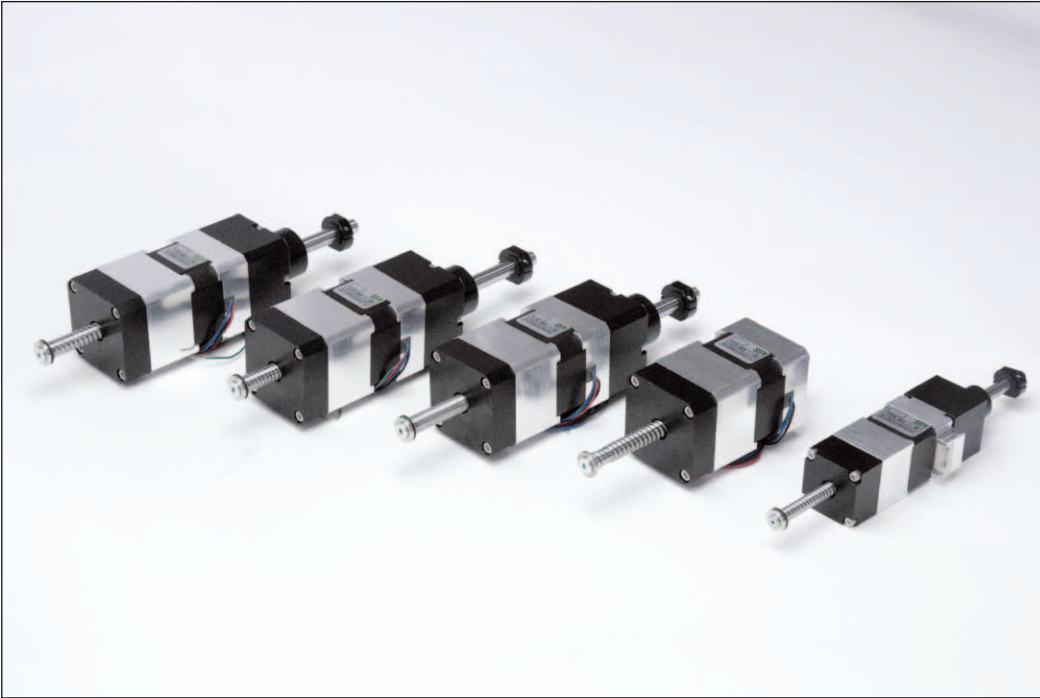


## Einsatz linearer Wellenmotoren in Parallelantrieben



Bei dem Begriff Parallelantriebssystem denken die meisten Menschen an Antriebssysteme von kartesischen Robotern/Portalrobotern. Aber Parallelantriebssysteme können auch als zwei oder mehr parallel geschaltete Linearmotoren, die von einer einzelnen Antriebssteuerung gesteuert werden, gesehen werden. Dies schließt die Verwendung in kartesischen Robotern/Portalrobotern als auch in anderen wichtigen Bereichen der Bewegungssteuerung, wie den hoch- und ultrapräzisen Einachsrobotern mit einer Auflösung und Positioniergenauigkeit im Subnanometer- und im hohen Pikometerbereich, ein. Diese Systeme werden in Bereichen wie Optik, Mikroskope, Halbleiterherstellung, Werkzeugmaschinen, Stellantriebe mit hoher Kraft, Werkstoffprüfgeräte, Bestückung, Montagevorgänge, Werkzeugmaschinenhandling und Lichtbogenschweißen eingesetzt. Insgesamt gibt es Anwendungen sowohl im Subnanometer- als auch im hohen Pikometerbereich.

### Probleme bei Parallelantrieben

Das größte Problem aller Parallelantriebssysteme ist die orthogonale

Ausrichtung, d.h. die Fähigkeit eine parallele Achse im rechten Winkel zu halten. In mechanischen Antriebssystemen wie Spindel-, Zahnstangen-, Riemen- und Kettenantrieb ist das Hauptproblem die Bindung des Systems aufgrund von Fehlausrichtung oder Summierung von Toleranzen. In direkten Antriebssystemen gibt es das zusätzliche Problem der Sinusfehler, die aufgrund von Montagefehlern und Varianzen in den linearen Motoren entstehen.

Um diese Probleme zu meistern wird üblicherweise jede Seite des Parallelantriebssystems angetrieben, gesteuert und elektronisch synchronisiert. Die Kosten eines solchen Systems sind hoch, da im Vergleich zu einem einachsigen System der Antrieb und die Positionsbestimmungselektronik doppelt vorhanden sein müssen. Dies birgt zusätzlich Synchronisierungs- und Nachlauffehler, die die Leistung des Systems beeinträchtigen können.

### Lösung

Eine mögliche Lösung, lineare Wellenmotoren parallel zu schalten, ist ein schnell reagierender Motor. Die dynamische, von zwei identischen linearen Wellenmotoren erzeugte

Bewegung ist bei Ausgabe desselben Steuersignals gleich.

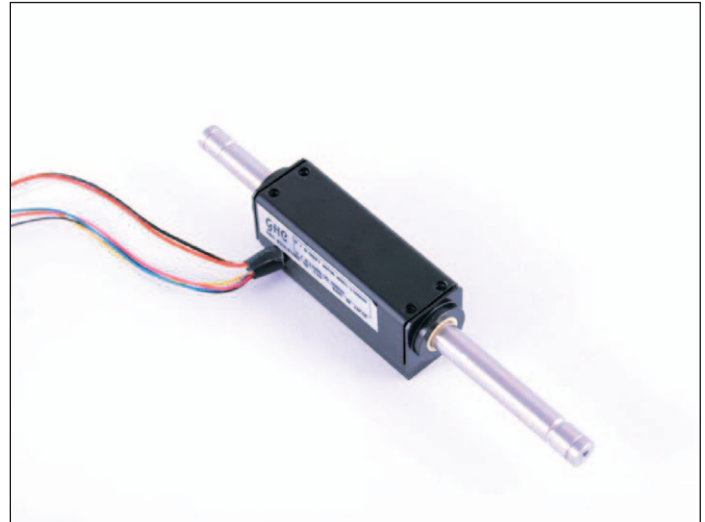
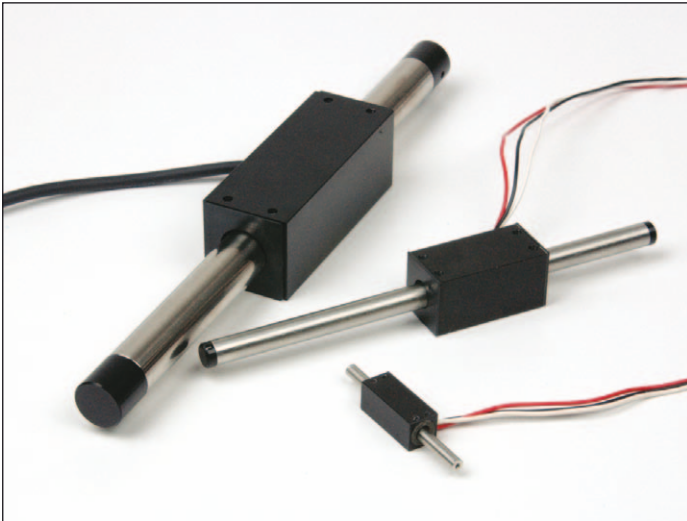
Wie alle Parallelantriebssysteme muss der lineare Wellenmotor physikalisch an einen Mechanismus gekoppelt werden, der der Achse nur einen einzigen Freiheitsgrad für Bewegung einräumt. Dies führt dazu, dass die parallelen linearen Wellenmotoren als Einzelgerät agieren. Dies ermöglicht den Betrieb mit einem einzigen Encoder und einem einzigen Servoantrieb. Und da ein ordnungsgemäß eingebauter linearer Wellenmotor ohne direkten Kontakt läuft, kann er selbst keine mechanische Bindung in das System einführen.

Diese Aussagen sind für jeden kontaktlosen Linearmotor zutreffend. Lineare Wellenmotoren unterscheiden sich von anderen kontaktlosen Linearmotoren in mehreren Aspekten, die sie für den Einsatz in Parallelsystemen prädestinieren.

### Vorteile des linearen Wellenmotors

Bei der Ausführung der linearen Wellenmotoren ist der Permanentmagnet in die Mitte des elektromagnetischen Felds platziert und sorgt so dafür, dass der Luftspalt nicht kritisch ist. Die Spule umgibt den Magneten vollständig, so dass die Kraft gleich dem Nettoeffekt des Magnetfelds ist. Dadurch wird praktisch jede durch Luftspaltdifferenzen, wie Ausrichtung oder Verarbeitungsunterschiede, verursachte Kraftschwankung beseitigt. Dies sorgt für eine einfache Ausrichtung und Installation. Dennoch können Sinusfehler, die ein Hauptproblem darstellen, zu Kraftdifferenzen in jedem kontaktlosen Linearmotor führen.

Linearmotoren, wie der lineare Wellenmotor, werden auch als Synchronmotoren bezeichnet. In der Tat wird der Spule über einen Elektromagneten Strom zugeführt. Diese synchronisiert sich dann selbst mit dem Magnetfeld der Permanentmagneten in der Magnetspur. Die Kraft in einem Linearmotor wird durch die relative Stärke dieser Magnetfelder und den Winkel ihrer beobachteten Fehlausrichtung erzeugt.



In einem Parallelantriebssystem werden alle Spulen und Magnetfelder zu einem einzigen Motor, wenn alle Magnetfelder perfekt ausgerichtet sind. Jede Fehlausrichtung der Spulen oder der Magnetspuren führt jedoch zu einer Fehlausrichtung der Magnetfelder und erzeugt unterschiedliche Kräfte in jedem Motor. Diese Kraftdifferenz kann ihrerseits zur Bindung im System führen. Sinusfehler sind daher die Kraftdifferenzen, die durch eine Fehlausrichtung der Spulen oder Magnetspuren entstehen.

Sinusfehler können mithilfe der nachfolgenden Gleichung berechnet werden:

$$F_{\text{dif}} = F_{\text{gen}} \times \sin(2nD_{\text{dif}}/MP_{n-n})$$

wobei

$F_{\text{dif}}$  = die Kraftdifferenz zwischen den beiden Spulen,

$F_{\text{gen}}$  = die erzeugte Kraft,

$D_{\text{dif}}$  = die Fehlausrichtungslänge, und

$MP_{n-n}$  = der Polabstand (Nord-Nord) ist.

Die meisten erhältlichen Linearomotoren sind mit einem Polabstand (Nord-Nord) im Bereich zwischen 25 bis 60 mm Länge ausgeführt, unter dem Deckmantel einer Reduzierung der IR-Verluste und der elektrischen Zeitkonstante. Daher führt eine Fehlausrichtung von nur einem Millimeter in einem Linearmotor mit einem Polabstand Nord-Nord von 30 mm zu einem Leistungsverlust von 21 %.

Der lineare Wellenmotor kompensiert diesen Verlust durch die Verwendung eines noch längeren Polabstands (Nord-Nord), der den

Effekt von Sinusfehlern aufgrund zufälliger Fehlausrichtung reduziert. Eine Fehlausrichtung von nur einem Millimeter in einem linearen Wellenmotor mit einem Polabstand (Nord-Nord) von 90 mm führt zu einem Leistungsverlust von nur 7 %.

## Parallelantriebssysteme

Eine wirklich genaue Positionierung ist bei hoch- und ultrapräzisen Einachsrobotern nur möglich, wenn die Rückkoppelung direkt in den Massenschwerpunkt des Arbeitspunktes erfolgt. Die Kräfteerzeugung vom Motor erfolgt ebenfalls direkt in den Massenschwerpunkt des Arbeitspunktes. Es ist jedoch unmöglich, dass die Kräfteerzeugung

und die Rückkoppelung an genau derselben Position erfolgen!

Durch einen Encoder im Massenschwerpunkt und durch lineare Wellenmotoren mit gleichem Abstand zum Massenschwerpunkt wird die gewünschte Rückkoppelung und Kräfteerzeugung im Massenschwerpunkt erzeugt. Dies ist bei anderen Parallelantriebssystemen, die zwei Encodersätze und Servoantriebe zur Erzeugung dieses Parallelantriebstyps erfordern, nicht möglich.

Der Einzelantrieb/Encoder arbeitet am Besten in ultrapräzisen Anwendungen und verschafft den Konstrukteuren von Portalrobotern einen großen Vorteil. In der Vergangenheit hatten Systeme zwei unterschiedliche Motoren, die mit

hilfe zweier unterschiedlicher elektronisch miteinander verbundener Steuerungen getrennte Kugelgewindetriebe angetrieben haben oder sie hatten zwei Linearmotoren mit zwei Encodern, die elektronisch mit zwei Antrieben verbunden waren. Nun können dieselben Aktionen mit zwei linearen Wellenmotoren, einem Encoder und einem Verstärker/Antrieb, solange die Steifigkeit des Systems selbst ausreicht, ausgeführt werden.

Dies ist auch ein Vorteil bei Anwendungen, in denen ein extrem hoher Kraftaufwand erforderlich ist. Es ist auch möglich, eine beliebige Zahl an linearen Wellenmotoren zu verbinden und so ihre Kraft zusammenzuführen. ◀

