

Linear-Aktuatoren für Schwachlastanwendungen mit hohen Drehzahlen

Von Sandeep Cg, Direktionsassistent Design & Entwicklung, Portescap

Viele medizinische Anwendungen benötigen Aktuatoren mit hohen Drehzahlen im Niedriglastbereich. Viele OEM verwenden zu diesem Zweck Pneumatik-Aktuatoren oder Elektromagnete, diese Optionen bieten jedoch keine präzise Positionierung. Und obwohl teurere Technologien, wie servopneumatische Positionierungssysteme existieren, ist die exakte Positionierung bei hoher Drehzahl mit pneumatischen Systemen immer noch sehr kompliziert.

Linearaktuatoren mit hoher Drehzahl, die Scheibenmagnet-Schrittmotoren (DMM) verwenden, bieten dagegen eine hervorragende Lineargeschwindigkeit für Niedriglastanwendungen, wie z. B. Sensorbewegung, Laserstrahlpositionierung, Aufheben und Ablegen elektronischer Komponenten, Bewegung von X-Y-Tischen und weiterer Anwendungen. Geräuscharmer Betrieb und geringe Betriebs- und Wartungskosten machen elektrische DMM-Linearaktuatoren zu einer praktikablen Option für diese Niedriglastanwendungen mit hoher Drehzahl.

Linear-Aktuatoren

Pneumatikzylinder mit Regelventilen sind aus der Automatisierungsindustrie nicht wegzudenken und spielen als Linearaktuatoren noch immer eine zentrale Rolle. Pneumatikzylinder eignen sich für einen Reihe von Automatisierungsanwendungen bei hoher Drehzahl oder großen Lasten.

Trotz vieler Vorteile weisen Pneumatikzylinder aber immer noch wesentliche Probleme auf, weshalb Entwickler und Ingenieure nach alternativen Lösungen suchen. Aufgrund der Komprimierbarkeit von Luft ist es schwierig pneumatische Aktuatoren unter Belastung präzise zu positionieren, vor allem bei hohen Drehzahlen. Die hohen Betriebskosten dieser Systeme können auf den hohen Stromverbrauch des Kompressors im Leerlauf und die Leckage in den Pipelines zurückgeführt werden.

Im Gegensatz dazu, haben elektrische Aktuatoren viele Vorteile gegenüber Druckluftzylindern, auch wenn die Belastungsfähigkeit und Drehzahlen geringer sind. Die meisten dieser Linearaktuatoren verwenden einen Schraubmechanismus zur Übertragung der Drehbewegung in eine Linearbewegung.

Abhängig von den Belastungs- und Drehzahlanforderungen der Anwendung in Verbindung mit anderen Faktoren können verschiedene Elektromotoren als Antriebsmotoren verwendet werden. In diesem Artikel werden Motoren untersucht, die für lineare Bewegungen bei hoher Drehzahl geeignet sind. Aufgrund der Eigenschaft der präzisen Positionierung wird ausschließlich der Schrittmotor genauer betrachtet.

Die Vier-Block-Matrix in Abbildung 1 zeigt eine allgemeine Klassifizierung linearer Aktuatoren für Lastaufnahmekapazitäten bei

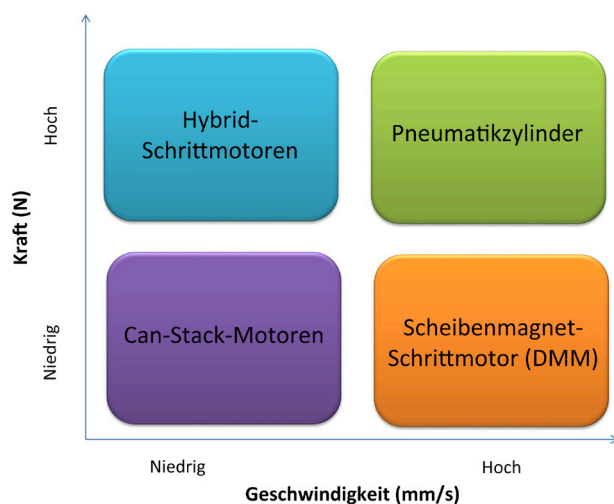


Abb. 1 – Diese Matrix zeigt eine allgemeine Klassifizierung linearer Aktuatoren für Lastaufnahmekapazitäten bei verschiedenen Drehzahlen.

verschiedenen Drehzahlen. Eine lineare Geschwindigkeit über 500 mm/s kann als Hochgeschwindigkeitsbereich angesehen werden. Can-Stack-Motoren werden aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz vermehrt als Linearaktuatoren in Segmenten niedriger Last / niedriger Drehzahl verwendet.

Hybrid-Schrittmotoren sind bekannt für ihre hohen Lastaufnahmefähigkeiten gegenüber anderen Schritttechnologien und sind die beste Wahl für Hochlastanwendungen mit niedriger Drehzahl. Dieser Artikel beschäftigt sich mit dem verbleibenden Segment der niedrigen Last / hohen Drehzahl.

Scheibenmagnet-Schrittmotor

Der Scheibenmagnet-Schrittmotor, häufig Turbo-Scheibenmotor genannt, ist die ideale Wahl für Anwendungen mit hohen Drehzahlen und niedriger Last. Wie der Name schon sagt, verwenden DMM dünne Magnetscheiben, um die Drehmomentabgabe des Motors zu generieren. Aufgrund der niedrigen Rotormasse bietet er eine außergewöhnlich hohe Beschleunigung für ein vorgegebenes Drehmoment, die für die meisten Anwendungen im hohen Drehzahlbereich geeignet ist.

Die Vorteile sind nicht allzu sehr bekannt, weshalb er als Option häufig übersehen wird. Abbildungen 2a und 2b sind typische Beispiele linearer Aktuatoren, die aus bestehenden DMM entwickelt werden könnten. Das Design kann entweder eine rotierende Spindel wie in Abbildung 2a oder eine rotierende Mutter wie in Abbildung 2b sein. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Leistung von DMM-Aktuatoren für verschiedene Gewindespindel-Kombinationen.

Diese Aktuatoren bieten verschiedene Geschwindigkeiten im Bereich niedriger Last zwischen 0 und 1200 mm/s, was im Vergleich zu Hybrid-Schrittmotoren oder Can-Stack-Motoren der gleichen Rahmengröße eine ziemlich große Spanne ist.

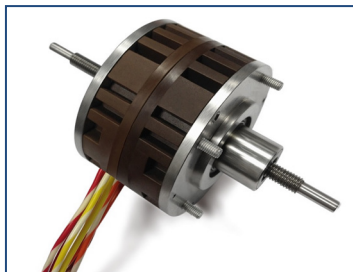


Abb. 2 (a)

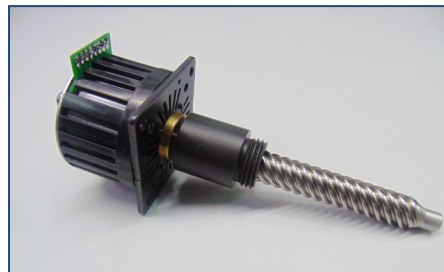


Abb. 2 (b)

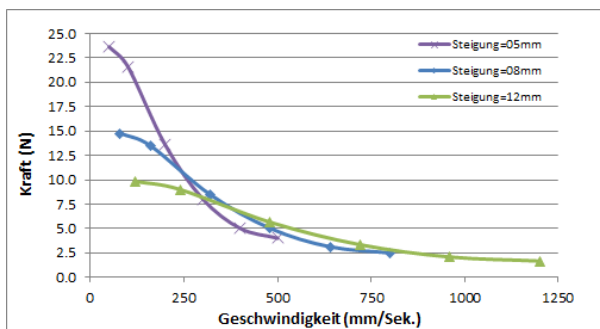


Abb. 3 – Typische Drehzahl vs. Lastkurve für DMM P430: Rahmengröße = 39 × 39 mm, Vollschritt, bipolarer Spannungstreiber @ 36 V.

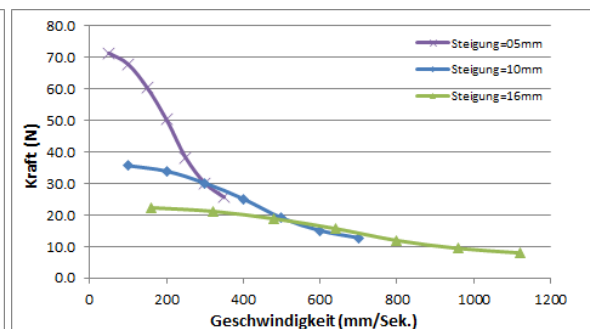


Abb. 4 – Typische Drehzahl vs. Lastkurve für DMM P532: Rahmengröße = 52 × 52 mm, Vollschritt, bipolarer Spannungstreiber @ 2 A, 36 V.

Die Parameter, die im Wesentlichen die Leistung von Motoren bei hoher Drehzahl bestimmen, sind dynamisches Drehmoment, Rotorträgheitsmoment, Unterschied im Trägheitsmoment zwischen Belastung und Motor, Eisenverluste und sinusförmige Form der Ausgangsdrehzahlkurve. Die Abbildungen 5a und 5b zeigen, dass die dynamische Leistung von Hybridmotoren drastisch zurück geht je höher die Drehzahl wird, während die Ausgabe beim DMM bei hoher Drehzahl konstant bleibt. Die perfekt geformte Sinuskurve des Ausgangsdrehmoments ermöglicht der Drehmomentwelligkeit die größtmögliche Amplitude, um die dynamische Leistung zu verbessern. Eisenverluste sind durch die Eingangsfrequenz bedingt, d.h., dass Verluste bei höherer Drehzahl größer sind. Jedoch sind Eisen- und Hystereseverlust im Vergleich zu Hybridmotoren dank des kürzeren Magnetkreises und einem ordentlichen Flusspfad beim DMM geringer. Die geringeren Verluste und die niedrige elektrische Zeitkonstante ermöglichen den Betrieb vom DMM bei höheren Drehzahlen.

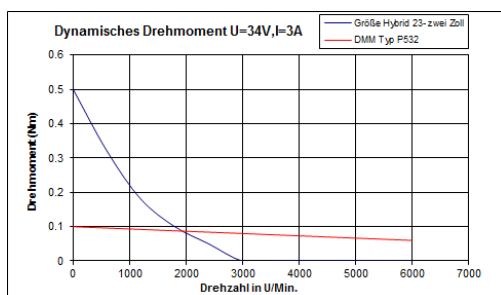


Abb. 5 (a)

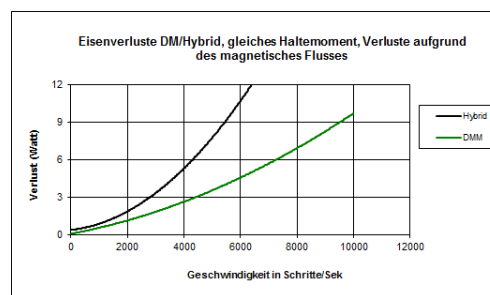


Abb. 5 (b)

Dynamische Leistung eines Hybrid im Vergleich zu einem Scheibenmagnetmotor; Drehmoment (nm) vs. Drehzahl in U/Min. (a) und Verlust (W) vs. Drehzahl in Schritten (b)

Wie schon erwähnt, ist das Trägheitsmoment beim DMM aufgrund des einzigartigen Rotordesigns im Vergleich zu einem Hybrid-Schrittmotor erstaunlich gering. Bei einer vorgegebenen Rahmengröße von 40×40 mm liegt das Trägheitsmoment des DMM bei nur 3 Gramm/cm^2 , 15 mal weniger als bei einem Hybridmotor der gleichen Größe. Dies bedeutet, dass die Beschleunigung für ein vorgegebene Drehmomentabgabe 15 mal höher ist. Die Unterschiede beim Rotorträgheitsmoment sind ebenso ein wichtiges Auswahlkriterium für den Betrieb bei hohen Drehzahlen.

Das folgende Beispiel zeigt, dass DMM-Motoren bei problematischen Unterschieden im Lastträgheitsmoment sehr gut geeignet sind. Eine Last von 250 g soll mit Hilfe einer Gewindespindel mit $\varnothing 6 \times 80$ mm und einer Steigung von 10 mm über eine Distanz bewegt werden. Wie wird das Lastträgheitsmoment auf den Motor berechnet? Es kann ein Wirkungsgrad von etwa 40 % angenommen werden. Die Gewindespindel besteht aus Edelstahl. Das Gesamt-Trägheitsmoment auf den Motor (J_{Gesamt}) = Lastträgheitsmoment (J_l) + Gewindespindelträgheitsmoment (J_{fs}).

J_l und J_{ls} können folgendermaßen berechnet werden:

$$J_l = \frac{m}{\eta} \times \left[\frac{1}{2 \times \Pi \times P} \right]^2$$

$$J_{ls} = \frac{\Pi \times L \times \rho \times r^4}{2}$$

m= Masse in Gramm

L= Länge der Gewindespindel

r= Radius der Gewindespindel

P= Steigung in mm/Umdrehung

μ = Wirkungsgrad

ρ = Dichte in kg/m³

Jetzt $J_l = \frac{250}{0.4} \times \left[\frac{1}{2 \times \Pi \times 0.1} \right]^2 = 1584.75 \text{ g-mm}^2$

Und $J_{ls} = \frac{\Pi \times 80 \times 7480 \times 10^{-6} \times 3^4}{2} = 76.09 \text{ g-mm}^2$

Gesamt-Lastträgheitsmoment auf den Motor, $J_{Gesamt} = 1660.8 \text{ g-mm}^2$

$= 1.66 \times 10^{-6} \text{ kg-m}^2$

Um eine reibungslose Kraftübertragung vom Motor auf die Ausgabelast zu erreichen, muss das Rotorträgheitsmoment mit dem reflektierten Lastträgheitsmoment übereinstimmen. Dies gilt vor allem im Betrieb mit hohen Drehzahlen. Bei der Betrachtung des standardmäßigen Rotorträgheitsmoments von DMM-Motoren nähert sich der Wert des P532-Motors mit $1.2 \times 10^{-6} \text{ kg-m}^2$ sehr nah an diesen Wert an.

Schlussfolgerung

Viele medizinische Anwendungen benötigen Aktuatoren mit hohen Drehzahlen im Niedriglastbereich. Linearaktuatoren mit hoher Drehzahl, die DMM-Technologie verwenden, sind eine überzeugende Alternative zu Pneumatik-Aktuatoren oder Elektromagneten, um hervorragende lineare Geschwindigkeiten bei Schwachlastanwendungen im medizinischen Bereichen zu erzielen. DMM verwenden dünne Magnetscheiben, um die Drehmomentabgabe des Motors zu generieren. Die niedrige Rotormasse bietet eine außergewöhnlich hohe Beschleunigung für ein vorgegebenes Drehmoment, die für die meisten Anwendungen im hohen Drehzahlbereich geeignet ist.

Diesen Artikel schrieb Sandeep Cg, Direktionsassistent in der Abteilung Design und Entwicklung bei Portescap, West Chester, PA.