



Dr. Rolf Slatter

Auf Dauer spielfrei

Hochdynamische Hohlwellenantriebe für präzise Positionieranwendungen

In der Kombination von Mechanik

und Elektronik – der Mechatronik –

stecken große Optimierungspotenziale.

Harmonic Drive versteht dabei unter

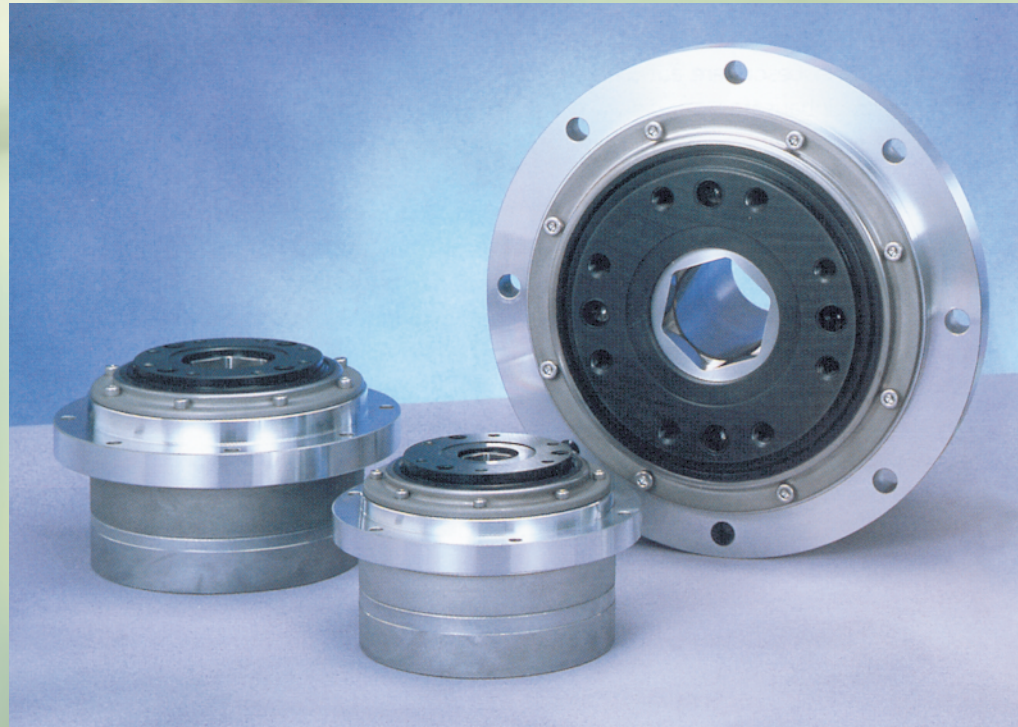
Mechatronik nicht nur die Integration von

Elektronik und Mechanik in einem Antrieb,

sondern das Erzielen neuer

Funktionalitäten mit mechanischen

und elektronischen Komponenten.



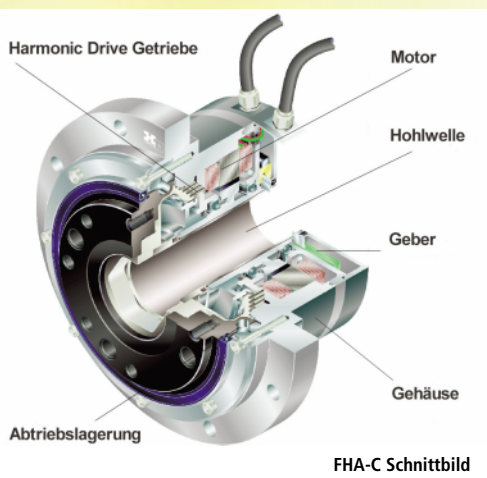
Die gesamte Antriebstechnik befindet sich hier zur Zeit in einer Beschleunigungsphase, das heißt, in den nächsten Jahren sind hier starke Technologiesprünge zu erwarten, denn im Maschinenbau gewinnt die Mechatronik zunehmend an praktischer Bedeutung. Die gestiegenen Leitungsforderungen in fast allen Bereichen dieses Marktsegmentes benötigen hochintegrierte Servoantriebe mit einer perfekten Anpassung von Mechanik und Elektronik. Auf dem Gebiet der Servoantriebstechnik sind heutzutage mehrere Trends festzustellen.

Kunden erwarten eine höhere Einschaltdauer der Antriebe bzw. auch kürzere Zykluszeiten, eine schnelle Kommunikation der einzelnen Komponenten untereinander, intelligente Antriebe durch Sensorik und zum Teil die Substitution der Hydraulik und Pneumatik durch elektromechanische Antriebssysteme. Harmonic Drive AG ist ein Vorreiter bei der Entwicklung von kompakten,

hochintegrierten Servoantrieben. Die ersten Hohlwellenantriebe der FHA Baureihe wurde schon 1990 eingeführt. Inzwischen ist die dritte Generation dieser erfolgreichen Baureihe am Markt etabliert. Die neue FHA-C-Variante bietet eine erheblich erhöhte Drehmomentkapazität und Verdrehsteifigkeit bei 30 % reduzierter axialer Länge. Die einmalige Kombination von Genauigkeit und Leistungsdichte bilden die Grundlage für ein breites Anwendungsspektrum. Die ständige Weiterentwicklung ermöglicht neue Anwendungen oder erlaubt die Substitution „konventioneller“ Servoantriebe, basierend auf Planeten- oder Schneckengetrieben aufgrund höherer, gleichbleibender Genauigkeit. In der letzten Zeit wird der FHA-C-Antrieb zunehmend als Ersatz für Direktantriebe bzw. Torquemotoren eingesetzt aufgrund weitaus höherer Leistungsdichte und höherer dynamischer Steifigkeit.

Hohlwellenantriebe in der 3. Generation

Die FHA-Baureihe ist beispielhaft für eine hochintegrierte mechatronische Lösung. Diese Antriebe bestehen aus einem Harmonic Drive-Getriebe, einem ringförmigen AC-Servomotor und einem Sinus-Cosinus optischen Geber für die Drehzahl- und Lageregelung. Die Antriebe verfügen auch über eine kompakte, steife Abtriebslagerung, um das Lastsystem zu stützen, ohne eine zusätzliche Stützlagerung zu benötigen. Die zentrale Hohlwelle ermöglicht die Durchführung von Versorgungsleitungen, Wellen oder sogar Laserstrahlen durch die Mitte des Antriebes. Diese einzigartige Eigenschaft kann die Konstruktion von Industrierobotern, Werkzeugmaschinen, Wafer-Handling-Geräten oder Laserbearbeitungsmaschinen erheblich vereinfachen. Bis jetzt wurden oft Schneckengetriebe oder „Direct Drive“-Motoren für Hohlwellenanwendungen eingesetzt. Doch die neuen Hohlwellen-Servoantriebe bieten einen erheblich höheren Wirkungsgrad und bessere Positioniergenauigkeit als Schneckengetriebe und bringen nur ein Viertel des Gewichtes eines „Direct Drive“ Motors der selben Drehmomentkapazität mit sich.



Die wesentlichen Vorteile des Harmonic Drive Getriebes sind:

- Auf Grund des großen Zahneingriffbereiches haben sie eine Drehmomentkapazität, die mit konventionellen Antriebslösungen doppelten Bauraums, doppelter Anzahl von Bauteilen und dreifachen Gewichtes vergleichbar ist.
- Die absolute Positioniergenauigkeit liegt weit unter einer Winkelminute und die Wiederholgenauigkeit beträgt nur wenige Winkelsekunden.
- Aufgrund der natürlichen Vorspannung und der radialen Zahnbewegung dieses Getriebetyps weisen sie kein Spiel in der Verzahnung auf.
- Mit nur drei Bauteilen werden, je nach Baugröße, Untersetzungsverhältnisse von 30:1 bis 320:1 bei Getriebeaußendurchmes-

sen von 20 bis 330 mm erzielt. Die Spitzendrehmomente betragen 0,5 bis über 9000 Nm.

- Bei Nennbetriebsbedingungen werden Wirkungsgrade von über 90% erreicht.
- Die Relativbewegungen der Zähne beschränken sich fast ausschließlich auf radiale Bewegungen, und die Gleitgeschwindigkeiten zwischen den Zähnen ist auch bei hohen Drehzahlen sehr gering. Der Zahnverschleiß ist daher vernachlässigbar, mit der Folge, dass es keine Spielzunahme während der Lebensdauer des Getriebes gibt.

Folgende Leistungssteigerungen gegenüber der Vorgängerversion – der FHA-B Baureihe – konnten realisiert werden:

- Die Drehmomentkapazität wurde um bis zu 50 % gesteigert.
- Die Verdrehsteifigkeit wurde um beinahe 100 % erhöht.
- Die axiale Länge wurde um bis zu 14 % verringert.
- Die maximale Drehzahl wurde um bis zu 20 % gesteigert.

Die neue Baureihe besteht zunächst aus drei Baugrößen, jeweils mit den Untersetzungen 50:1, 100:1 und 160:1, wobei weitere Untersetzungen auf speziellen Kundenwunsch lieferbar sind. Die wesentlichen Leistungsdaten sind in der Tabelle zusammengefasst.

Die neuen Antriebe sind ideal geeignet für hochdynamische und hochpräzise Positionieranwendungen. Eine herausragende Eigenschaft ist die Spielfreiheit und die serienmäßige Wiederholgenauigkeit von 5 Winkelsekunden (entspricht einer Abweichung von 5 mm bei einem Hebelarm von 200 mm). In vielen Anwendungen kann daher auf ein teures Direktmesssystem verzichtet werden.

Vorteile gegenüber anderen Lösungen

Kompaktantriebe werden hauptsächlich eingesetzt in Anwendungen, wo der zur Verfügung stehende Bauraum klein ist. Es gibt verschiedene Lösungen. Gegenüber Servoantrieben basierend auf Planeten- oder Schneckengetrieben weisen die FHA-C Antriebe kein Spiel und keine Spielzunahme während der gesamten Lebensdauer auf. Weiterhin ist die Verdrehsteifigkeit sowie das Spitzendrehmoment höher bei einer fast doppelten Leistungsdichte des FHA Antriebes. Zum Beispiel weist der FHA-C der Baugröße 40 ein Spitzendrehmoment von 690 Nm bei einem Gewicht von nur 12 kg auf, was einer Leistungsdichte von fast 60 Nm/kg entspricht. „Direct Drive“-Motoren bzw. Torque-Motoren wurden auch in manchen Hohlwellenanwendungen vorgesehen. Diese Motoren sind entweder modifizierte Schrittmotoren oder Bausatzmotoren mit einer hohen Polzahl, ringförmigem, genutetem Rotor mit großem Durchmesser und hochauflösendem Absolut-Mess-System, die verhältnismäßig hohe Drehmomente bei niedrigen Abtriebsdrehzahlen liefern können. Die Leistungsdichte dieser Motoren ist jedoch sehr

Modell	FHA-17C			FHA-25C			FHA-40C		
Untersetzung	50	100	160	50	100	160	50	100	160
Max. Drehmoment (Nm)	39	57	64	151	233	250	500	686	823
Max. Drehzahl (min ⁻¹)	96	48	30	90	45	28	70	35	22
Hohlwellendurchmesser (mm)	18			32			45		
Gewicht (kg)	2,8			4,3			12,2		

Tabelle 1: Technische Daten der FHA-C-Baureihe

niedrig, da kein Getriebe verwendet wird. Dies führt dazu, dass „Direct Drive“-Motoren sehr schwer sind in Bezug auf Drehmomentkapazität. Dies wiederum hat zur Folge, dass diese Motoren fast ausschließlich in statischen Anwendungen, bei denen der Motor nicht Teil einer bewegten Struktur ist, zum Einsatz kommen. Die neuen FHA-C-Hohlwellenantriebe verfügen über eine weitaus höhere Leistungsdichte – ein FHA-C-Antrieb wiegt nur ein Viertel eines „Direct Drive“-Motors der selben Drehmomentkapazität, bei weitaus kleineren Abmessungen.

Direktantriebe haben darüber hinaus mit dem Problem der Erwärmung bei Anwendungen mit hohen Stillstandsrehmomenten, z.B. in Vorschubantrieben von Werkzeugmaschinen, zu kämpfen. Dies macht eine zusätzliche Kühlung, typischerweise mit Wasser, erforderlich. Das kann sich bei bewegten Strukturen als sehr kompliziert erweisen, z.B. bei Fräsköpfen von Portal-Bearbeitungszentren. Der FHA-C hingegen kann auf eine zusätzliche Kühlung verzichten.

Ein weiterer Vorteil gegenüber „Direct Drive“-Motoren besteht in der Fähigkeit, erhebliche Variationen im Lastträgheitsmoment aufzufangen, ohne eine Modifizierung der Regelungsparameter zu benötigen. Da die FHA-C-Antriebe ein hochuntersetzendes Getriebe beinhalten, werden Variationen im Massenträgheitsmoment der Last - wie sie bei Roboterachsen auftreten können – durch das Quadrat der Getriebeuntersetzung dividiert. Dies hat zur Folge, dass sich solche Variationen im FHA-Antrieb nicht bemerkbar machen. Die Regelbarkeit der FHA-C Antriebe ist aufgrund der extrem hohen Messsystemauflösung üblicherweise besser als beim Direktantrieb.

Last but not least, gibt es erhebliche Unterschiede bezüglich der dynamischen Steifigkeit. Wenn ein Direktmesssystem benutzt wird, ist die statische Steifigkeit bei beiden Lösungen unendlich, solange die äußeren Drehmomente das Maximaldrehmoment des Motors nicht überschreiten. Bei der dynamischen Steifigkeit jedoch, d.h. beim elastischen Verformungswiderstand des Antriebes gegenüber äußeren dynamischen Störmomenten, ist der FHA-C im Vorteil. Auch wenn ein sehr hochauflösendes Messsystem angewandt wird sowie teure, schnelle Regelkreise, ist die dynamische Steifigkeit eines Direktantriebes wesentlich niedriger als der des elektro-mechanischen Kompaktantriebes. Dies hat zur Folge, dass Direktantriebe nur sinnvoll einzusetzen sind in Anwendungen mit geringen Störkräften. Durch die hohe Torsionssteifigkeit der neuen FHA-C können Verstärkungsfaktoren sehr hoch eingestellt werden, was in einer besseren Konturtreue und geringeren Einschwingzeit in die Endposition resultiert.

Vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten

Die zentrale Hohlwelle ist eine weitere einzigartige Eigenschaft. Zusammen mit den exzellenten Leistungsmerkmalen schafft sie die Basis für vielfältige Anwendungen in der Automatisierungstechnik.

Diese wesentlichen Vorteile haben zu einer breiten Palette von Anwendungen für diesen neuen Hohlwellen-Servoantrieb geführt, z.B.:

- Schulter- und Ellbogengelenk-Antriebe für Scara-Roboter
- Rotationsachsen in Metall-, Holz- und Glasbearbeitungsmaschinen
- Schwenk- und Kippachsen für Radarantennen
- Zustellachsen in Schleifmaschinen
- Schwenkköpfe für Laser-Bearbeitungsmaschinen
- Indextische für Montageautomaten
- Positionierachsen in Verpackungsmaschinen

Literatur

[1] Groß, H.; Hamann, J.; Wiegärtner, G.: Groß et al, 2000 Elektrische Vorschubantriebe in der Automatisierungstechnik, Publicis MCD Verlag, 2000

[2] Weck, M.: Werkzeugmaschinen – Mechatronische Systeme; Vorschubantriebe und Prozessdiagnose: Werkzeugmaschinen, Fertigungssysteme Band 3, Springer Verlag, 2001

DER AUTOR
Dr. Rolf Slatter
Vorstand – Marketing & Vertrieb

IHR KONTAKT
Harmonic Drive AG
Fax 06431/5008-18
info@harmonicdrive.de
www.harmonicdrive.de