Decay Chopper mit konstanter Ausschaltzeit.

Zur Gegenüberstellung wurden Messungen mit drei marktüblichen Treibern gemacht. Verwendet wurden Evaluationboards in der ausgelieferten Grundeinstellung.

Getestet wurde unter den folgenden Rahmenbedingungen:

- **Motorspannung: 24V**
- **Phasenstrom: 1A (rms)**
- **NEMA 17 Hybrid-Schrittmotor : QSH4218-47-20-044**

Getestet wurden jeweils mit der höchstmöglichen Mikroschrittauflösung:
 TRINAMIC TMC262: 256, Treiber A: 16, Treiber T: 32 [Mikroschritte / Vollschritt]



Bild 15: Messwert-Matrix TMC26x, Treiber A & Treiber T

Bei Treiber A fällt bei den meisten Geschwindigkeiten eine deutliche Verzerrung der Sinuswelle auf. Diese sind auf ein nicht optimales Mixed-Decay zurückzuführen.

In der Vergrößerung sind bei Treiber A die Mikroschritt-Stufen deutlich zu erkennen.

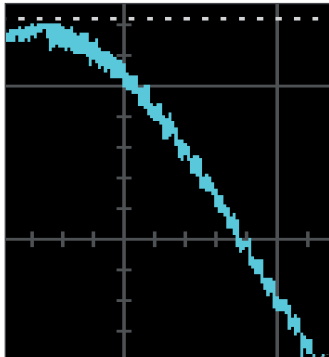


Bild 16: Vergrößerung Treiber A bei 114rpm

Bei Treiber T fallen der hohe Stromripple sowie der unsaubere Nulldurchgang auf. Der TRINAMIC TMC26x mit spreadCycle Chopper erzeugt bei allen Geschwindigkeiten den saubersten Sinus.

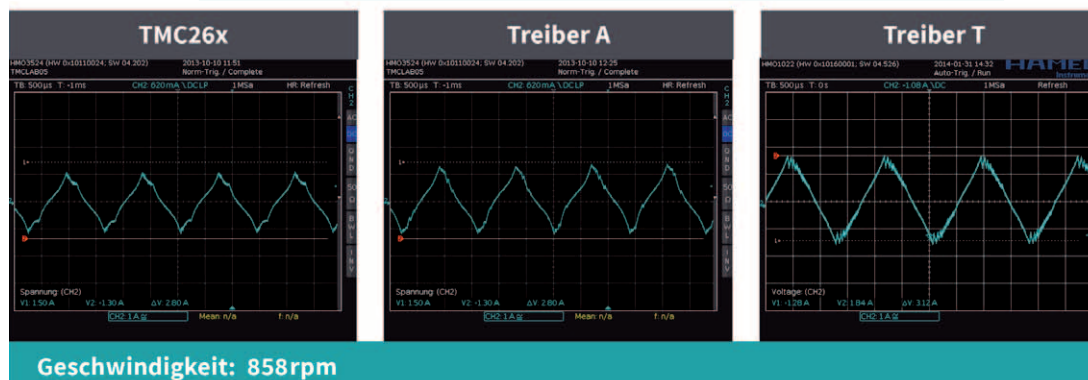


Bild 17: Messwerte bei 858rpm - TMC26x, Treiber A & Treiber T

Bei der höchsten Geschwindigkeit (858 rpm) sind bei allen Treibern die Stromkurven verzerrt. Dieses ist normal, da die Treiber auf Grund der Gegen-EMK (Back-EMF) den Zielstrom nicht erreichen können. Durch Erhöhung der Betriebsspannung würde sich die Kurve wieder einer Sinusform annähern.

Sämtliche Abweichungen von der idealen Sinuswelle machen sich in der Praxis durch Vibrationen und damit durch Geräuschentwicklung bemerkbar!

In vielen Anwendungen ist bereits durch die Verwendung des spreadCycle-Choppers ein zufriedenstellender Geräuschpegel erreichbar. Der spreadCycle Chopper bietet zudem die Möglichkeit hilfreiche Funktionen wie die sensorlose Lasterkennung stallGuard2 oder die sensorlose lastabhängige Stromanpassung coolStep zu nutzen.

Vom herkömmlichen Strom-Chopper zu stealthChop™



Das grundsätzliche Verfahren des Strom-Choppers hat jedoch seine Grenzen. Prinzip bedingt hat das Verfahren durch Stromripple Verzerrungen der Sinusform und kann daher nicht absolut geräuschlos sein.

Ideal ist die Ansteuerung mit einem reinen Analogsignal, jedoch haben die Verstärker hierfür eine viel zu hohe Verlustleistung. Vereinzelt wird mit solchen Verstärkern gearbeitet, z.B. bei Elektronenmikroskopen, wo bereits die geringsten externen Störungen den eigentlichen Messwert verfälschen.

Ebenfalls sehr gute Ergebnisse erzielt der Spannungsgesteuerte Betrieb. Hier wird ähnlich wie beim Ungeregelten Unipolaren Betrieb die Spannung vorgegeben und der Motorstrom stellt sich über den komplexen Wicklungswiderstand ein. Wird diese Spannung über eine PWM variiert, ist ebenfalls Mikroschrittbetrieb möglich. Es gibt einige wenige integrierte Treiber auf dem Markt, die nach diesem Prinzip arbeiten. Der Nachteil ist auch hier, dass es keine Strommessung und -regelung gibt. Das bedeutet, dass der Treiber genau auf den komplexen Motorwiderstand und der Betriebsspannung abgestimmt werden muss. Auch kann die Gegen-EMK nicht ausgeglichen werden. Daher ist diese Betriebsart nur für niedrige Geschwindigkeiten geeignet.

Unter der Bezeichnung stealthChop hat TRINAMIC den Spannungsgesteuerten Betrieb verbessert und mit einer Stromregelung kombiniert. Dadurch kann sich das System selbst auf Motor und Betriebsspannung einstellen und die Gegen-EMK bei steigender Geschwindigkeit ausgleichen.

Das Ergebnis ist eine ähnliche Drehmomentkurve wie im Strom-Chopper-Betrieb.

Da die Schaltfrequenzen weit oberhalb des hörbaren Bereiches liegen und die Sinuskurve kaum Verzerrungen aufweist, ist diese Betriebsart weitestgehend geräuschlos. Lediglich Geräusche von mechanischen Quellen wie Kugellager, Riemenantriebe oder Getriebe sind noch hörbar.

Beim stealthChop-Verfahren wird während einer Motorbewegung eine Strommessung pro Vollschritt vorgenommen. Bei einer typischen Beschleunigung dauert es in etwa 10 Vollschritte, bis der Strom nachgeregelt ist. Dies bedeutet, dass es im Vergleich zum Strom-Chopper-Betrieb eine leichte Reduzierung der Dynamik gibt.

Für neue Treibergenerationen wurde die Technologie zu stealthChop2 weiterentwickelt. Hier werden bei der ersten Fahrt der Innenwiderstand und die Gegen-EMK-Konstante des Motors gemessen und gespeichert. Mit diesen Daten wird der Strom sofort nachgeregelt, so dass er sich bei der Beschleunigung nicht mehr ändert. Der Motor wird immer optimal bestromt.

Für einen Vergleich wurde ein Motor mit stealthChop und spreadCycle betrieben.

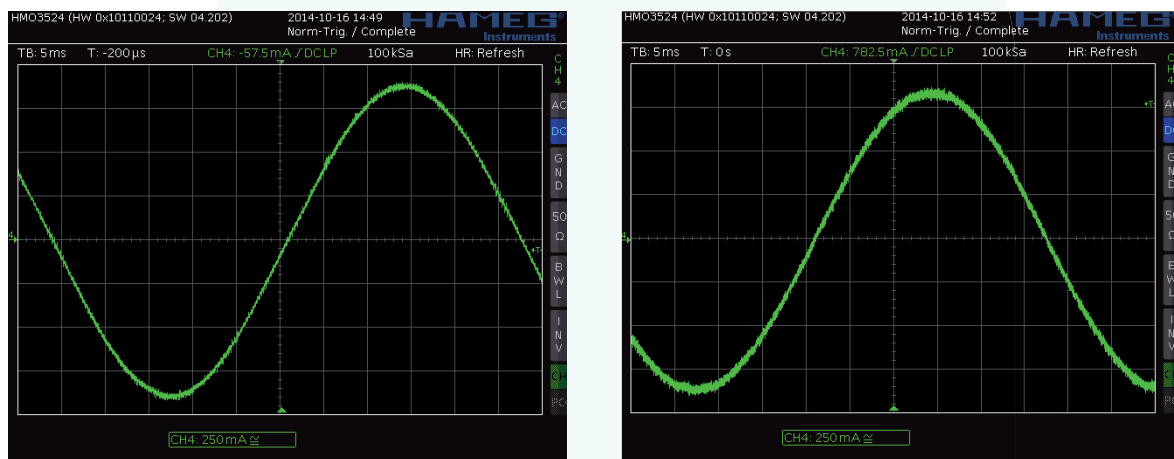


Bild 18: Phasenstrom bei stealthChop™ und spreadCycle™

Beim Phasenstrom ist bei spreadCycle lediglich ein etwas größerer Ripple zu erkennen. Anders sieht dies in der Betrachtung der einzelnen Chopperzyklen aus.

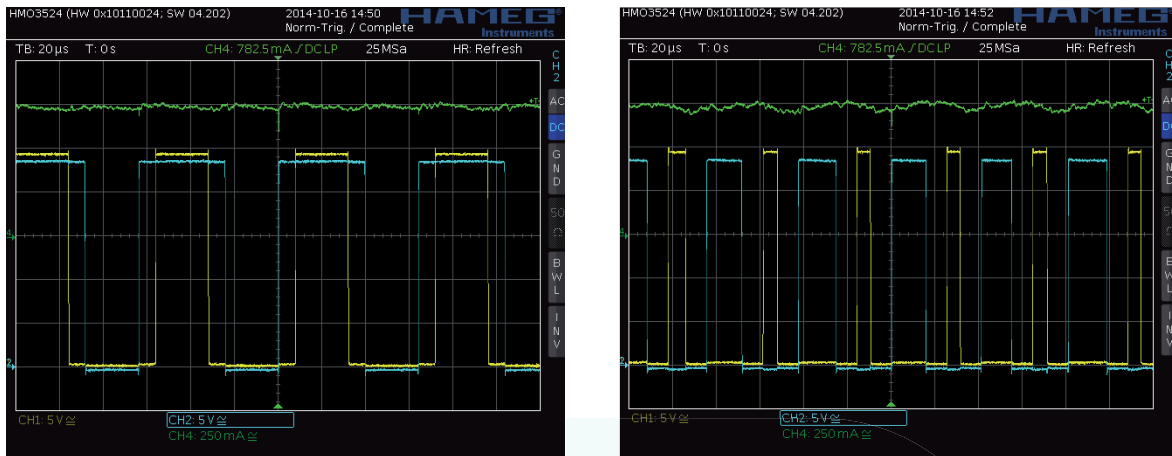


Bild 19: Chopper-Zyklen bei stealthChop™ und spreadCycle™

Bild 19 stellt den Spulenstromverlauf (grün) sowie die zugehörigen Ausgangsspannungen (gelb, blau) an den Spulenanschlüssen bei stealthChop und spreadCycle gegenüber. Der Motor ist im Stillstand. stealthChop zeigt einen viel geringeren Stromripple als spreadCycle, da prinzipbedingt keine fast-Decay-Zyklen erforderlich sind, d.h. der Treiber wechselt nur zwischen ON und Slow-Decay. Beim zyklensbasiert regelnden Chopper spreadCycle sieht man, dass aufgrund von leichtem Messrauschen die Zyklendauer von einem Zyklus zum nächsten leicht variiert, während stealthChop ein absolut gleichmäßiges Signal liefert.

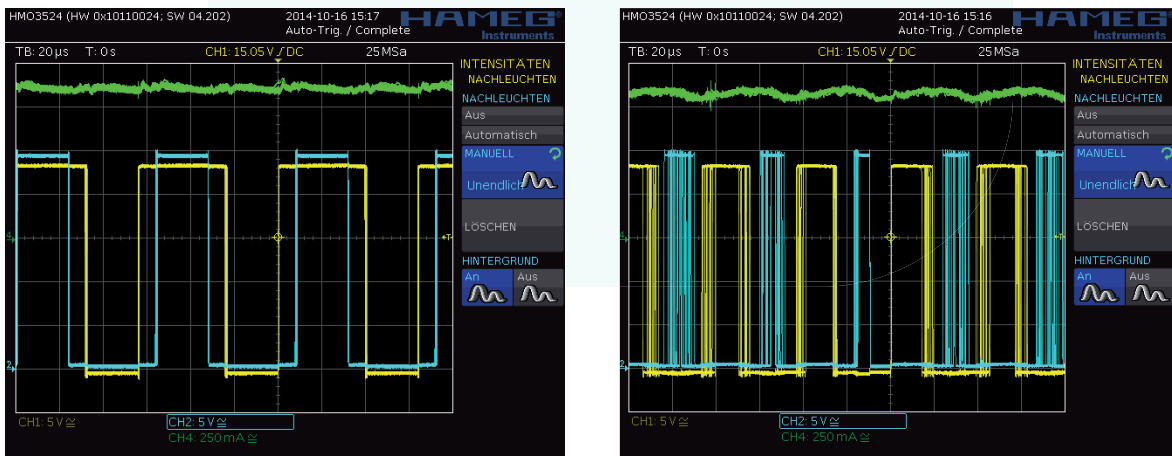


Bild 20: Jitter bei stealthChop™ und spreadCycle™

Bei spreadCycle wird der Strom während jedes Chopper-Zyklus gemessen und der Zielstrom angepasst. Bereits Störungen von wenigen Millivolt, wie sie in fast jedem komplexen System

zu finden sind, verursachen Stromänderungen und damit eine Änderung der Chopperfrequenz. Dieser Jitter kann auf Grund von Magnetostraktion im Stator zu zirpenden oder pfeifenden Geräuschen führen.

Im Gegensatz dazu arbeitet stealthChop mit einer festen Chopperfrequenz und Änderungen werden lediglich durch Variation des Stromsollwertes verursacht.

Vergleichsmessung mit verschiedenen Regelverfahren

“

Um zu zeigen, wie sich die verschiedenen Ansteuerungsarten auf die Drehmomentkurve eines Schrittmotors auswirken, wurden Testreihen auf einem Motorprüfstand durchgeführt. Als Treiber wurde der TRINAMIC TMC5130 verwendet, der die Chopper-Varianten stealthChop, spreadCycle und Automatic-Mixed-Decay mit konstanter Ausschaltzeit beherrscht.

Es ist wichtig zu verstehen, dass es sich bei dieser Messung nur um ein Beispiel handelt. Der mechanische Aufbau (das Feder-Masse-System) beeinflusst die Messung erheblich. Daher sind Messungen mit unterschiedlichen Aufbauten nicht direkt miteinander zu vergleichen. Dies ist bei der Bewertung der von den Herstellern angegebenen Drehmomentkurven zu beachten. Das Verhalten in der praktischen Applikation ist dann noch einmal anders.

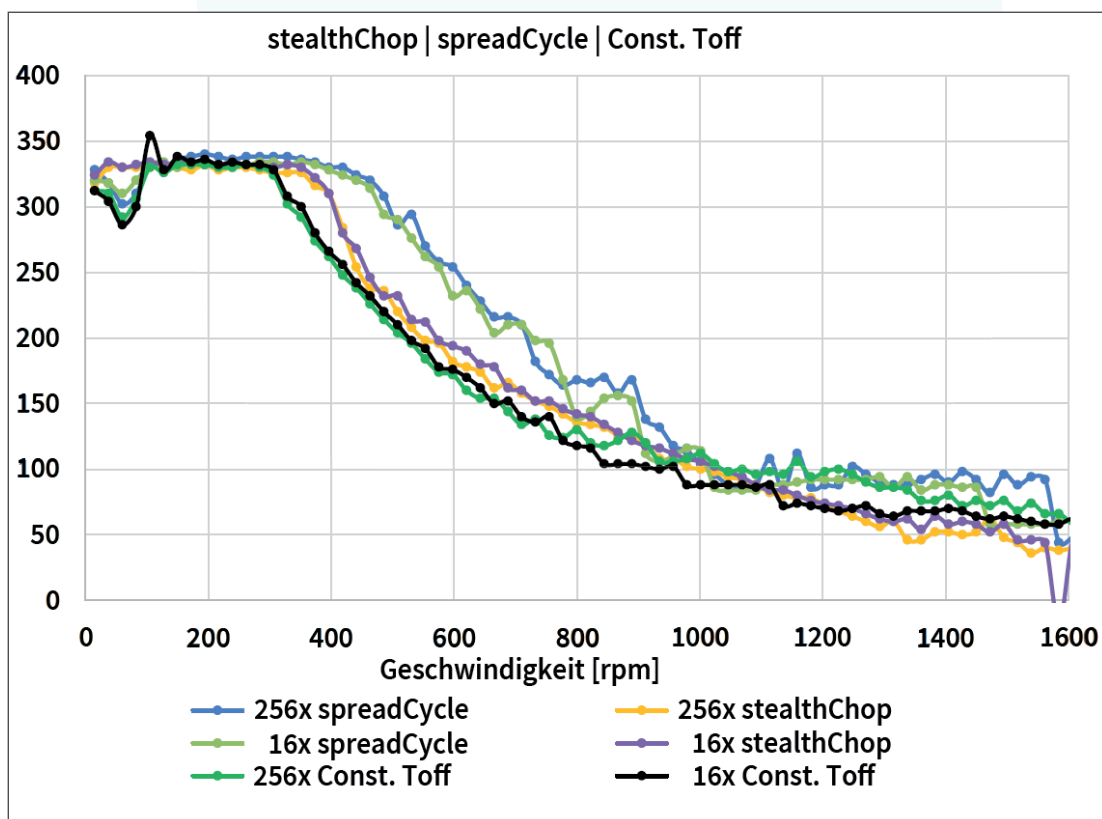


Bild 21: Drehmomentkurven bei verschiedenen Ansteuerungen

Im unteren Drehzahlbereich, wo der Motor seine Eigenresonanzen hat, ist das Drehmoment mit stealthChop am höchsten und hat keine signifikanten Einbrüche. Im mittleren und hohen Drehzahlbereich bietet spreadCycle die besten Ergebnisse. Dies liegt daran, dass ein spannungsgesteuerter Chopper Systemresonanzen schlechter bedämpfen kann als ein Chopper wie spreadCycle, der in jedem Zyklus nachregelt. Die Mikroschrittauflösung hat allenfalls punktuell Auswirkung auf das Drehmoment. Es spricht also nichts dagegen, immer die volle Mikroschrittauflösung von 256 zu verwenden. Die TRINAMIC Treiber haben einen eingebauten Mikroschritt-Vervielfacher (microPlyer™), der intern Zwischenschritte generiert, um auch bei niedrigeren Eingangsaufösungen 256 Mikroschritte auszugeben.

Um die jeweiligen Drehmomentvorteile von stealthChop und spreadCycle zu nutzen, kann es sinnvoll sein, den Choppermodus bei einer bestimmten Geschwindigkeit umzuschalten. Bei höheren Geschwindigkeiten überwiegen meistens Geräusche, die von der Mechanik stammen, daher ist die Laufruhe von stealthChop nicht unbedingt erforderlich. In Anwendungen mit Riemenantrieben hat sich jedoch gezeigt, dass der Riemen das System so stark bedämpft, dass stealthChop seine Vorteile auch im Bereich höherer Drehzahlen ausspielen kann.

Ein weiterer Grund bei höheren Geschwindigkeiten auf spreadCycle umzuschalten, sind zusätzliche hilfreiche Funktionen wie die sensorlose Lasterkennung stallGuard2™ oder die sensorlose lastabhängige Stromanpassung coolStep™. Diese Verfahren können nur im Zusammenhang mit spreadCycle genutzt werden.

Die intelligenten Schrittmotortreiber von TRINAMIC verfügen über die sensorlose Lasterkennung stallGuard2. Damit kann die aktuelle Belastung des Motors sehr fein bestimmt werden. Die lastabhängige Stromanpassung coolStep verwendet diesen Wert und senkt in Abhängigkeit der Belastung des Motors den Strom ab. So bekommt der Motor nur den Strom, den er zum Erreichen der aktuellen Last benötigt. Der Motor bekommt weniger Energie – die Geräuschentwicklung wird reduziert.

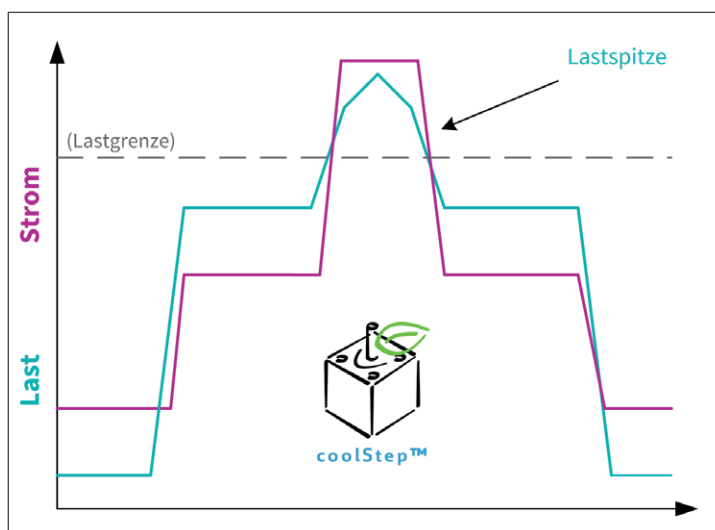


Bild 23: Strom im Verhältnis zur Last mit coolStep™

Für die Nutzung von stallGuard2 und coolStep ist zur Parametrierung ein serielles Interface nötig. Daher sind diese Funktionen den intelligenten „Smart-Treibern“ vorbehalten.

Auch für die einfachen Treiber mit Takt- & Richtungs-Steuerung bietet TRINAMIC eine Funktion, um den Strom zu reduzieren. Im Stillstand kann der Motorstrom automatisch auf z.B. 1/3 reduziert werden. Dies spart bis zu 70% Energie und verringert die Systemerwärmung drastisch.

Empfehlungen für ein akustisch (und thermisch) optimiertes Layout

“

Wie bereits oben erwähnt ist eine optimale Stromregelung die Voraussetzung für einen geräuscharmen Betrieb. Daher ist besondere Aufmerksamkeit bei der Anbindung der Messwiderstände und der Masseverbindungen gefordert.

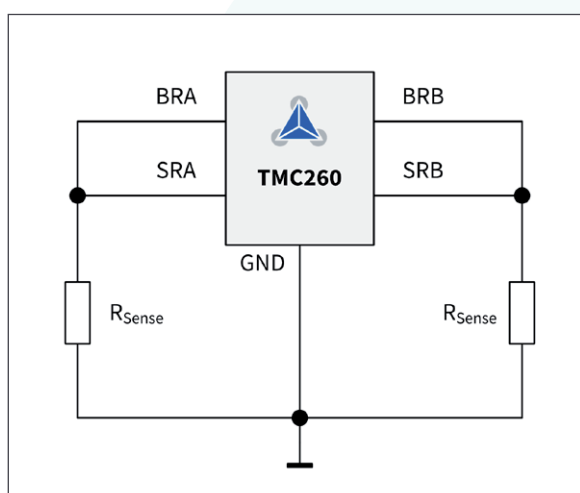


Bild 24: Ideale Schaltung

Die abgebildete ideale Schaltung zeigt nur den Treiber, die Messwiderstände R_{Sense} und die Masseverbindungen. In der Praxis haben die parasitären Eigenschaften von Leiterbahnen und Komponenten Einfluss auf die Präzision der gemessenen Spannung. Beispielhaft wird der TMC260 betrachtet. Die grundlegenden Überlegungen gelten jedoch für alle Schrittmotortreiber.

Im folgenden Beispiel werden nur die parasitären Widerstände betrachtet. Da der Strom-Chopper den Motorstrom innerhalb weniger 10ns umschaltet, spielt auch das dynamische Verhalten der Schaltung eine erhebliche Rolle und ist entscheidend für die Qualität des Chopperbetriebs. Daher sind in der Praxis auch die parasitären Induktivitäten so niedrig wie möglich zu halten.

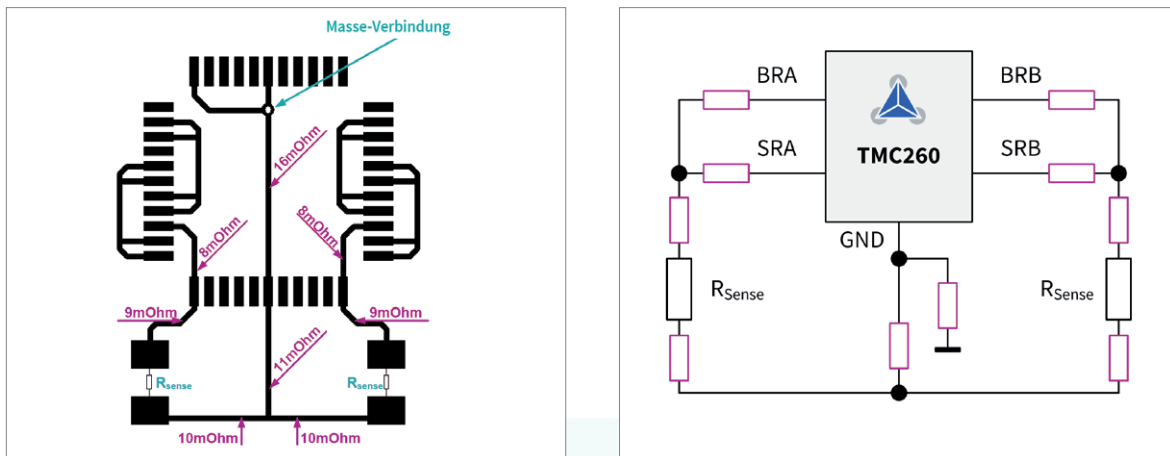


Bild 25: Beispiel für ein schlechtes Layout

Das Beispiel für ein schlechtes Layout zeigt, dass alleine durch die Leiterbahnen der Wert für den Messwiderstand um 25% erhöht wird, was eine entsprechende Reduzierung des maximalen Stroms bewirkt. Der gemeinsame Masseanschluss bewirkt dynamische Probleme, da sich die Messungen gegenseitig beeinflussen.

Um dieses Layout zu verbessern, sind drei wesentliche Schritte nötig:

1. Reduzieren der parasitären Widerstände und Induktivitäten in den Phasenstrom-Pfaden
2. Trennen der Phasenstrom und Messpfade (BRx & SRx)
3. Trennen der Masseverbindungen zu den Messwiderständen und zu dem IC

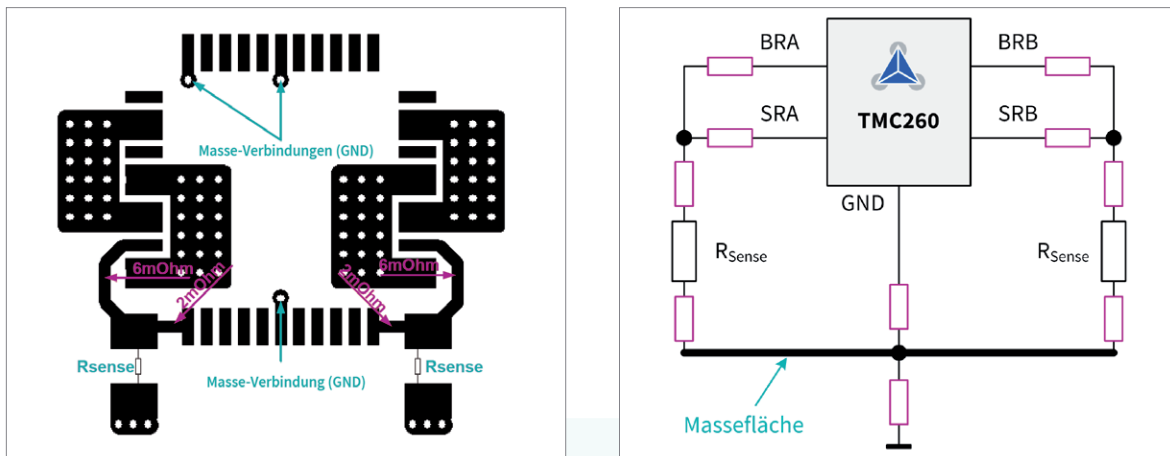


Bild 26: Beispiel für ein gutes Layout (Massefläche nicht sichtbar)

Umsetzung:

1. Die Leitungen zu den Messwiderständen so kurz wie möglich ausführen.
Verwendung einer Massefläche mit vielen Durchkontaktierungen. Leiterbahnen so breit wie möglich halten.
2. Trennung der Motor- und Messleitungen am Messwiderstand.
3. Verwendung einer Massefläche mit vielen Durchkontaktierungen.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Verwendung einer 2-Lagen Platine möglich ist, dies aber sehr hohe Anforderungen an das Layout stellt. Ein thermisch und elektrisch gutes Layout ist mit zwei Lagen kaum sicherzustellen. Ein 4-Lagen Layout ermöglicht die Nutzung von großen Masseflächen und vereinfacht das Verwenden von kurzen Leiterbahnen.

Fazit

In der Ruhe liegt die Kraft. Die neuen Regelverfahren dämpfen nicht nur die Vibrationen und Resonanzen direkt am Motor auf ein unhörbares Maß, sie sorgen auch dafür, dass sich die Spulen nicht mehr durch ihre magnetisch bedingte Verformung melden. Damit arbeiten die als laut geltenden Antriebe nun verblüffend leise. Dank kompletter Evaluations-Boards ist das Design-In der Schrittmotortreiber schnell erledigt. Die Ohren der Anwender werden es danken!

Autor



Dipl.-Ing. (FH) Guido Gandolfo hat mehr als 20 Jahre Erfahrung mit dem Ansteuern von Schrittmotoren. Er arbeitet seit 2012 als Produkt Line Manger für Motion Control bei der MEV Elektronik Service in Hilter. Davor hat er über 12 Jahre bei TRINAMIC im Vertrieb gearbeitet. Seit 1996 hat er als Entwickler für Bühnenscheinwerfer Erfahrungen mit Schrittmotoren gesammelt.

Co-Autoren

Dipl.-Inform. Bernhard Dwersteg ist Mitbegründer, Gesellschafter und Leiter IC-Design von TRINAMIC Motion Control in Hamburg.

Dipl.-Ing. (FH) Jonas P. Proeger ist Marketing-Direktor bei TRINAMIC Motion Control in Hamburg.

Warenzeichen

spreadCycle™, stealthChop™, stealthChop2™, stallGuard2™, coolStep™, microPlyer™ sind geschützte Warenzeichen der TRINAMIC Motion Control GmbH & Co.KG

Firmenprofil

MEV Elektronik Service GmbH

MEV ist ein Distributor/Stocking Rep. und Herstellerrepräsentant für elektronische Bauelemente, Module und Systeme. Bei der Betreuung der Kunden in Deutschland sowie in Zentral- und Osteuropa steht die optimale technische Unterstützung und Beratung durch 14 Ingenieure im Vordergrund. Dabei konzentriert sich die MEV auf „State Of The Art“ Applikationen in führenden Marktsegmenten. Den Kunden stehen dabei das hauseigene Labor und Demonstrationsräume zur Verfügung, in denen insbesondere in den Bereichen Power Management, Motion Control und Optoelektronik mit Hilfe der FAEs gemeinsam bestmögliche technische Lösungen erarbeitet werden können.

Neben der Design-In-orientierten Distribution fokussiert sich die MEV noch auf Logistik-Konzepte und Dienstleistungen, die exakt auf die jeweiligen Bedürfnisse der Kunden abgestimmt sind. Dabei ist die offene, ehrliche und zuverlässige Partnerschaft die Basis für die erfolgreiche Zusammenarbeit mit Kunden und Lieferanten, sowie innerhalb des Teams.

MEV Elektronik Service GmbH

Nordel 5A

D-49176 Hilter

info@mev-elektronik.com

www.mev-elektronik.com

Firmenprofil

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co.KG

TRINAMIC, mit Firmensitz in Hamburg, liefert integrierte Schaltkreise und Module zur Motorsteuerung an Kunden weltweit. Der applikationsgetriebene Ansatz von Trinamic sowie ein tiefgehendes Verständnis der Anwendungen ermöglichen es Lösungen zu bieten, die die Design-Phase vereinfachen und verkürzen, was erhebliche Einsparungen beim Arbeits- und Kostenaufwand im Bereich der Entwicklung und der „total cost of ownership“ ermöglicht.

Die Kunden von TRINAMIC profitieren vom umfangreichen Know-how des Unternehmens im Bereich Motorphysik sowie dem Portfolio an Schutzrechten (IP), die aus jahrelanger Anwendungserfahrung entstanden sind. Die Produktentwicklung bei TRINAMIC fokussiert sich vollständig auf Miniaturisierung, Steigerung der Effizienz sowie Diagnose und Schutzfunktionen, welche/die die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems sicherstellen.

Leitbild von TRINAMIC ist das Bereitstellen energieeffizienter Lösungen. Branchenführende Technologien, wie die patentierten coolStep™ Produkte, bieten neben Bedienerfreundlichkeit und der Präzision von Schrittmotoren zusätzlich vor allem Energieersparnis.

Die TRINAMIC Motion Control Language (TMCL) erleichtert die Entwicklung von Motorsteuerungs-Anwendungen und ermöglicht kürzere Entwicklungszyklen und Produkteinführungszeiten.

Mit seiner mehr als 20-jährigen Geschichte und der traditionell deutschen Eigentümerstruktur mit allen Gesellschaftsanteilen in privater Hand, kann TRINAMIC langfristige Verfügbarkeit gewährleisten.

Die TRINAMIC -Produkte werden über ein weltweites Vertriebsnetz verkauft.

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG

Waterloohain 5

D-22769 Hamburg

tmc_info@trinamic.com

www.trinamic.com