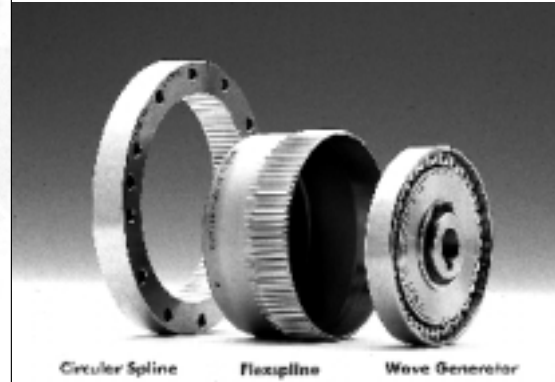


Hohlwellen-Servoantrieb PowerTube für hochdynamische Positionieraufgaben

## Servoantriebstechnik



Circular Spline      Flexspline      Wave Generator

Harmonic Drive Getriebe als Einbausatz

# Präzision aus der Röhre

Auf den verheißungsvollen Namen PowerTube hört ein neuer Hohlwellen-Servoantrieb, der nicht nur durch seine ausgeklügelte Technik aus dem Rahmen fällt. Sehr viel mehr noch stellt das rohrförmige Design in Kombination mit hoher Leistungsdichte die Lösung ungewöhnlicher bis hin zu anspruchvollsten Positionieraufgaben in Aussicht. Von Ellen Slatter.

Dipl.-Übersetzerin Ellen Slatter ist verantwortlich für Öffentlichkeitsarbeit bei Harmonic Drive AG, 65555 Limburg/Lahn. SlatterE@harmonicdrive.de, www.harmonicdrive.de.

Er ist das Ergebnis der Kooperation zweier technologiestarker Unternehmen: In Bad Neustadt an der Saale sitzt im dortigen Siemens-Elektromotorenwerk der Bereich „Sondergeschäft“ und ist konzernintern eingegliedert in den Bereich Motion Control Systems von Siemens A & D (Automation & Drives). Primär konzentriert sich das Sondergeschäft im Elektromotorenwerk Neustadt auf die Entwicklung von Aggregaten und mechatronischen Einheiten sowie Sondermotoren. Dabei werden kundenspezifische Ausführungen realisiert, die auch in Kleinserien oder in 1 Stück-Ausführung erfolgen.

Als sie beauftragt wurden, für einen Kunden im Handlingsbereich einen kraftvollen aber extrem kompakten Hohlwellenantrieb zu konzipieren, fiel die Wahl der im Sondergeschäft tätigen Siemensingenieure auf das so genannte Harmonic Drive Getriebe. Das ist ein Produkt der gleichnamigen AG mit Stammhaus in Limburg/Lahn.

### PowerTube – Resultat gemeinsamer Entwicklungsarbeit

Aus der Entscheidung ergab sich die gemeinsame Entwicklungsarbeit zwischen Siemens A&D und Harmonic Drive, wobei beide Partner ihre speziellen Erfahrungen bei Servomotoren und spielfreien Getrieben in eine innovative „mechatronische“ Lösung einbrachten. Das Resultat ist ein Hohlwellen-Servoantrieb, der einzigartige Eigenschaften aufzuweisen hat. Aufgrund seiner hohen Leistungs-

dichte und seiner rohrförmigen Abmessungen wurde ihm noch während der Markteinführungsphase der Namen „PowerTube“ verliehen.

Worum dreht es sich konkret? Das Ziel ist eindeutig – Präzisionsantriebe müssen heute mehr denn je ein vielschichtiges Anforderungsprofil erfüllen. Speziell die Erwartungen der Hersteller zum Beispiel von Industrierobotern, Werkzeugmaschinen oder Messmaschinen sind hier erheblich gestiegen. Im Einzelnen geht es um folgende Punkte:

- Weil die von den Maschinen zu erbringenden Bearbeitungs- und Positioniergenauigkeiten enorm gewachsen sind, werden im Kielwasser dieser Entwicklung die eingesetzten Antriebe ebenso mit sehr viel höheren Präzisionserfordernissen konfrontiert. Der Bedarf an spielfreien, torsionssteifen Getrieben und Antrieben ohne erhöhte

Hystereseverluste durch hohe Ver-  
spannung des Getriebes nimmt  
spürbar zu.

- Es darf absolut kein Stick-Slip-Verhalten auftreten. Denn die Forderung nach besseren Oberflächenqualitäten bedingt den Einsatz von Getrieben und Antrieben mit ruhiger, schwingungsfreier Laufcharakteristik.

- Die höhere Dynamik und damit verbunden die höheren Beschleunigungswerte der neuesten Industrieroboter und Werkzeugmaschinen erfordern den Einsatz von Getrieben und Antrieben mit höherer Drehmomentkapazität.

- Die höheren dynamischen Ansprüche bedingen höhere Eigenfrequenzen des gesamten Antriebssystems. Das wiederum setzt eine hohe Verdrehsteifigkeit und minimale Nicht-Linearitäten wie Spiel und Reibung voraus.

- Neue Maschinenstrukturen wie etwa Parallelroboter benötigen sehr kompakte, leichte Getriebe und Antriebe für Dreh- und Schwenkachsen, um die hohe Maschinendynamik zu erhalten. Das trifft auch bei einer Vielzahl von Servicerobotern zu – sobald diese zur Durchführung komplexer Handhabungsaufgaben über eine Mehrzahl von Achsen verfügen.

- Die Entwicklung von Werkzeugmaschinen für die Komplettbearbeitung hat zu einer erhöhten Anzahl von Maschinenachsen geführt, was bei Neukonstruktionen den ohnedies engen Platzbedarf weiter verknüpft. Kompakten Getrieben und Antrieben mit möglichst geringem Gewicht kommt bei solchen Anwendungen meist entscheidende Bedeutung zu.

- Eine gleichbleibende Positioniergenauigkeit über die gesamte Lebensdauer der Maschine wird vorausgesetzt. Es darf nicht sein, dass die mechanischen Elemente nachträglich neu eingestellt werden müssen, um eine eventuelle Spielzunahme zu kompensieren.

- Viele Maschinenhersteller stellen inzwischen äußerst hohe Erwartungen an die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit sowie an erweiterte Wartungsintervalle bzw. nach vollständiger Wartungsfreiheit.

In der Kombination derartiger teilweise diffiziler Detailanforderungen fußt eine große konstruktive Herausforderung – der sich durch Ser-

voantriebe mit integriertem Harmonic Drive Getriebe indes sehr gut begegnen lässt. Das ungewöhnliche Maschinenelement von der Lahn mit seiner bemerkenswert hohen Übersetzung (Übersetzung ins Langsame) wurde vor über 30 Jahren erfunden und zunächst in der Luft- und Raumfahrt erprobt. Später hat es sich in zahlreichen Anwendungen in Industrierobotern, Werkzeugmaschinen, Druckmaschinen und in der Feinwerktechnik bewährt.

### Ausgefeilte Mechanik – Funktionsweise des Harmonic Drive Getriebes

In der Übertragung von hohen Drehmomenten über ein flexibles Bauteil ist das Harmonic Drive Getriebe einmalig. Das Wirkungsprinzip zeigt sich als mechanisch äußerst interessant und ist nicht mit herkömmlichen Stirnrad- oder Planetengetrieben zu vergleichen.

Das Getriebe besteht aus lediglich drei konzentrischen Komponenten, als da sind: Erstens das Circular Spline (CS), ein starrer zylindrischer Ring mit Innenverzahnung sowie zweitens das Flexspline (FS), eine zylindrische Stahlbüchse mit Außenverzahnung. Und schließlich ist da noch der Wave Generator (WG), eine elliptische Stahlscheibe mit zentrischer Nabe und aufgezogener, elliptisch verformbarer Dünningkugellager.

Diese drei Bauteile arbeiten wie folgt zusammen: Der elliptische Wave Generator als angetriebenes Teil (verbunden mit der Motorwelle) verformt über das Kugellager den

Flexspline, der sich in den gegenüberliegenden Bereichen der großen Ellipsenachse mit dem innenverzahnten, fixierten Circular Spline im Eingriff befindet. Mit Drehen des WG verlagert sich die große Ellipsenachse und damit der Zahneingriffsbereich. Da der FS zwei Zähne weniger als der CS besitzt, vollzieht sich nach einer halben Umdrehung des WG eine Rela-

*„Auf der bevorstehenden Fachmesse SPS/IPC/Drives in Nürnberg wird der neuartige Hohlwellen-Servoantrieb Ende November erstmals dem Publikum live vorgeführt.“*

tivbewegung zwischen FS und CS um die Größe eines Zahnes und nach einer vollen Umdrehung um die Größe zweier Zähne. Bei fixiertem CS dreht sich der FS als Abtriebselement entgegengesetzt zum Antrieb.

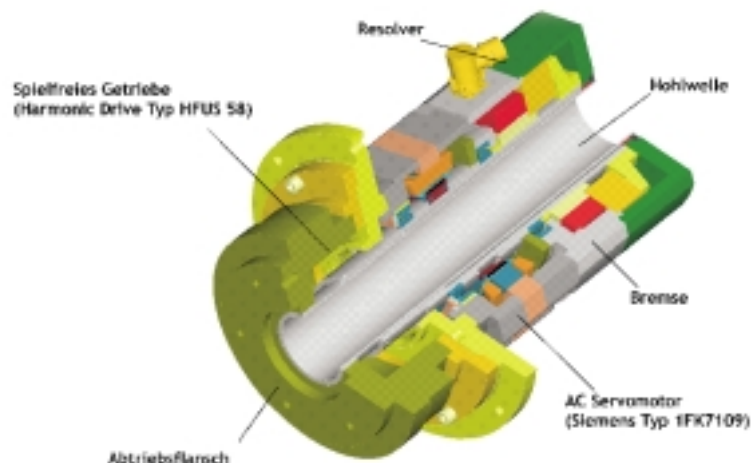
Im Vergleich zu herkömmlichen Getrieben bieten Systeme des beschriebenen Getriebetyps dem Anwender zahlreiche Vorteile:

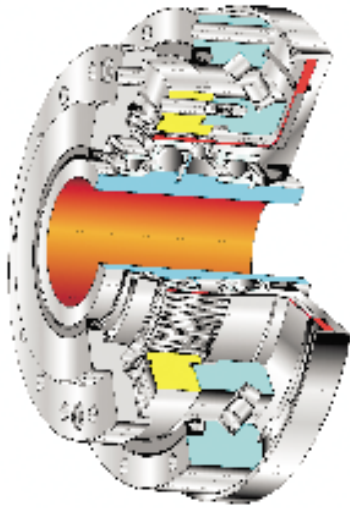
- Aufgrund des großen Zahneingriffsbereiches haben sie eine Drehmomentkapazität, die mit konventionellen Antriebslösungen doppelten Bauraums, doppelter Anzahl von Bauteilen und dreifachen Gewichts vergleichbar ist.

- Die absolute Positioniergenauigkeit liegt weit unter einer Winkelminute und die Wiederholgenauigkeit beträgt nur wenige Winkelsekunden.

- Aufgrund der natürlichen Vorspannung und der radialen Zahn-

„PowerTube“ Hohlwellenantrieb als Schnittbild





Schnitt durch das HFUS-Getriebe von Harmonic Drive

bewegung dieses Getriebetyps weisen die Getriebe kein Spiel in der Verzahnung auf.

■ Mit nur drei Bauteilen werden, je nach Baugröße, Untersetzungsverhältnisse von 30:1 bis 320:1 bei Getriebeaußendurchmessern von 20 bis 330 mm erzielt. Die Spitzendrehmomente betragen 0,5 bis über 9000 Nm.

■ Bei Nennbetriebsbedingungen werden Wirkungsgrade von über 90 % erreicht.

*„Bei Harmonic Drive gibt es keine Spielzunahme während der Lebensdauer des Getriebes. Eine Nachstellung zur Spieleliminierung entfällt, was die Wartungskosten verringert.“*

■ Die Relativbewegungen der Zähne beschränken sich fast ausschließlich auf radiale Bewegungen, und die Gleitgeschwindigkeiten zwischen den Zähnen sind auch bei hohen Drehzahlen sehr gering. Der Zahnverschleiß ist daher vernachlässigbar, mit der Folge, dass es keine Spielzunahme während der Lebensdauer des Getriebes gibt.

Die Summe aller dieser herausragenden Leistungsmerkmale begründet den Einsatz dieses Getriebetyps in nahezu allen Bereichen des modernen Maschinenbaus. Während der letzten zwei Jahrzehnte hat sich das innovative Getriebesystem als die erste Lösung für präzise Positionieraufgaben in einem breiten Anwendungsbereich etabliert. Zudem haben neueste

Entwicklungen, wie beispielsweise eine patentierte Zahnprofiloptimierung sowie eine Verringerung in der axialen Länge zu einer erheblichen Leistungssteigerung geführt.

Die angeführten eindeutigen Vorteile überzeugten auch die Siemensingenieure. In einer engen Zusammenarbeit mit dem hessischen Getriebehersteller wurde anschließend der neue PowerTube geboren. Der neuartige hochintegrierte Servoantrieb besteht aus einem Harmonic Drive Getriebe, einem permanenterrregten AC-Servomotor der Firma Siemens, einer Haltebremse und einem Resolver für die Drehzahl- und Lageregelung.

Das zugehörige Antriebssystem verfügt ferner über eine kompakte, steife Abtriebslagerung, um das Lastsystem zu stützen, ohne dass eine zusätzliche Stützlagerung nötig ist. 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 oder von Maschinen für die Laserbearbeitung erheblich vereinfachen.

Und wer bisher häufig Schneckengetriebe oder Direct Drive-Motoren für Hohlwellen-Anwendungen eingesetzt hat, der wird die Vorteile des neuen Hohlwellen-Servoantriebs gleichfalls zu schätzen wissen. Bietet er doch einen erheblich höheren Wirkungsgrad sowie eine bessere Positioniergenauigkeit als Schneckengetriebe und bringt dabei zugleich nur etwa ein Viertel des Gewichtes eines Direkt-Motor-Antriebs der selben Drehmomentkapazität mit sich.

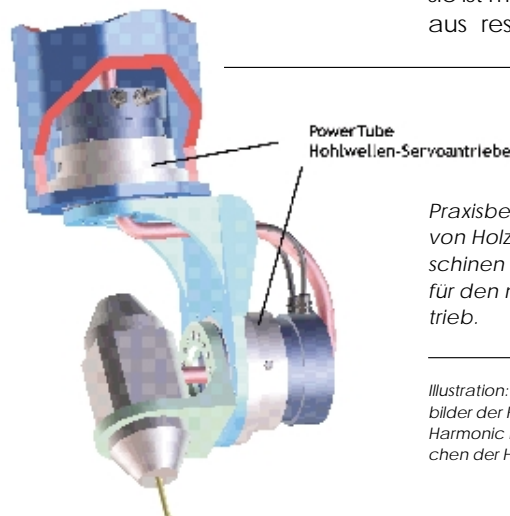
Die Kundenforderungen nach Spielfreiheit, einer großen zentralen Hoh-

welle und hoher Drehmomentkapazität führte im hier zur Betrachtung anstehenden Fall zur Auswahl eines Harmonic Drive Getriebes des Typs HFUS-2UH. Diese Ausführung verfügt über eine spezielle Form des Flexspline-Topfes, dessen Boden nach außen öffnet, um eine große zentrale Hohlwelle zu ermöglichen. Die Forderung nach einem zulässigen Beschleunigungsmoment von über 1400 Nm machte die Entwicklung der Baugröße 58 notwendig, welche Untersetzungen von 50, 80, 100, 120 und 160 zu 1 bietet. Die zentrale Hohlwelle hat einen Durchmesser von 70 mm bei einem Außendurchmesser des Getriebes von nur 280 mm – ein außergewöhnliches Verhältnis. Eine Hülse verbunden mit dem Abtriebsflansch wird durch die Hohlwelle geführt. Sie verhindert Beschädigungen an den durchgeführten Leitungen.

Bei dem permanenterrregten AC Servomotor handelt es sich um die neueste Baureihe des Siemens 1FK7109-Motor, einer speziellen Ausführung mit extrem großer Hohlwelle. Die Entwickler des Motorenwerks in Neustadt haben auch eine eigene spezielle Hohlwellenbremse konzipiert. Zunächst ist der Motor mit einem Resolver ausgestattet, wird aber eventuell auch mit optischem Geber verfügbar sein.

### Besser als bisherige Lösungen – Was spricht für den PowerTube?

Welche Vorteile bietet dieser neue Servoantrieb gegenüber bisherigen Lösungen? Für Positionieraufgaben, bei denen eine Hohlwelle erforderlich ist, wurden oft Schneckengetriebe integriert, die jedoch vorgespannt werden mussten, um das Spiel zu minimieren. Diese Vorspannung wirkt sich nachteilig aus, denn sie ist mit erhöhter Reibung und daraus resultierendem erhöhten Ver-



*Praxisbeispiel: Fräs- und Schleifköpfe von Holz- und Glasbearbeitungsmaschinen sind ein ideales Einsatzgebiet für den neuen Hohlwellen-Servoantrieb.*

Illustration: 2 Werksbilder der Siemens AG, 3 Werksbilder der Harmonic Drive AG. Der Markenname Harmonic Drive ist ein eingetragenes Warenzeichen der Harmonic Drive AG.

ANZEIGE  
Schleicher

Kriterium	Einheiten	Wert
Stillstandsmoment	Nm	640
Nennmoment	Nm	335
Zulässiges Beschleunigungsmoment	Nm	1480
Nenn Drehzahl*	1/min	27
Maximale Drehzahl*	1/min	37
Zulässiges Kippmoment	Nm	2180
Hohlwellendurchmesser	mm	70
Außendurchmesser (Getriebegehäuse)	mm	280
Axiale Baulänge	mm	424
Gewicht	Kg	67

schleiß verbunden. In der Praxis heißt dies, dass Schneckengetrieben mit der Zeit eine Spielzunahme erfahren, was durch Nachstellung kompensiert werden muss.

Beim Harmonic Drive Getriebe gibt es, wie schon erläutert, keine Spielzunahme während der Lebensdauer des Getriebes – korrekte Einbindung und Schmierung vorausgesetzt. Eine Nachstellung zur Spieleliminierung entfällt, wodurch die Wartungskosten verringert werden. Die erhöhte Reibung durch Vorspannung hat zudem eine negative Auswirkung auf den Wirkungsgrad eines Schneckengetriebes, was bei dynamischen Bewegungen oder bei Anwendungen zu einer hohen Einschaltdauer zu einem merklichen Temperaturanstieg führen kann. Gerade in Präzisionsanwendungen ist dieses Phänomen unerwünscht. Im Vergleich ist der Wirkungsgrad des Harmonic Drive Getriebes bei gleichen Untersetzungen wesentlich höher mit dem Resultat, dass solche thermischen Probleme nicht auftreten.

Auch Direct Drive-Motoren wurden bisher in manchen Hohlwellenanwendungen vorgesehen. Bei diesen Motoren handelt es sich entweder um modifizierte Schrittmotoren oder um Bausatzmotoren mit einem hochauflösenden Absolut-Mess-Sy-

stem. Sie können verhältnismäßig hohe Drehmomente bei niedrigen Abtriebsdrehzahlen liefern. Ihre Leistungsdichte ist jedoch sehr niedrig, da kein Getriebe verwendet wird. Das führt dazu, dass solche Motoren sehr schwer sind in Bezug auf ihre Drehmomentkapazität. Letzteres 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.

Der neue PowerTube-Antrieb verfügt über eine weitaus höhere Leistungsdichte – er wiegt nur ein Viertel des Gewichtes eines Direct Drive-Motors der selben Drehmomentkapazität. Ein weiterer gewichtiger Vorteil besteht in der Fähigkeit, erhebliche Variationen im Lastträgheitsmoment aufzufangen, ohne eine Modifizierung der Regelungsparameter zu benötigen.

Aber auch das rohrförmige Design weist große Vorzüge auf und kann mitunter ausschlaggebend sein. Zum Beispiel setzen Palettier- und Schweißroboter den Einsatz elektro-mechanischer Greifer oder Schweißzangen voraus, die wiederum ein Bündel von Versorgungsleitungen erfordern. Bis dato wurden diese Leitungsbündel um die Handachsen des Roboters herum gelenkt, was indes stark den Arbeits-

raum einschränkt und regelmäßig zu Beschädigungen der Leitungen führt. Der neue Antrieb bietet hier die Möglichkeit, die Leitungen direkt auf die zentrale rotatorische Achse der Handachsenantriebe durchzuführen. Die Folge ist: Die genannten Probleme existieren nicht.

**Ein Jahr störungsfreier Pilotbetrieb – wann beginnt die Markteinführung?**

Und auch bei Werkzeugmaschinen finden sich zunehmend Anwendungen, wo Wellen, Spindeln, Leitungen oder sogar Laserstrahlen durch die Antriebsachse geführt werden sollen – eine typische Anwendung aus der Holz- und Glasbearbeitungsmaschinen ist in der Illustration im letzten Bild gezeigt. Hier sind die Fräs- und Schleifköpfe ein ideales Einsatzgebiet für den

*„Der neue PowerTube-Antrieb wiegt nur ein Viertel des Gewichtes eines Direct Drive-Motors der selben Drehmomentkapazität. Und er fängt erhebliche Variationen im Lastträgheitsmoment auf, ohne eine Modifizierung der Regelungsparameter zu benötigen.“*

PowerTube. Man sieht in der Grafik gut, wie die Leitungen der Spindel und vom Motor durch die Hohlwelle des oberen Antriebes durchgeführt werden können.

Schon seit über einem Jahr läuft der „PowerTube“-Antrieb störfrei bei einem Pilotkunden im Betrieb. Die Markteinführung kann daher in Kürze erfolgen. Auf der bevorstehenden Fachmesse SPS/IPC/Drives in Nürnberg feiert das Produkt Ende November Premiere und wird dem Publikum erstmals live vorgeführt. (ke) ■

ANZEIGE  
SIKO