

Informations techniques générales sur les moteurs TK :

La gamme de moteurs frameless TK offre **LES PLUS HAUTES DENSITES DE COUPLE** disponibles à ce jour pour les applications d'entraînements directs à hautes performances.

A la différence des moteurs couple traditionnels, les moteurs TK **offrent à la fois des couples élevés et une capacité de fonctionnement à haute vitesse**, ils peuvent ainsi être utilisés indifféremment en tant que moteur « couple » pour l'entraînement de plateaux et comme moteur de broche.

Les moteurs TK sont constitués d'un rotor et d'un stator fournis séparément adaptés pour un assemblage direct dans la structure de la machine. Ces moteurs triphasés synchrones à aimant permanents terres rares (Néodyme Fer Bore), atteignent les plus hautes densités de couple (nominal et impulsionnel) combinés à un fonctionnement à haute vitesse et **à la possibilité d'un pilotage avec contrôle de flux pour un travail à puissance constante jusqu'à 10 fois la vitesse nominale.**

Les rotors utilisent les aimants spéciaux à faible coefficient de pertes conçus et fabriqués par Phase, permettant ainsi **des très hautes vitesses et un rotor mince isotrope.**

Tous les rotors sont constitués d'un corps rigide avec des **aimants montés mécaniquement (sans colle !) et maintenus par un manchon préchargé en fibre de carbone autorisant sans risque les très hautes vitesses.**

Les rotors sont fréquemment adaptés pour un montage direct des roulements, des codeurs ou des freins.

Tous les moteurs TK sont prévus pour un fonctionnement avec refroidissement liquide (eau) sur l'extérieur du stator pour des performances maximums. Un fonctionnement avec refroidissement par conduction / convection seules est aussi possible. Le fonctionnement à puissance constante (contrôle de flux) nécessite obligatoirement un refroidissement liquide.

Des carcasses spéciales avec circuit de refroidissement complet ou même un sous ensemble de la machine avec roulements et codeur sont construits sur demande. Ces systèmes sont conçus autour de nos designs magnétiques standards.

La gamme de couple va de 10 à 40000 Nm pour un diamètre maximum de 1150 mm.

Au-delà de cette taille des moteurs semi custom construits par segments sont disponibles, actuellement jusqu'à 18 m de diamètre !



Applications:

Usinage :	Tables d'usinage à entraînements directs à fonctionnement mixte tournage/fraisage. Electrobroches synchrones pour centre d'usinage et tours. Electrobroches tubulaires pour machines multi broches. Tables d'indexage pour machine transfert.
Formage	Entraînement direct pour presse électrique. Machines de laminage à froid. Revolver à entraînement direct pour machines de laminage/étirage à chaud et à froid.
Plastic	Extrudeur à entraînement direct.
Caoutchouc	Mixage, dosage, Injection sur machine à injecter le plastique (remplacement du moteur hydraulique, suppression du réducteur sur le mélangeur, sur le broyeur, sur l'effilocheuse).
Energie	Générateurs à aimants permanents pour petites turbines à vapeurs ou à gaz, cogénération.

Morphologie du moteur et guide d'application :

Les moteurs sont constitués de :

Un stator triphasé, bobiné et imprégné (triple imprégnation, solution préconisée pour les cycles thermiques intensifs), ou encapsulé sous vide dans une résine super haute conductivité thermique (pour une basse température de surface)

Dans tous les cas, le rotor est construit dans une fine microcarcasse cylindrique en acier, ou dans une carcasse métallique comprenant sur l'extérieur les chambres du circuit de refroidissement et l'emplacement pour les joints toriques ainsi que un ensemble de trous taraudé sur une des faces (Type Squid).

Les stators avec microcarcasse sont usinés avec une tolérance h7 sur le diamètre extérieur et les deux faces sont usinées parallèles. Cette construction est prévue pour un montage fretté ou pour un blocage axial.

Cette technologie avec microcarcasse optimise l'utilisation de l'espace dans l'assemblage et nécessite que la structure comprenne le circuit de refroidissement. Cela nécessite quelques précautions dans l'étude de l'application mais le résultat est la meilleure optimisation du volume et la plus haute densité de puissance possible à ce jour.



La solution SQUID (carcasse avec circuit de refroidissement) est plus simple d'utilisation et se monte dans une simple cavité cylindrique ; le montage et le maintien du moteur sont réalisés par un ensemble de vis. La densité de couple obtenu est légèrement inférieure du fait du volume de la carcasse.

L'isolation des moteurs est de classe H (aimants : classe C) avec une isolation renforcée spécifiquement étudiée pour les très haut DV/dt typiques des pilotages par servo variateurs bus régulé 600 Vdc. Le bobinage est équipé de trois sondes PTC pour la protection et d'une sonde linéaire KTY84 pour la surveillance du processus. Le point central du bobinage aussi généralement disponible pour un filtrage. Tous les bobinages sont testés en usines : 4,5 kVdc entre phases et terre ; 3,5 KVdc entre phases ; ce qui est très supérieur aux exigences de la législation.

Un rotor à aimants permanents de forme tubulaire isotrope qui porte les aimants à sa périphérie protégés par une enveloppe préchargée en fibre de carbone (autorisant des vitesses périphériques de 150 m/s).

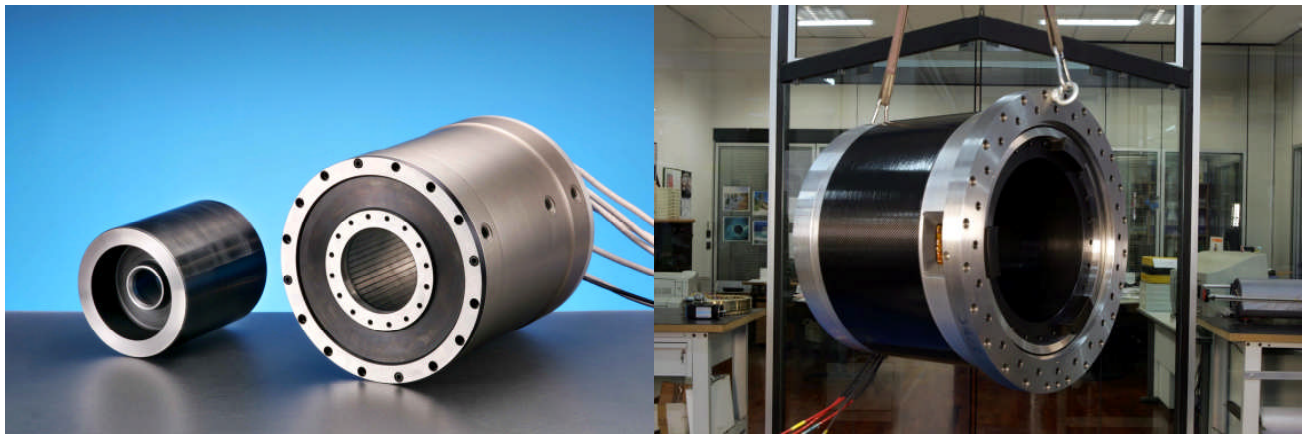
Généralement, ce sont des aimants frittés hautes températures et à hautes énergie en NdFeB fabriqués par PHASE MOTION CONTROL suivant sa technologie spéciale brevetée. Ils sont conçus pour la plus haute classe de température et sont virtuellement non démagnétisables (sauf mauvaise utilisation). Si un contact permanent avec de l'huile est nécessaire, il est possible de définir des aimants spéciaux résistants à l'huile.

Le rotor peut être monté sur l'arbre soit par frettage sur un arbre soit par un jeu de vis axiales. Cette dernière construction étant préférée pour les applications à très fort couple et basses vitesses comme les tables rotatives.

En général, l'interface du rotor est customisé pour s'adapter aux contraintes de la machine, tant que la forme demandée par l'application reste compatible avec le diamètre maximum interne du rotor requis par le champ magnétique et tel que spécifié dans les documentations techniques.

Pour le fonctionnement du moteur il est nécessaire d'installer un capteur de position (non fourni) sur l'arbre à la fois pour l'orientation du champ et pour les régulations de vitesse et position.

Le rotor à aimants permanents ne produit pas de chaleur (pas de pertes) et il n'est donc pas nécessaire de refroidir le rotor. Cependant, la fréquence de découpage du variateur doit être suffisamment haute pour assurer que l'ondulation de courant (crête à crête) soit inférieure à 20% du courant nominal rms, et ce pour éviter l'apparition d'inacceptables et dangereuses pertes parasites au niveau du rotor.



Des carcasses spéciales avec circuit de refroidissement complet ou même un sous ensemble de la machine avec roulements et codeur sont construits sur demande. Ces systèmes sont conçus autour de nos designs magnétiques standards.

Les rotors sont fournis non équilibrés ; les applications à hautes vitesses nécessitant la réalisation d'un équilibrage dynamique lorsque le rotor est assemblé sur l'arbre.

En fonction de leur géométrie et du circuit magnétique, les moteurs TK peuvent être regroupés en trois catégories principales :

Moteur court de grand diamètre à fort couple et basse vitesse (moteur couple)

Applications typiques:

- Plateau d'usinage sur machine outil, avec souvent possibilité de travail en tournage.
- Plateaux indexeurs sur machines transfert.
- Orientation de la tête d'usinage de machines outils.
- Plateaux de grandes dimensions (verrerie, emballage, assemblage)
- Machine de dépose de fibres carbone.
- Entraînement direct de malaxeurs (béton, céramique, caoutchouc)
- Générateur basse vitesse (mini centrale hydraulique, énergie éolienne)
- Formage du métal : Presse électrique et cintrage.
- Entraînement direct de presse à injecter le plastique.

Dans ce type d'applications l'entraînement direct élimine les jeux ainsi que l'utilisation d'un réducteur mécanique de précision qui auraient pénalisé la précision et les performances dynamiques du système. Un système d'indexage mécanique n'est plus nécessaire. La précision de la table est alors celle du codeur. Le système devient extrêmement simple, flexible et reprogrammable.



Le retrait du système de transmission, de ses jeux et de son élasticité permet d'atteindre des bandes passantes de 250 Hz. Ainsi un positionnement peut être effectué avec une très grande précision en quelques msec, ce qui permet d'améliorer les temps de cycle de la machine.

Afin d'obtenir d'assurer la performance adéquate de l'asservissement dans les applications d'entraînement direct de grande précision et forte rigidité, telles que les plateaux d'usinage et les tables d'indexage, le capteur doit être de type sinus afin que le contrôleur puisse interpoler les signaux pour obtenir une résolution au moins 10 fois supérieure à la précision demandée. De plus l'accouplement ou le système de liaison du capteur doit avoir une fréquence de résonance intrinsèque supérieure à 2000 Hz pour ne pas limiter les performances globales du système.



Moteurs de broche pour fraiseuses et tours.

Moteurs brushless longs et fins avec capacité de contrôle de flux pour des vitesses moyennes à hautes et avec une densité de puissance élevée. Ces moteurs sont adaptés à l'usinage lourd ou au contrôle de fortes inerties sur des applications d'enroulage/déroulage.

Les moteurs TK ont actuellement la plus haute densité de puissance et permettent la fabrication d'électrobroches ayant des couples qui étaient jusqu'à présent inatteignable de plusieurs milliers de Nm tout en atteignant des vitesses de plusieurs milliers de tours/min !

Ce type de moteur de broche est avant tout un servo moteur haute performance et un domaine d'application émergent est les systèmes à temps de cycle très court. Des applications récentes sont l'entraînement direct du coulisseau de presse de découpe à barillet à grande vitesse qui dépasse les 300 cps/min, ou encore l'indexage rapide pour des machines de soudage.

Applications typiques :

- Tours de forte puissance.
- Moteurs de broche pour fraiseuse et centre d'usinage haute vitesse.
- Wire grid manufacturing

Moteur tubulaire à faible diamètre pour application multibroches.

Applications typiques :

- Moteurs hautes vitesses/fortes puissances pour lesquels l'encombrement latéral est limité
- Unités de perçage multi têtes
- Tours « suisses » multibroches

Section standard des câbles en fonction du courant nominal moteur:

insulations PTFE, 2500 Vac, L=500 mm

Courant nominal	Section fils
In < 15 Arms	1.22 mm ² = AWG 16
15 Arms <= In < 25 Arms	2.97 mm ² = AWG 12
25 Arms <= In < 45 Arms	8.6 mm ² = AWG 8
45 Arms <= In < 82 Arms	15 mm ²
82 Arms <= In < 110 Arms	25 mm ²
110 Arms <= In < 200 Arms	50 mm ²

Comment choisir son moteur TK?

Premièrement, il faut valider la faisabilité technique de l'application. En général tous les moteurs possèdent la même limite physique qui est leur capacité à produire une « poussée d'entrefer », i.e. une poussée radiale entre le rotor et le stator qui est une poussée linéaire sur un moteur linéaire et qui devient un couple si le moteur est rond. La quantité de poussée par unité de surface dépend de la technologie du moteur mais est intrinsèquement limitée par les propriétés des matériaux utilisés dans le moteur (aimants, cuivre, acier). La technologie des moteurs à aimants permanents PHASE offre la plus haute poussée spécifique disponible à ce jour, et cette valeur est graduellement augmentée avec l'amélioration de la technologie. De nombreux facteurs (conditions de refroidissement, taille, épaisseur de l'entrefer, linéarité de la vitesse, etc...) ont un impact sur cette valeur qui ne devrait être utilisée qu'à titre indicatif. Les moteurs rotatifs TK et les moteurs linéaires Wave sont caractérisés par une poussée crête d'environ 80000 N/m² et d'une poussée nominale avec refroidissement liquide d'environ 55000 N/m².

La limite de poussée explique pourquoi il est toujours préférable d'utiliser le diamètre maximum disponible pour maximiser le couple du système. En règle générale, si le diamètre du moteur est utilisé comme échelle de référence, le couple sera proportionnel au carré du diamètre tandis qu'il sera proportionnel à la longueur du moteur. En conséquence, pour vérifier si une application est faisable et si le couple est considéré comme la donnée impérative, le diamètre maximum disponible devra être déterminé en tenant compte des limites physiques et de la vitesse périphérique maximum (les vitesses inférieures à 150 m/s ne posant aucun problème), cela permettant de calculer la surface de l'entrefer nécessaire. Cela donnerait une estimation grossière de la longueur du moteur et donc permettrait de savoir si l'application est faisable ou non.

Les moteurs de très grand diamètre de faible longueur sont la solution la plus efficace pour **les applications à très fort couple et basse vitesse**. Ils ont l'avantage supplémentaire de ne pas nécessiter de roulements propre du fait qu'ils peuvent être intégrés sur les roulements de la charge. Cependant, l'inertie étant proportionnelle au cube du diamètre, **quand l'inertie est la charge principale une solution utilisant un moteur long et fin sera plus appropriée**. Des exemples typiques sont l'entraînement direct du marteau d'une presse de formage à haute vitesse pour laquelle le mouvement est inversé 300 fois par minutes, ou les cisailles volantes hautes vitesses. Dans ce cas, l'utilisation d'un moteur TK tubulaire à refroidissement liquide est la solution la plus performante.

Les électrobroches nécessitent en général à la fois des forts couples et des hautes vitesses mais le diamètre étant généralement limité ces moteurs ont tendances à être longs et fins. Des rapports diamètre-longueur de 1 pour 3 sont couramment réalisés. Dans ce cas, la technologie des aimants permanents PHASE permet de fabriquer **des rotors et des stators extrêmement fins** qui sont particulièrement utiles pour les applications **multibroches**.

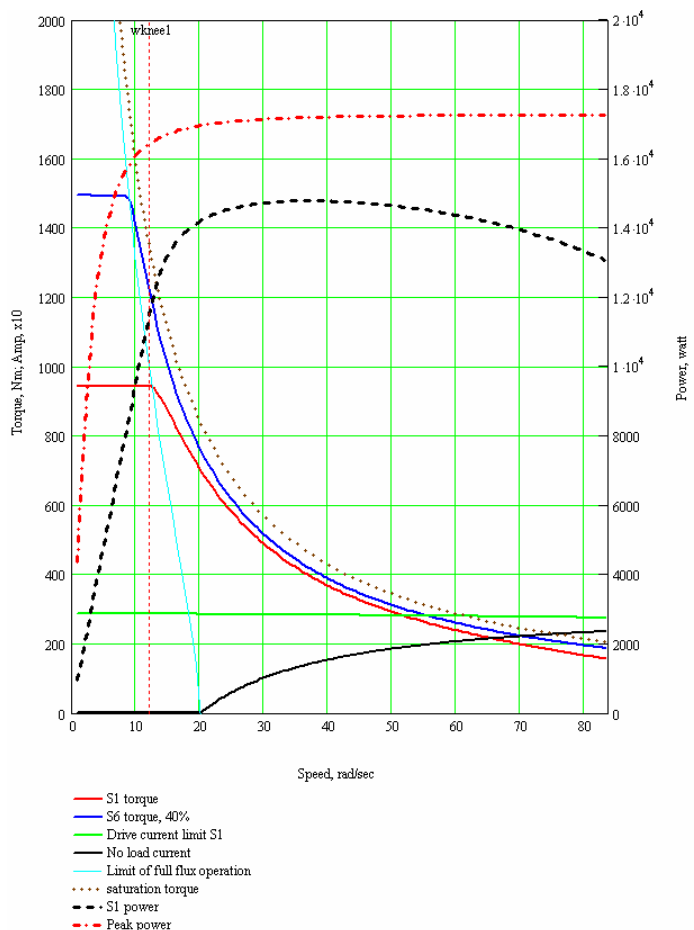
Les moteurs de broches synchrones à aimants permanents fabriqués avec la technologie haute fréquence de PHASE peuvent travailler suivant les deux modes couple constant et puissance constante. La plage d'utilisation à puissance constante dépend du type de moteur et peut dépasser le ratio 10 : 1, bien qu'elle soit en général limitée par les capacités du variateur sélectionné.

Par rapport aux moteurs de broches asynchrones à induction, nos moteurs à aimants permanents apportent :

- un couple nominal environ deux fois supérieur dans le même volume.
- Un diamètre d'arbre plus gros pour le même diamètre extérieur.
- Un rotor « froid » :
 - Durée de vie des roulements accrue.
 - Précision accrue.
- Un rotor homogène et isotrope garantissant la stabilité de l'équilibrage => meilleur état de surface.
- Une large plage d'utilisation à puissance constante (jusqu'à 10 fois Vnom) sans changement de câblage.
- Pas de flux radial qui pourrait créer des courants dans les roulements.

Dans la technologie des moteurs TK de Phase il n'y a pas de différence physique fondamentale entre les moteurs couple et les moteurs de broche. Ils ont la même douceur de fonctionnement (très faible cogging) et de très hautes bandes passantes nécessaires pour l'entraînement direct de systèmes d'indexage et de contournage ; **ainsi est-il maintenant possible d'associer des opérations de fraisage et de tournage sur le même moteur !**

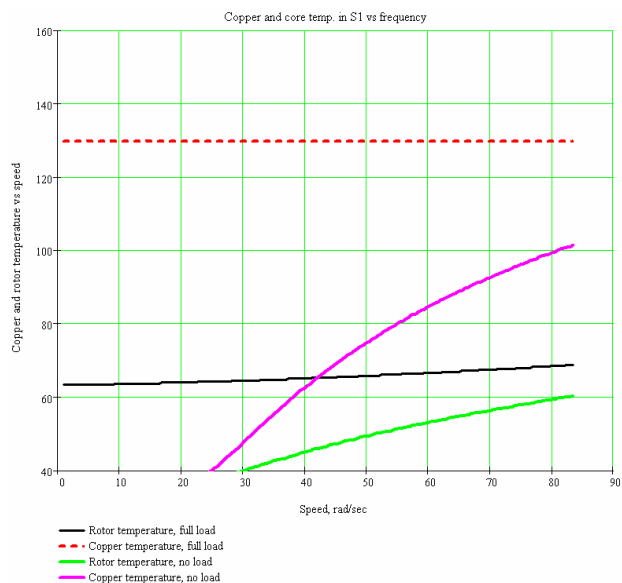
Il y a cependant une différence fondamentale entre les moteurs à aimants permanents et les moteurs de broche à induction. Dans la technologie du moteur à induction, la puissance est utilisée pour magnétiser le moteur ce qui a pour résultat de limiter le couple disponible ; la réduction de flux est facilement réalisée en réduisant le courant de magnétisation. Ainsi le moteur est « chaud » à charge maximum et « froid » à charge nulle. Pour les moteurs à aimants permanents, à l'inverse, le champ magnétique provient d'aimants à haute énergie, ainsi aucune puissance n'est nécessaire pour créer le champ du moteur et plus de puissance peut être consacrée à la génération du couple. Cependant, quand le flux doit être réduit de la puissance doit être appliquée pour diminuer le flux, ce qui fait que ces moteurs consomment un peu de courant à vitesse élevée même s'il n'y pas de charge.



Les courbes typiques (puissance/vitesse et couple/vitesse) sont présentées sur le graphe (ci-dessus). Ces courbes correspondent à un moteur à fonctionnement mixte (moteur couple et broche) de diamètre 570 mm et de 100 mm de long.

Sur le figure 2 (ci-contre) sont représentées la température du moteur à vide et en pleine charge.

On peut constater qu'en dessous de la vitesse de base (« knee speed ») i.e. la vitesse de transition entre le fonctionnement à couple constant et le fonctionnement à puissance constante, la température du moteur devient progressivement indépendante de la charge.



Assemblage mécanique, contrôle de l'entrefer et attraction magnétique

Une autre propriété très utile des moteurs à aimants permanents est la possibilité de fonctionner avec un entrefer très important qui peut atteindre plusieurs millimètres pour les grands moteurs. Cette fonctionnalité peut être très intéressante pour les machines ayant des déformations importantes telles que les presses à injecter ou les presses de forgeage.

En standard l'entrefer radial est de l'ordre de 1 mm et cela permet en général une conception où le moteur est monté sur les supports de la machine sans nécessiter de roulement séparé.

Le champ magnétique du rotor génère des forces d'attraction radiales. Celles-ci sont parfaitement équilibrées si le rotor est positionné exactement au centre du stator et elles augmentent avec l'excentricité. En pratique, cela correspond à une « rigidité négative » qui doit être compensée par une plus grande rigidité positive du système de guidage. Les données concernant cette attraction peuvent être fournies sur demande. Le graphe ci-contre en montre l'ordre de grandeur ; ce graphe correspond à un moteur de 1000 Nm, 370 mm de diamètre et 105 mm de long avec un entrefer nominal de 1 mm.

