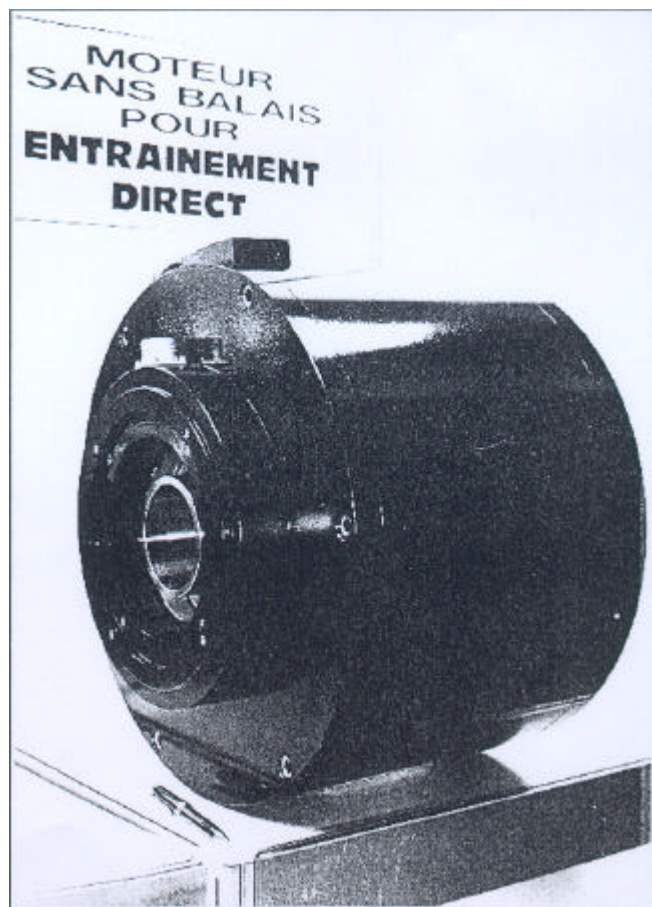


Servo moteurs à fort couple pour entraînement direct :

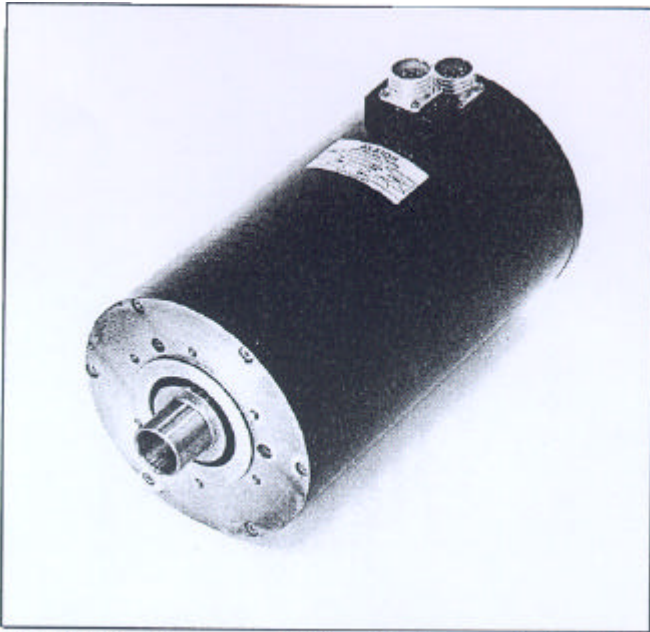
une réalité industrielle

Quel concepteur de servomécanismes n'a pas un jour caressé l'idée de pouvoir simplifier ses machines en entraînant en direct, sans réducteur, sans transmission et sans déport, ses axes automatisés.

Jusqu'à récemment, force est de reconnaître que les utilisateurs disposaient d'une offre de servomoteurs peu attractive représentée essentiellement par des moteurs à réluctance variable de puissance faible, de 700 W à 1 kW au maximum, de coût élevé et utilisant des capteurs de position et des variateurs de vitesse spécifiques, notamment différents des résolveurs et des variateurs de vitesse pour moteurs, sans balais à aimants permanents universellement employés sur les axes asservis. Alxion Automatique et Productique a développé une gamme de servomoteurs à fort couple pour entraînement direct en partenariat avec l'ANVAR, avec un souci de grande simplicité technico-économique. En effet, la technologie d'entraînement direct nécessitant des moteurs de couple, donc de volume plus important, il est apparu qu'elle ne pouvait



Moteur 390 FC2. 248Nm permanent - 885Nm crête arbre creux de diamètre 70mm



Moteur 170FC4. 48Nm permanent 160Nm crête arbre creux de diamètre 35mm

s'appliquer à tous les axes du marché.

L'idée s'est donc imposée que des axes à entraînement direct devraient cohabiter sur certaines machines avec des axes traditionnels à moto réducteurs,

La démarche d'Alxion s'est donc orientée vers le déve-

veloppement de moteurs sans balais à aimants permanents avec résolver associé, optimisés en fonction des spécificités de l'entraînement direct, afin qu'ils puissent être pilotés par des variateurs Brushless similaires à ceux pilotant les moteurs d'axes traditionnels. Il convient maintenant d'ap-

profondir les motivations des utilisateurs d'entraînement direct les spécificités techniques de ces applications et enfin de donner des exemples d'applications industrielles réalisées.

Motivations pour l'utilisation de l'Entraînement Direct

On rencontre trois motivations majeures qui conduisent les concepteurs de servomécanismes à s'intéresser à l'entraînement direct:

- **Suppression des réducteurs:** il s'agit de l'argument le plus fréquent car le plus immédiat. En effet, les réducteurs posent les problèmes suivants avec plus ou moins d'acuité, selon les applications :

- ◆ **maintenances périodique.** Jeux mécaniques liés à la construction ou à l'usure.
- ◆ **introduction de perturbations sur la régulation de vitesse,** principalement en basse vitesse.

Simplification du servomécanisme d'entraînement direct permet généralement

de repenser une machine en la simplifiant grâce notamment à :

la suppression des transmissions et des déports:, poulies, courroies, renvois.

- ◆ la possibilité d'exploiter un arbre creux traversant les moteurs pour entraînement direct afin de faire passer un arbre auxiliaire de différentiel, une vis à billes, des canalisations de fluides ou d'air comprimé, des câbles, du fil d'acier et d'une façon générale tout élément participant au processus automatisé devant être au contact de la charge.

- ◆ la suppression du capteur de position situé sur la charge elle même dans les applications à caractère de précision ou de sécurité, pour utiliser le capteur situé sur le moteur (résolver dans notre cas).

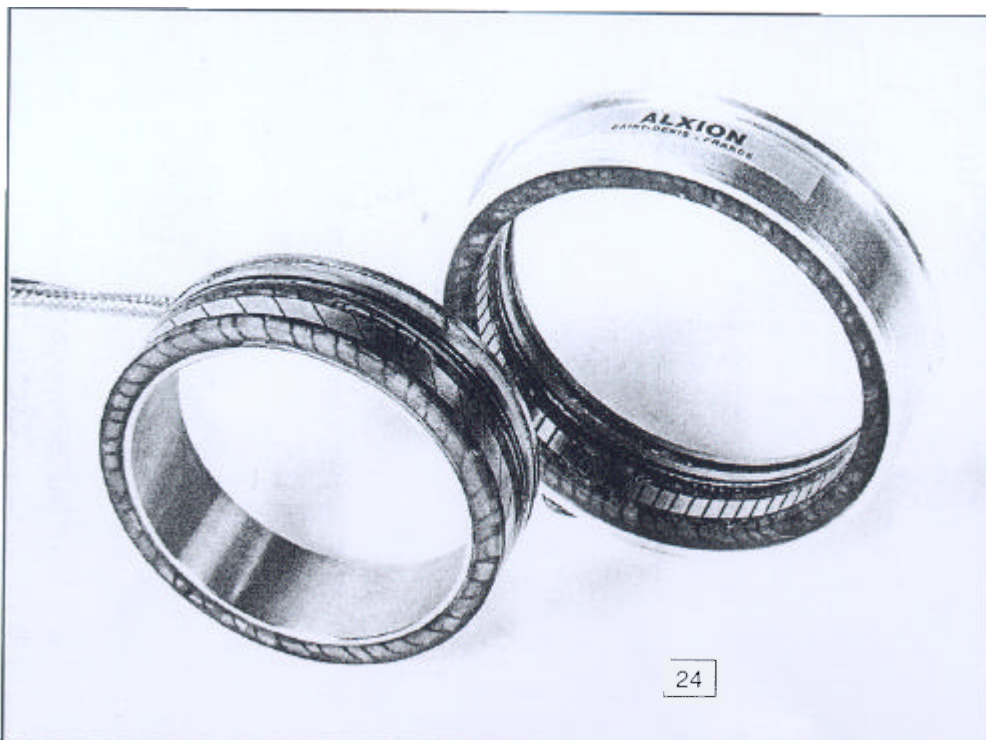
- **Diminution du bruit:** Elles est liée à la suppression des réducteurs et des transmissions et à la rotation à bas- se vitesse.

Il s'agit d'un atout ergonomique non négligeable dans les ateliers comportant traditionnellement un grand nombre d'axes tournant à haute vitesse

Ces trois grandes motivations s'accompagnent du souci constant chez l'utilisateur de maîtriser le coût de ses servomécanismes ou mieux de le réduire, ce qui sera autorisé par l'entraînement direct à condition d'adopter la machine à l'ensemble des atouts qu'offre cette technologie.

spécificités techniques des applications d'Entraînement Direct-

Trois problèmes majeurs liés à l'entraînement direct caractérisent les applications et nous exposons ci-après les solutions qu'Alxion a développées et validées industrielle-



ment pour les résoudre:

- Assurer une rotation régulière en basse vitesse

Les axes entraînés en direct tournent en basse vitesse (généralement au dessous de 250 tr/mn). Cela implique deux orientations dans la conception :

- ◆ au niveau du moteur : les harmoniques de couple qui ne pourront pas être filtrés aisément ni mécaniquement ni électroniquement du fait de leur faible fréquence, doivent être minimisés dès la conception électromagnétique.

- ◆ au niveau du variateur le signal tachymétrique provenant de la dérivation du signal de position du résolveur devra être précis et très faiblement bruité. Il faudra donc travailler avec un signal de position à haute résolution ; elle utilise pour cela une conversion résolveur numérique en 16 bits.

- Assurer un positionnement précis en direct

la suppression du réducteur implique que le capteur de position situé sur le moteur ait intrinsèquement la résolution et la précision requise pour le positionnement de l'axe.

Les résolveurs standard étant généralement de précision insuffisante (+/- 10 à +/- 15 minutes d'arc), elle a développé un résolveur de précision mesurée à +/- 1 minute et de diamètre intérieur suffisant pour

autoriser le passage d'arbre creux jusqu'à un diamètre de XXmm

La combinaison de la haute précision du résolveur et de la résolution élevée donnée par la conversion résolveur / numérique du variateur (jusqu'à 100000 points de base par tour et donc 400000 par traitement électronique du séquençement) nous ont donné la possibilité de traiter en direct les applications de précision auxquelles nous avons été confrontés,

- Eviter d'exciter la résonance mécanique

Si les deux problèmes évoqués antérieurement concernent le concepteur de l'équipement

moto-variateur, le dernier peut également être éprouvé par le concepteur du servo-mécanisme.

Les applications d'entraînement direct ne bénéficiant pas

De la réduction d'inertie de charge vue par le moteur existant dans le cas de moto-réducteurs, sont caractérisés généralement par des rapports d'inertie très élevés et très inhabituels pour les concepteurs de servo-mécanismes.

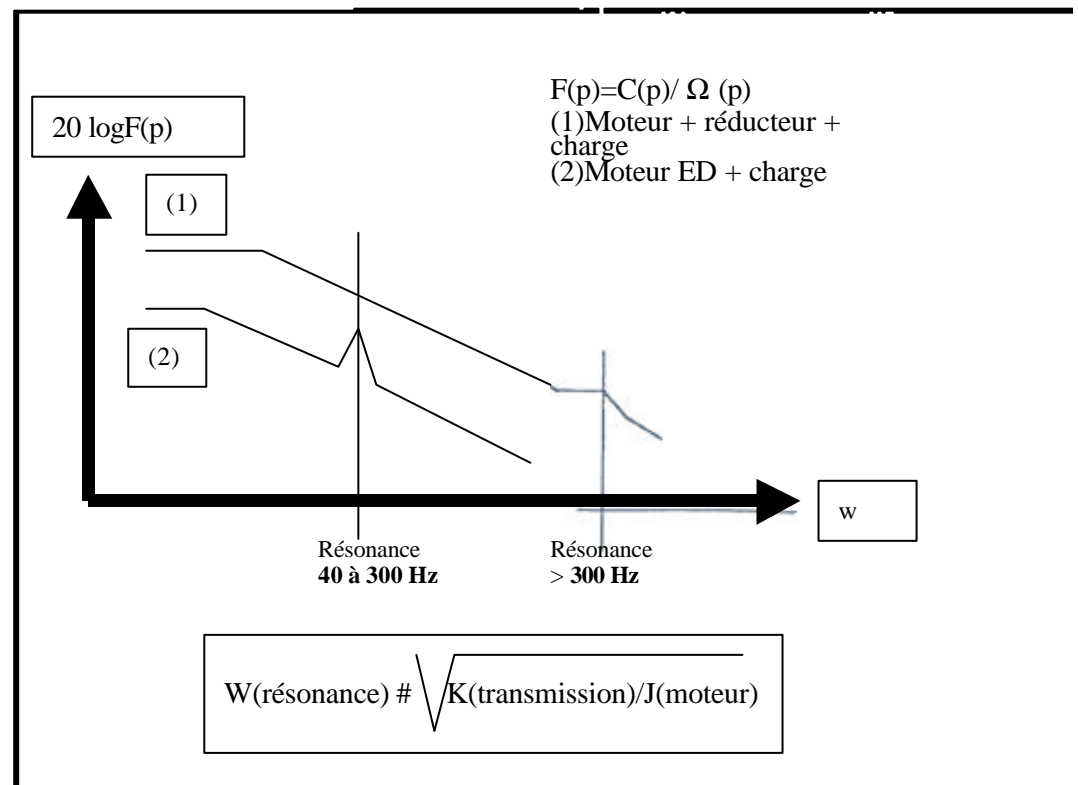
$30 < \text{inertie charge} / \text{inertie moteur} < 500$

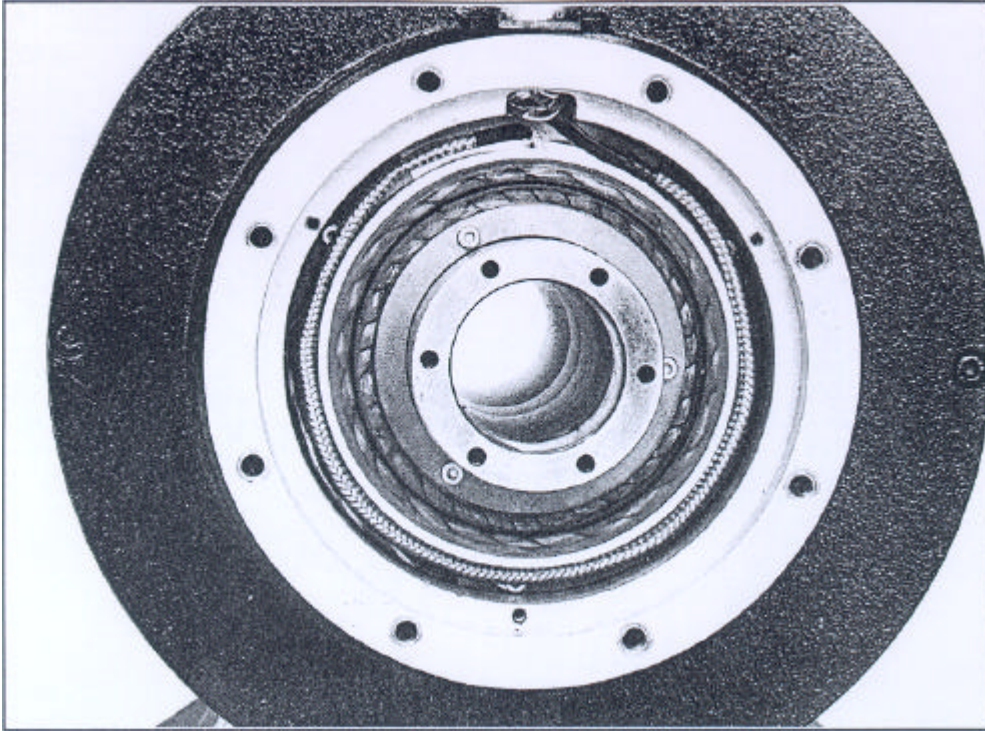
On en déduit des fréquences de résonance mécanique coté moteur relativement basses (fréquemment de 40 à 300 Hz)

et une amplitude de résonance très élevée. Obtenir un asservissement à haute dynamique et forte raideur serait donc impossible avec les solutions traditionnelles de correcteurs PID; on serait conduit à l'instabilité, plus communément appelée «pompage».

La figure qui suit montre, pour illustrer ce concept, la comparaison entre la fonction de transfert 'mécanique dans le cas d'un moto-réducteur et dans le cas d'un entraînement direct:

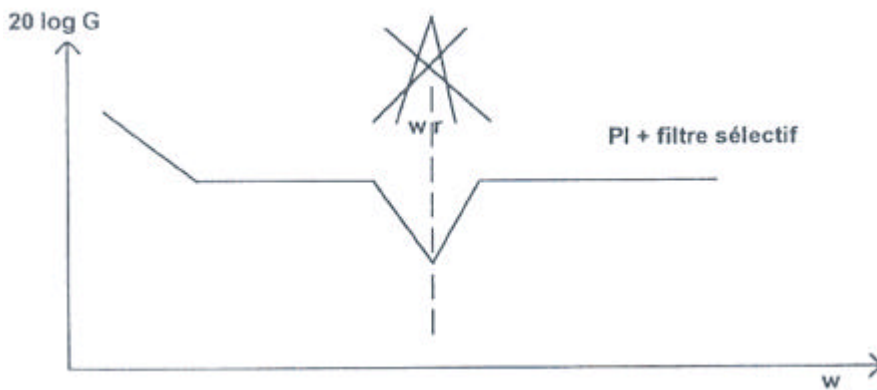
Cette société a donc développée sur les variateurs un filtre anti-résonant de type sélectif (Notch Filter) de fréquence et d'amplitude réglables et présentant





Moteur 290 FC4. Gros pion sur le resolver de précision et l'arbre creux traversant

l'avantage d'une incidence très faible sur la phase en dehors de la bande coupée, donc ne présentant pas de risque d'instabilité. Son action est symbolisée comme suit:



3/ Applications d'entraînement direct
Grâce aux solutions techniques évoquées au paragraphe précédent, Alxion a pu piloter en entraînement direct l'ensemble des applications qui lui ont été soumises dans la gamme de puissance développée. Sept moteurs principaux en

trois diamètres (170 mm, 300 mm et 400 mm) ont été créés, développant des couples permanents de 26 Nm à 460 Nm. Le couple maximal disponible pendant un temps très

long du fait de la forte inertie thermique des moteurs dépasse la valeur de 3 fois le couple permanent ; le couple maximal est disponible jusqu'à la vitesse nominale, variant de 600 tr/mn à 120 tr/mn selon la taille. Les moteurs optimisés thermiquement et électromagnétiquement pour assurer à la fois

compacité et coûts réduits développent un couple permanent massique atteignant 2,3 Nm/Kg et un couple Crête massique jusqu'à 8,3 Nm/Kg. Ainsi, le plus gros moteur, le 390 FC6 développe t-il 1745

Nm en Crête jusqu'à 130 tr/ mn, soit une puissance maximale de 24 kW pour une masse d'environ 200 Kg. Comme annoncé en introduction, les applications d'entraînement direct cohabitent souvent avec des applications à moto réducteurs. Dans les machines, les variateurs sont identiques pour tous

les axes, seuls certains paramètres numériques sont personnalisés (vitesse, résolution du traitement resolver, présence de filtres). Citons ci-après quelques exemples d'applications industrielles caractéristiques d'entraînement direct réalisées à ce jour:

- Industrie du pneumatique: entraînement direct de tambours déformables pour la confection et Ici mise à la forme du pneu.
- Industrie du verre: entraînement direct de chariots autonomes poste à poste.

- Industrie du verre: Moteurs broches en entraînement direct pour fabrication d'articles en verre creux.
- Industrie textile: entraînement direct de bras «pick and place» en sortie de four.
- Industrie textile: entraînement direct de têtes de surpiquage et de matelassage.
- Machines de cintrage: entraînement direct de cylindres pour la confection de moquettes.
- Machines de cintrage: têtes de cintrage au nez du moteur avec fil d'acier traversant l'arbre.
- Robotique d'assemblage: parties actives du moteur logées dans l'articulation du robot.
- Machines d'injection plastique : vis à billes de poussée axiale traversant l'arbre creux.
- Machines d'imprimerie: entraînement de cylindres d'amenage et de cylindres porte clichés.