

Servos with High Torque Motors for Direct Drive

Drehmomentstarke Servomotoren für den Direktantrieb

Louis Banon, Alxion, France
with **Hans Feusi**, Acutronic, Switzerland

ENGLISH

In recent years electric servosystems have continuously evolved. Mainly this affects the electronic motion control. But what about the motors? The major technical innovation in rotating motor technology is the high-torque low-speed motor for direct drive applications. This eases the design of a servo-mechanism by removing the reduction system and using an available hollow shaft. The results are often cost-saving and permit better technical characteristics; higher precision & dynamics, no mechanical backlash, less noise, freedom from maintenance.

ENGLISH

Until recently, the choice offered to users was hardly attractive, mainly represented by low power (from 700 W up to 1 kW maximum), high cost reluctance motors, using position sensors and drives quite different from the resolvers and drives for permanent magnet brushless motors, commonly used on servos. In partnership with ANVAR (French National Agency for the Advancement of Research), Alxion, Saint-

DEUTSCH

In den vergangenen Jahren haben sich die Servoantriebe ständig weiterentwickelt. Das Hauptaugenmerk galt dabei der Elektrik und der Elektronik. Doch wie steht es um die Weiterentwicklung der Motoren selbst? Die wesentliche Innovation dürfte hier der drehmomentstarke Direktantriebsmotor für niedrige Drehzahlen sein. Dieser vereinfacht den Aufbau der Servoantriebe deutlich und bietet zudem den Vorteil der direktangetriebenen Hohlwelle. Weitere Vorteile sind höhere Präzision und Dynamik, kein mechanisches Spiel, niedriger Lärmpegel, Wartungsarmut und vor allem geringer Preis.

Denis/France has developed an exclusive range of servomotors with a high output power for direct drive with the aim, of insuring proper technical and economic figures of merit along with user friendliness.

The technology involved in direct drives requiring motors with higher torque, and consequently of a bigger size, proved to be hardly adaptable to all existing servos. We therefore

FRANCAIS

L'innovation technologique majeure dans le secteur des moteurs d'asservissement rotatifs sans balais est l'avènement des moteurs à fort couple fonctionnant à basse vitesse pour les applications d'entraînement direct. Quelle évolution plus naturelle que la simplification conceptuelle apportée par la suppression du réducteur et la mise à profit d'un arbre creux traversant? Les résultats sont des économies notables et permettent d'obtenir de meilleures performances: précision et caractéristiques dynamiques accrues, absence de jeu mécanique, réduction du bruit et de la maintenance.

DEUTSCH

Bis vor kurzem war die angebotene Auswahl der Direktantriebe nur wenig attraktiv und bestand im Wesentlichen aus sehr teuren Reluktanz-Motoren im Bereich zwischen 700 bis 1.000 Watt. Diese arbeiten mit Positionssensoren und speziellen Umrichtern, die sich von Resolvem und Antriebsmodulen, wie sie zur Ansteuerung von bürstenlosen Servomotoren verwendet werden, sehr stark unterscheiden.

ITALIANO

La innovazione tecnica più importante nella tecnologia del servomotore rotativo è rappresentata dai motori alta coppia - bassa velocità concepiti per le applicazioni di trasmissione diretta. E'infatti facile di semplificare il progetto di un servomeccanismo con la soppressione del riduttore di velocità e l'utilizzazione dell'albero cavo. I risultati comportano spesso una riduzione dei costi e la possibilità di ottenere migliori caratteristiche: precisione e prestazioni dinamiche maggiorate, nessun gioco meccanico, riduzione del rumore e nessuna manutenzione.

Alxion, Saint-Denis/Francia, ha ora in collaborazione con ANVAR (franzosische Agentur für Forschung und Entwicklung) direktangetriebene Servomotoren entwickelt, die technisch ausgereift, wirtschaftlich interessant und benutzerfreundlich sind (*figure 1*). Diese Servomotoren verfügen über eine hohe Nennausgangsleistung, wie sie für den Direktantrieb benötigt werden.

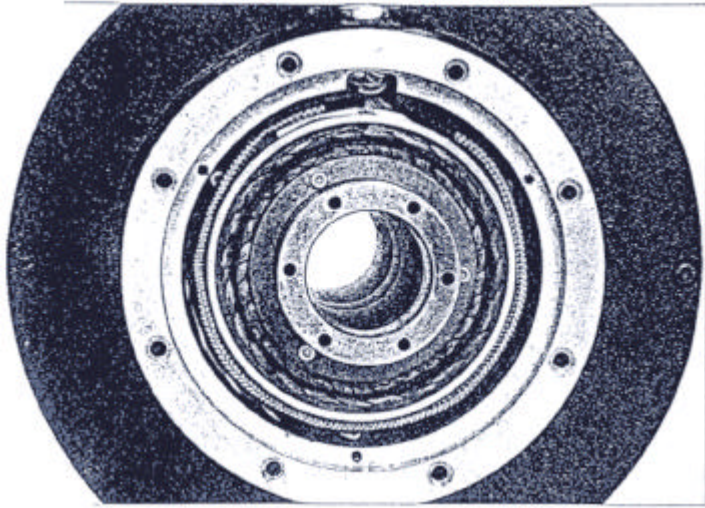


Figure 1. Side-view of Alxion's FC motor showing the central hollow shaft and the accurate resolver

reached the idea that direct drive axis should be able to coexist with traditional moto-reducers on some machines.

Alxion has since been developing permanent magnet brushless motors with associated resolvers, closely adapted to the specific needs of direct driving. These motors can be controlled by brushless drives similar to those used for traditional axis motors. Let us now examine the motivations for using direct drive motors and the technical features of these applications through some examples that can be found in industry.

Motivations for use

Three main motivations can be found for servo engineers to get interested in the direct drive: a) suppression of the reducers, b) simplification of servo-mechanism and c) noise reduction.

Concerning a): The reducers are the cause of the following difficulties:

- periodic maintenance needed
- mechanical backlash related to design or age
- disturbances on speed control, notably when speed is low

Concerning b): Direct driving generally allows to re-think a machine, simplifying it through :

- the removal of transmission and related devices (driving belt, pulleys)

- the possibility of using a central hollow shaft located on direct drive motors for the passage of an auxiliary differential shaft, a screw ball, compressed air or fluids tubes, cables, iron wire, as well of all components involved in servo-control systems put in contact with the load
- the suppression of the position sensor located on the load itself for safety or accuracy, by using the sensor on our motor (resolver).

Concerning c): Noise reduction -related to the suppression of reducers and of transmission gear, and to low-speed rotation.

- this is an increasing significant ergonomic advantage that has a commercial value compared to noisy machines Using high speed motors with reducers.

These three main motivations are supported by the constant concern of users to reduce or

Für den Direktantrieb sind drehnmomentstarke Motoren einzusetzen, die aufgrund der grösseren mechanischen Abmessungen zu konventionellen Servoantrieben nur in den wenigsten Fällen kompatibel sind. Es gibt jedoch sicher zahlreiche Applikationen, bei denen neben traditionellen Servo-Getriebemotoren auch solche mit Direktantrieb zum Einsatz kommen sollten.

Alxion hat seit der Entwicklung des bürstenlosen Servomotors mit Resolver als Rotorlagegeber an der Weiterentwicklung dieser Motoren für den Direktantrieb gearbeitet. Diese Motoren werden mit dem gleichen Umrichtertyp angesteuert, wie er zur Regelung der traditionellen bürstenlosen Servomotoren verwendet wird. Nachfolgend werden die Gründe, die für den professionellen Einsatz der

Direktantriebe in der Industrie sprechen, aufgezeigt und die technischen Vorteile dieser Applikationen mit einigen Beispielen aus der Industrie näher erläutert.

Gründe für den Einsatz

Es gibt drei Hauptgründe, sich bei der Projektierung von Servoantrieben für den Direktantrieb zu entscheiden:

a) die Antriebsuntersetzungen fallen komplett weg, b) das direktangetriebene Servosystem weist einen einfacheren Aufbau auf und c) dessen Geräuschpegel ist niedriger.

Nachfolgend einige Anmerkungen zu den drei Punkten:

a) Bekanntlich wirken sich Drehzahluntersetzungen in folgender Weise als sehr nachteilig aus:

- Sie erfordern meist Wartungsintervalle
- Je nach Ausführung wird das

ACUTRONIC'S HIGH PRECISION ROTARY TABLE USES FC MOTORS FOR DIRECT DRIVE

Mr Hans FEUSI -System Engineering Acutronic- talks to us about his experience of switching to Direct Drive FC motors.

ALXION :In a few words, could you introduce your company to the readers of AMD&C?

HF. ACUTRONIC is a Swiss company present on all five continents with a strong hold in Asia, America and Europe. With 50 employees, ACUTRONIC produces about 40 new systems per year. The systems are single, two, three and more axis instruments capable of producing a well-defined pattern of motion. Our customers are mainly sensor manufacturers and research institutes which test position and rate sensors, accelerometer packages or inertial guidance platforms. This requires an extremely precise and stable servo loop as well as a good dynamic performance.

ALXION. How did you first learn about the exclusive

range of High-Torque Low-Speed FC motors? HF: ALXION's Direct Drive technology isn't yet well known outside the French market; engineers in the field of power amplifiers told me first about the FC motors. ALXION :What was your fundamental motivation for using ALXION's FC motors? HF: For a direct drive motor, the ratio of torque vs. price of the FC motor is very interesting. Also, the possibility to use a central hollow shaft is essential for the design of our system.

ALXION :Compared to traditional motor-reducers, what are the advantages of a system using direct drive technology? HF. Direct drive motors lead to far higher position and velocity precision. At the same time direct coupling extends the bandwidth of the closed servo loop. You can easily understand why direct drive is a must for most of our motion simulators.

at least to control the cost of servos, which can be achieved by direct drive technology provided that machines are properly adapted to all the advantages offered by this technology.

Technical features

Three main problems emerge with direct driving. We will see hereafter the solutions Alxion has met, developed and validated in the industrial field

To ensure regular rotation when speed is low

The driven axis directly

at low speed (generally under 250 RPM). This has two implications regarding design:

- for motors: the torque harmonics, difficult to filter mechanically or electronically due to their low frequency, should be minimized at the electromagnetic conception stage

- for drives : the tacho signal derived from the resolver position signal should be accurate and with a low ripple, hence the need for a high resolution position signal, using a digital resolver conversion into 16 bits or more

mechanische Verdrehspiel im Laufe der Zeit grosser
- Regelungenauigkeiten im Bereich kleiner Drehzahlen

b) Aufgrund des einfacheren Aufbaus des Direktantriebes ergeben sich folgende Vorteile:
-Samtliche Baugruppen zur Drehzahl Anpassung (Zahnriemen und Zahnriemenscheiben) entfallen.
-Durch die Möglichkeit Direktantriebe mit Hohlwellen zu verwenden, kann man auf den Einsatz aufwendiger Hilfsachsen, Kugellager, Gas- und Flüssigkeitszylinder sowie Elektrokabel ganz verzichten. Diese sind bei Anwendung traditioneller Servoantriebssysteme unverzichtbar und beeinflussen das zu bearbeitende Teil.
-Positionssensoren, die aus Sicherheits- und Genauigkeitsgründen innerhalb der Maschine angeordnet werden können, entfallen. Als Rotorlagegeber wird ein Resolver verwendet, der im Motors integriert ist.

c) Reduzierung des Geräuschpegels:
- Dies wird erreicht durch den Wegfall von Riemenunterstützungen und Getrieben so wie durch die langsame Motordrehzahl.
- Die Geräuschreduzierung ist vor allem dann spürbar,

wenn mehrere schnell drehende Inmotoren im Simultan betrieb arbeiten (Master Slave, e-Antriebssysteme).

Diese drei technischen Hauptgründe werden zudem von der Tatsache unterstützt, dass die Direktantriebe sehr preisgünstig sind und sie dadurch der Kundenforderung, den Preis für ein Servo-Antriebssystem zu reduzieren, sehr stark entgegenkommt.

Technische Besonderheiten

Beim Einsatz von Direktantrieben treten in der Praxis häufig drei Hauptprobleme auf. Nachfolgend werden Lösungen von Alxion aufgezeigt, wie man diesen in der Praxis begegnet :

Cewahriestung einer hohen Regelgenauigkeit im niedrigen Drehzahlbereich

Die Drehzahl einer direktangetriebenen Achse ist sehr niedrig (meist unter 250 min⁻¹). Diese Tatsache erfordert daher bei der Projektierung zwei Dinge zu berücksichtigen:
- Motor: Die drehnomentbezogenen harmonischen Oberschwingungen sind aufgrund ihrer niedrigen Frequenz nur sehr schwer mit einem mechanischen oder elektronischen Filter zu

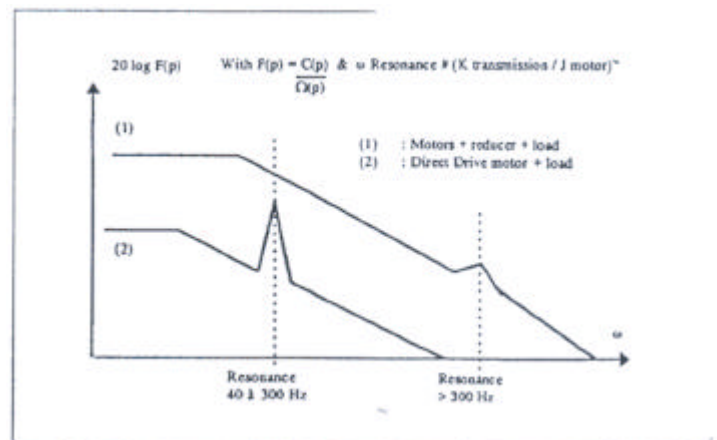


Figure 2. Direct drive requires stiff transmission

To ensure accurate direct positioning

The suppression of reducers implies that the position captor on motors should have the resolution and precision required for good positioning of the axis.

Standard resolvers generally have insufficient precision (approx. +/-10 to +/- 15 arcmin). A high precision resolver (approx. +/-1 arcmin), with a diameter wide enough to allow the passage of a hollow shaft up to 80 mm diameter, has therefore been developed.

The combination of the resolver high precision and of the high resolution provided by the resolver digital conversion by the drive (up to 100,000 increments per turn, therefore 400,000 by electronic processing) allowed us to deal directly with the problems specific to accuracy applications on which we have had to work.

To avoid any mechanical resonance

If the two problems mentioned above are dealt with at the conception stage of the drive, the following one can be met by the designer of servo-systems.

The applications of direct drive do not benefit from the load inertia reduction controlled by motors equipped with reducers. They have as a general characteristic a very high inertia ratio, quite unusual servo drives (Figure 1).

$$30 < \text{Load inertia} / \text{Motor inertia} < 500$$

As a result, the mechanical resonance frequencies of motors are relatively low (frequently from 40 to 300 Hz) and the amplitude of resonance quite high. To obtain high dynamical and stiff servo-control would be impossible with

traditional solutions using PID correctors. Instability, e.g. mechanical oscillation, would then occur. The following diagram compares the mechanical transfer functions in the case of a motor with reducer or in the case of a direct drive motor.

Alxion has therefore developed for drives an anti-resonance filter of a selective type (Notch filter), with adjustable frequency and amplitude, with a very low effect outside the band to be cut and therefore giving no scope to instability. Its action is represented as follows (Figure 2).

Applications of direct drive

Thanks to these technical solutions, Alxion is now able to drive directly the whole set of applications submitted until now-, for mechanisms operating in the needed output power range.

7 main motors, available in 3 diameters (170 mm, 300 mm and 400 mm) have been elaborated, developing permanent torque varying from 26 Nm up to 46Nm.

The Peak power torque, available for a long time due to the high thermal stability is 3 times superior to the value of the continuous torque; the Peak torque is available up to the rated speed, varying from 800 RPM to 120 RPM depending on the motor size

The motors, which have been conceived with the best thermal and electromagnetic qualities to reduce both size and cost, can operate on a continuous torque-to-weight ratio up to 2,3 Nm/kg and to, a peak value of 8.3 Nm/kg. The, biggest motor 390 FC6 can therefore develop a Peak output torque of 1745 Nm., a

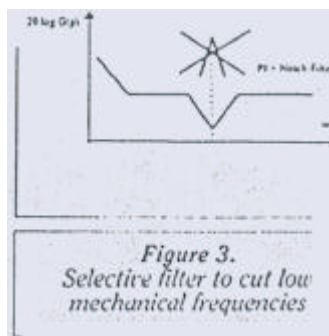
sperren. Sie müssen daher im elektromagnetischen Bereich ihrer Entstehung minimiert werden.

-Umrichter: Das Tachosignal das aus der Rotorlage des Resolvers abgeleitet wird, muss sehr genau sein und darf nur einen sehr geringen Tachoripple aufweisen. Deshalb wird ein hochauflösendes Resolver-signal benötigt. Werden Digitalumrichter verwendet, beträgt die Mindestauflösung des Sollwertes 16Bit.

Gewährleistung einer genauen Positionierung

Da die Untersetzungen wegfallen, ist auf eine präzise Erfassung der Rotorlage zu achten. Deshalb sind unbedingt solche Resolver einzusetzen, die eine hochgenaue Auflösung ermöglichen, um damit eine bessere Positionierung durchführen zu können.

Da Standardresolver nur eine Genauigkeit von circa ±10 bis ±15 arcmin aufweisen, wurde ein Präzisionsresolver entwickelt, der eine Genauigkeit von ±1 arcmin aufweist und ausserdem auf der Hohlwelle Ø 80mm, montiert werden kann. Die Kombination eines Präzisionsresolvers mit hochauflösender Konvertierung der Resolver-signale in Encodersignale im Umrichter (Über 100000 Inkremente/Umdrehung) erlaubt auch den Einsatz bei hochpräzisen Anwendungen



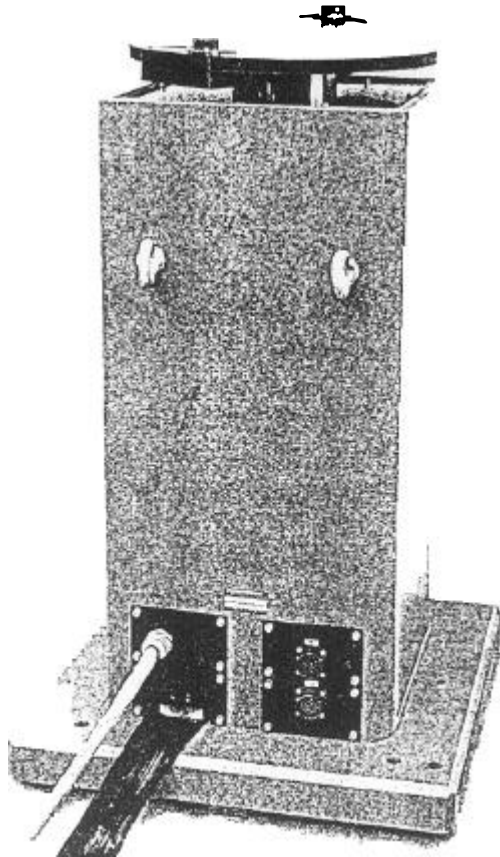


Figure 4. Rotates precisely only one turn per day, some of Acutronic's applications.

Vermeidung von mechanischen Resonanzen

Während die zwei oben genannten Punkte schon in der Entwicklungsphase zu berücksichtigen sind, wird der nachfolgende Punkt bei der Projektierung der Servoantriebe relevant. In Anwendungen mit Direktantrieben gibt es im Gegensatz zu Getriebeapplikationen keine Reduzierung des Fremdtragheitsmomentes.

Deshalb arbeiten diese Applikationen mit einem sehr hohen, für Servoantrieben unüblichen, Verhältnis der Tragheitsmomente.

$$30 < \text{Fremdtragheitsmoment} / \text{Motortragheitsmoment} < 500$$

Das Ergebnis ist eine relativ niedrige mechanische Resonanzfrequenz (zwischen 40 und 300 Hz) bei hoher Amplitude. Die hohe Dynamik und Steifigkeit des Servoantriebes lag sich jedoch nicht mit traditionellen PID-Gliedern erreichen. Die Folge waren Instabilitäten, wie zum Beispiel das Auftreten mechanischer Schwingungen im Antrieb. Das Diagramm 1 (Figure 2) bietet einen direkten Vergleich zwischen der mechanischen

Obertragungsfunktion eines unteretzten Servomotors und einem direktangetriebenen Servomotor.

Alxion hat nun ein spezielles Selektivfilter (Notch-Filter) entwickelt, welches diese mechanischen Resonanzen unterdrückt. Dieses Filter ist entsprechend seiner Frequenz und Amplitude einstellbar, wirkt kaum auf die Frequenzen ausserhalb des selektierten Frequenzbandes aus und hilft dadurch, Instabilitäten zu vermeiden. Die Arbeitsweise des Notch-Filters ist im Diagramm 2 (figure 3) dargestellt:

Anwendungen der Direktantriebe

Aufgrund der beschriebenen technischen Lösungen bei den genannten Problemen ist Alxion in der Lage, die verschiedensten Applikationen mit Direktantrieben bei unterschiedlichsten Nennausgangsleistung zu realisieren.

Insgesamt sind sieben Motorgrossen mit drei unterschiedlichen Wellendurchmessern (170 mm, 300 mm und 400 mm) sowie Nennmomenten von 26 bis 460 Nm lieferbar. Das Spitzendrehmoment ist aufgrund der hohen thermischen Stabilität dieses Motortyps für lange Zeit verfügbar. Es entspricht dem dreifachen Nennmoment und wird bis zum Erreichen der Nenndrehzahl abgegeben. Die Nenndrehzahl ist abhängig von der Motorgrosse und liegt zwischen 120 min⁻¹ und 600 min⁻¹.

Die Motoren werden unter Verwendung hochwertigster Materialien hergestellt. Dadurch ist es möglich, die Motorgrosse und damit die Kosten zu reduzieren. Das Verhältnis von Nennmoment zur Masse beträgt 2,3 Nm 1 kg während das Verhältnis von Spitzenmoment zur Masse 8,3 Nm/kg beträgt. Der grösste Motor - Typ 390 FC 6 - ist in der Lage ein Spitzendrehmoment von immerhin 1745 Nm bei einer maximalen Ausgangsleistung von 24 kW und einer Masse von 200 kg abzugeben.

Wie bereits in der Einleitung betont wurde, können diese Motoren in sehr vielen Applikationen verwendet werden, in denen bisher Motoren mit entsprechender Untersetzung eingesetzt wurden. Bis auf kleine Einschränkungen hinsichtlich einiger spezieller

maximal power of 24 kW for a weight of 200kg.

As we said in the introduction, the applications for direct drive are commonly found on machines using reducers. Drives are identical for all axes, only a number of parameters need to be individualised (speed, resolution of resolver processing, filters).

Hereafter are mentioned some of the typical applications of direct drive to be found in the industry :

- Tyre industry : direct driving of variable diameter drums for preparation and moulding of tyres; direct driving of automated carriages from work station to work station; - Glass industry : directly driven spindle motors for making hollow glass items;

direct drive 'pick and place' arms carrying items from oven;

Textile industry - direct drive of padding and topstitching heads; direct drive of cylinders for carpet making; Bending machines . bending heads in contact with the rotor, with the iron wire or tube going through the shaft; Assembling robotics : active parts of the motor located in the automated arm articulation;

Plastic injection machines screw ball going through the shaft with an axial thrust; Printing machines: direct of drums for synchronised-transport of paper and cardboard; Motion simulators: direct drive of rotating tables for precise and dynamic measurements-

Parameter (Drehzahl, Resolverauflosung, Notch-Filter) kann für alle Achsen der gleiche Umrichtertyp verwendet werden.

Typische Anwendungen für den Einsatz der Direktantriebe sind nachfolgend aufgeführt:

- Reifenindustrie. Direktantrieb von Trommeln mit variablen Durchmessern für die Vorbereitung und Herstellung von Autoreifen; Direktantrieb automatisiert Transporte von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz
- Glasindustrie: Direktantreibende Spindel-motoren für die Glasrohrenherstellung
Direktantriebe für Handhabungssysteme
- Textilindustrie:

Direktantrieb von Polster und Nahköpfen
Zylinderdirektantrieb bei der Teppichherstellung

- Biegemaschinen: Biegeköpfe in Motornähe - das Eisenrundmaterial bzw. die zu biegenden Röhren können durch die Welle geführt werden.

- Montageroboter- Aktive Motorteile befinden sich im Gelenk des Greifarms

- Kunststoffspritzgießmaschine n:

Axialspritzkopf kann durch die Motorwelle geführt werden

- Druckmaschinen: direktangetriebene Trommeln für den gleichzeitigen Transport von Papier und Karton.