



Construire des robots humanoïdes : de la conception à la livraison

Le corps humain est une merveille, tant par sa capacité à parcourir pratiquement tous les terrains, par l'acuité et la profondeur de sa vision binoculaire, que par son toucher et sa dextérité dans la manipulation d'objets et l'utilisation d'outils. Les environnements construits par et pour les humains sont alors conçus pour tirer le meilleur parti de ces capacités.

Ce type d'environnement est très répandu, même dans les secteurs les plus avancés de la fabrication, de l'entreposage et d'autres secteurs industriels. Malgré un haut niveau d'automatisation, une main-d'œuvre humaine est toujours nécessaire pour assurer la continuité entre les différents systèmes d'automatisation fixes, chacun d'entre eux étant conçu pour accomplir une tâche spécifique. Les tâches effectuées par les humains, qui varient souvent d'un jour à l'autre, exigent des mouvements flexibles et autonomes pour faire le lien entre les processus automatisés et assurer la continuité et la performance de l'ensemble des opérations.

Malheureusement, la force et l'endurance humaines sont limitées. Les travailleurs qui remplissent ces tâches peuvent se blesser. Et le taux de renouvellement du personnel occupant ces postes pénibles et parfois dangereux est élevé. Pour toutes ces raisons, des manques peuvent apparaître au niveau de la main-d'œuvre, ce qui perturbe fortement l'approvisionnement et la production.

Le besoin de tâches manuelles ne peut être satisfait par l'ajout de machines à fonction unique, à moins d'engager des dépenses considérables et d'apporter des modifications importantes à l'usine ou à l'entrepôt. En revanche, ces tâches constituent des applications idéales pour les robots humanoïdes. Ces derniers éliminent les problèmes de pénurie de main-d'œuvre et libèrent

les humains d'un travail pénible et potentiellement dangereux, ce qui permet aux opérateurs d'accomplir des tâches plus créatives.

C'est pourquoi les robots humanoïdes, autrefois associés à la science-fiction et aux animatroniques des parcs d'attractions, font aujourd'hui l'objet de travaux essentiels en recherche et développement. Au cours des dix dernières années, la technologie humanoïde a progressé au point que de nombreuses équipes universitaires, start-ups et entreprises bien établies travaillent au développement d'humanoïdes qui promettent de transformer les environnements de travail tout en réduisant les risques pour les humains.

La révolution que connaît actuellement le secteur des humanoïdes est due aux progrès réalisés dans les systèmes de vision, les capteurs tactiles et proprioceptifs, la densité de puissance des batteries, les algorithmes d'intelligence artificielle, la vitesse de traitement et d'autres technologies. L'aspect le plus important est cependant toujours le mouvement. Si un robot ne peut pas réagir aux entrées sensorielles et aux commandes de mouvement du système avec rapidité, puissance, précision et même grâce, il ne peut pas remplir sa mission de manière satisfaisante. Les avancées dans le domaine des moteurs et des vérins électriques jouent alors un rôle essentiel dans le développement de robots humanoïdes.

Mouvement humanoïde : des défis à la fois techniques et commerciaux

Dans le secteur en plein essor des robots humanoïdes, les ingénieurs doivent développer rapidement des modèles capables d'offrir de nouvelles capacités tout en restant abordables, et ce, avant leurs concurrents. Dans ce contexte de développement, tout dépend de la rapidité de la conception et de l'itération pour parvenir à créer un prototype satisfaisant. C'est d'ailleurs au cours de cette phase de prototypage que l'ampleur des défis liés au mouvement se révèle.

Concevoir un robot avec des performances de mouvement optimales est déjà un défi. Mais le concevoir de manière à ce qu'il soit manufacturable à grande échelle ajoute une difficulté supplémentaire. Le projet risque d'échouer si les équipes de conception ne parviennent pas à concilier les performances et les perspectives de commercialisation. Pour qu'un prototype soit un succès, il convient de prendre en compte les aspects techniques et commerciaux dès le départ.

D'un point de vue technique, les produits de mouvement qui ne sont pas conçus spécifiquement pour le mouvement robotique risquent d'être trop volumineux, trop lourds et peu adaptés aux exigences cinématiques requises pour reproduire des tâches manuelles à l'échelle humaine. Les concepteurs pourraient par exemple être tentés d'utiliser des moteurs largement disponibles conçus initialement pour des drones. Or, ces moteurs fonctionnent à des régimes relativement élevés et ne peuvent pas fournir le couple constant nécessaire sur toute la plage de vitesse pour les articulations des bras et des jambes humanoïdes.

D'un point de vue commercial, il est essentiel de concevoir dès le départ des robots manufacturables et commercialisables. Un moteur à bas prix qui convient approximativement peut aider les ingénieurs concepteurs à respecter des délais et budgets serrés. Toutefois, si le robot ne fonctionne pas de manière optimale et que le moteur de série abordable n'est pas fabriqué avec une qualité constante et assorti d'une assistance technique efficace, la bonne affaire réalisée lors de la phase de conception se transformera en handicap au moment de la commercialisation.

À l'inverse, une solution personnalisée de haute qualité présente un risque accru, car elle augmente considérablement les coûts et peut ne pas être adaptée à une production à grande échelle.

Les risques liés aux performances et au marché ne sont toutefois pas incontournables. Bien que les défis techniques et commerciaux puissent sembler incompatibles, ils peuvent être surmontés grâce à une stratégie de développement optimisée qui spécifie les produits de mouvement sur la base d'exigences de performance et de fabrication.



Une stratégie de mouvement au niveau du système

Les décisions relatives au mouvement doivent tenir compte de l'ensemble du système. Compte tenu des niveaux de performance requis pour le mouvement humanoïde, le moteur utilisé ne peut pas être un simple moteur. Il doit être optimisé en termes de format, de poids et de caractéristiques de performance très spécifiques, comme la capacité à répondre aux rafales d'accélération dynamique requise par l'articulation d'un robot humanoïde, tout en fonctionnant avec la plus grande efficacité. Et, comme évoqué précédemment, il doit remplir ces critères tout en conservant le caractère abordable et manufacturable d'une solution commercialisée en série.

Pour obtenir la spécification de moteur idéale, commencez par définir et documenter les exigences d'application de chaque articulation robotique, y compris les plages de couple dynamique et de vitesse, l'étendue des charges d'inertie susceptibles d'être rencontrées en fonctionnement, ainsi que les objectifs de poids et d'encombrement de l'installation.

Une fois que vous avez identifié les exigences dynamiques de chaque articulation, commencez à concevoir une articulation non pas en spécifiant le moteur, mais en spécifiant le système mécanique (qu'il s'agisse d'une articulation à actionnement rotatif ou linéaire) et l'architecture du réducteur. Ces spécifications vous aideront à associer le bon moteur à votre système de transmission.

Par exemple, réfléchissez aux effets potentiels de la compliance et du jeu dans le réducteur. La moindre imprécision, qui peut être tolérée dans une application d'automatisation industrielle, peut s'avérer problématique pour un robot humanoïde qui doit garder son équilibre tout en réalisant des tâches extrêmement délicates et complexes. Il faut également tenir compte du fait que même l'humanoïde le plus performant peut buter contre des objets ou tomber dans un monde dynamique, de la même manière qu'un être humain. Ainsi, le réducteur que vous choisissez doit pouvoir supporter ces forces et ces charges imprévisibles.

Une présentation détaillée des différents types de réducteurs dépasserait le cadre de ce livre blanc. Notons toutefois que les articulations rotatives sont les plus courantes dans les robots humanoïdes. Ces dernières sont combinées de manière à reproduire les mouvements des chevilles, des genoux, des hanches, des épaules, des coudes, des poignets, etc. Les réducteurs harmoniques, également appelés engrenages à onde de déformation, répondent exceptionnellement bien aux exigences de ces articulations rotatives.

Avantages des réducteurs harmoniques :

- rapports de réduction élevés sur un seul étage pour une densité de puissance élevée et une accélération/décélération fluide;
- aucun jeu, ce qui permet un positionnement précis et un maintien fiable;
- format le plus compact sur le plan axial, rendant possible la conception d'un robot compact et agile;
- fiabilité et résilience en cas de charges d'impact;
- disponibilité de produits commerciaux prêts à l'emploi et adaptés aux articulations robotiques.

Type de réducteur	Couple/force	Jeu	Poids	Efficacité	Coût
Planétaire	Neutre	Négatif	Neutre	Positive	Positif
Harmonique	Positif	Positif	Positif	Négative	Négatif
Cycloïdal	Positif	Neutre	Négatif	Neutre	Négatif
Vis à billes	Positif	Neutre	Positif	Neutre	Positif

Types de réducteurs et leurs attributs respectifs

Lorsque vous choisissez un réducteur harmonique, demandez-vous si un train d'engrenages de diamètre extérieur relativement plus grand pourrait répondre à vos exigences de conception. Vous pourriez ainsi utiliser un moteur de plus grand diamètre et tirer parti de la règle D²L. Cette règle stipule que le couple augmente de manière directement proportionnelle à l'augmentation de la longueur des piles de stratification du moteur. Autrement dit, il augmente comme le carré de l'augmentation du diamètre du bras de levier.

Le fait de doubler le diamètre du bras de levier multiplie donc le couple par quatre ou permet de réduire la longueur de la pile de trois quarts sans perte de couple. La règle D²L offre un moyen simple de maximiser le couple de chaque articulation. De plus, dans de nombreuses conceptions, le fait de réduire la longueur axiale d'une articulation robotique permet d'obtenir un robot plus agile et plus apte à opérer dans des espaces restreints et à proximité d'objets dans l'environnement qui l'entoure.



Une conception manufacturable et commercialisable à grande échelle

Après avoir conçu une architecture d'articulations pertinente, l'étape suivante consiste à évaluer si les composants de cette architecture peuvent être adaptés à une production à grande échelle pour le marché que vous visez. Demandez-vous si votre conception est suffisamment solide et si les composants que vous avez choisis seront facilement disponibles, fonctionnels et mécaniquement fiables pour passer du prototype à une production à grande échelle.

Chez Kollmorgen, nous rencontrons de nombreux cas de prototypes élaborés dans des délais serrés ou avec des contraintes budgétaires, pour lesquels la rapidité de la conception ou le prix du produit sont les principaux critères de sélection. Or, lorsque la conception des articulations s'avère trop volumineuse, trop lourde et de mauvaise qualité en termes de performances, il faut consacrer encore plus de temps et d'argent à sa refonte, voire abandonner complètement le projet. La pire chose à faire serait d'engager des dépenses considérables dans la production d'une telle conception, pour se heurter ensuite à un rejet sur le marché.

Nous croyons fermement en la valeur à court et à long terme d'une conception bien pensée dès le départ, afin que vous puissiez commercialiser plus rapidement un produit plus performant et plus rentable. Pour de nombreuses entreprises, cette démarche implique de sortir d'une approche séparée de la R&D et de la production. Pour réussir, la R&D et la production doivent en réalité s'inscrire dans un continuum d'objectifs, de ressources et de processus communs.

Tout comme la conception fonctionnelle, l'excellence opérationnelle doit être intégrée dès la phase de prototypage. Dès le début de votre projet, réfléchissez à la manière dont votre conception pourra évoluer et passer du prototype à l'essai sur le terrain, puis à la production initiale à faible cadence, et enfin à la production à plein régime. Vous éviterez ainsi des retards, des contretemps, voire la nécessité d'une refonte totale de votre conception.

En ce qui concerne la sélection, le dimensionnement et la configuration des moteurs, plusieurs critères sont à prendre en compte en plus des caractéristiques de vitesse, de couple et de puissance, par exemple :

- les caractéristiques relatives à la charge du réducteur dans les environnements très variables dans lesquels évoluent les robots humanoïdes, ainsi que les exigences de performance du moteur;
- la distance entre le moteur, le réducteur et les autres composants des articulations;
- les températures ambiantes de fonctionnement, l'augmentation de la température du moteur et toute disposition relative à la dissipation de la chaleur;
- les conséquences d'une chaleur excessive sur les performances du moteur ou sur les composants voisins, tels que les lubrifiants du réducteur et l'électronique de l'asservissement;
- la séquence de fabrication, notamment en ce qui concerne le passage des câbles, l'installation des capteurs d'asservissement, la répartition des adhésifs, etc.

Ces critères et bien d'autres sont d'une importance capitale lors de l'élaboration d'un prototype qui intègre les principes du design for manufacturing (DFM, conception pour la fabrication). Chez

Kollmorgen, nous travaillons toujours avec le DFM à l'esprit, aussi bien dans la conception et la fabrication de nos propres systèmes de mouvement que dans les collaborations que nous entretenons avec nos clients pour les aider à optimiser leurs projets pour le DFM.

Nous possédons plus d'un siècle d'expérience collective et avons travaillé pour des milliers d'applications avec nos clients. Nous les avons aidés à optimiser leurs moteurs en fonction des exigences de performance de l'application et des possibilités de fabrication. Nos processus éprouvés vous accompagnent de la conception initiale à la production à grande échelle, en passant par le prototypage, la conception itérative et les révisions finales de la conception. Vous avez ainsi l'assurance que votre projet reste sur la bonne voie, du début à la fin.

De plus, nous fournissons des produits de mouvement aux spécifications et à la qualité identiques année après année, tout en innovant constamment pour répondre aux besoins de ce marché en constante évolution. Notre objectif consiste toujours à fournir des produits aux performances optimales pour les nouveaux projets de développement, tout en garantissant un accès constant aux produits nécessaires à la production à grande échelle et au service après-vente.



De nombreux leaders du secteur de la robotique humanoïde ont visité nos usines de production afin d'évaluer par eux-mêmes nos processus, nos capacités et nos produits. À chaque visite, Kollmorgen a dépassé leurs attentes.

La technologie sans boîtier de Kollmorgen

Il existe une multitude de systèmes mécaniques et tous les produits de mouvement ne sont pas conçus de la même manière. Kollmorgen s'applique à proposer la plus grande sélection de moteurs compatibles avec les robots, dans de nombreuses tailles et avec des modifications standard et personnalisées économiques qui répondent aux exigences de performance de chaque application sans sacrifier la fabricabilité.

Kollmorgen s'engage à fournir des performances fiables grâce à des moteurs de la plus haute qualité et à permettre une fabrication à n'importe quelle échelle.

Dans le cas des robots humanoïdes, la première exigence est de réduire au minimum la consommation d'énergie, étant donné que les robots fonctionnent généralement de manière autonome sur batterie. La seconde consiste à optimiser le couple, car les robots doivent pouvoir supporter leur propre poids tout en effectuant des tâches nécessitant une force humaine, voire surhumaine, avec une très grande précision.

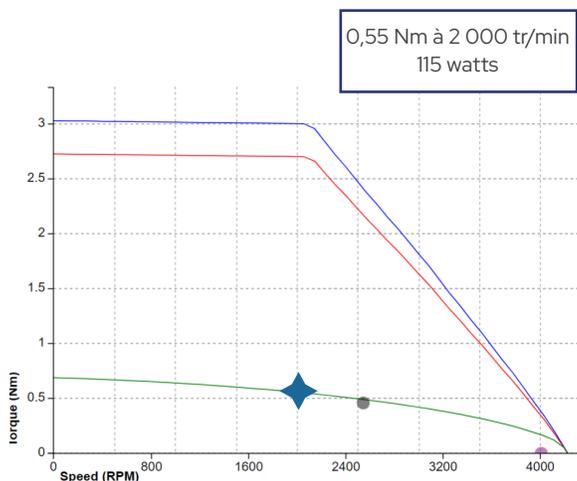
Kollmorgen propose des moteurs sans boîtier conçus spécialement pour les articulations robotiques. Compacts, légers et écoénergétiques, ils permettent de régler avec précision l'enroulement pour une efficacité maximale dans les plages de couple et de vitesse spécifiques à chaque application.

Ces caractéristiques aident les ingénieurs à réduire la taille, le poids et la consommation énergétique de leurs robots en fournissant un couple optimal dans des moteurs plus petits et plus légers. Des articulations légères offrent une meilleure répartition du poids, ce qui améliore l'équilibre et la stabilité du robot. Des articulations plus petites sur le plan axial améliorent la dextérité des bras robotiques tout en réduisant le risque d'impact avec des structures et des objets. Enfin, une grande efficacité énergétique permet de prolonger les temps de fonctionnement entre les recharges de la batterie.

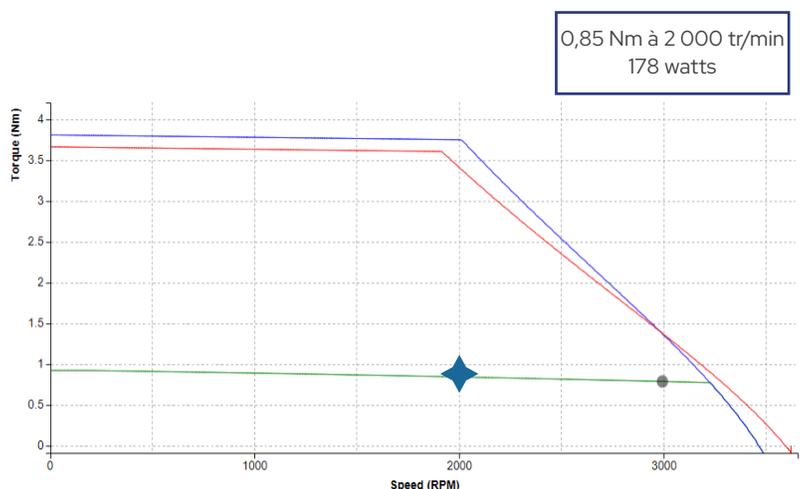
Les servomoteurs sans boîtier TBM2G de Kollmorgen sont conçus spécifiquement pour répondre aux exigences de format, de consommation d'énergie et de performance des articulations robotiques. Ils répondent aux exigences de dimension, de couple et de vitesse des réducteurs harmoniques standard, ce qui permet d'obtenir les articulations robotiques les plus compactes et les plus précises, sans avoir à investir dans des réducteurs sur mesure.

Les moteurs TBM2G tirent parti de la règle D²L pour offrir des performances optimales dans les articulations les plus légères et les plus compactes sur le plan axial. Leur conception offre également un grand diamètre d'alésage pour accueillir le câblage et d'autres composants qui passent à travers les articulations d'un bras robotisé. Ces moteurs fonctionnent avec une large gamme de codeurs et peuvent même être fournis avec des capteurs à effet Hall intégrés qui n'augmentent pas la longueur du moteur.

Grâce à une augmentation de température exceptionnellement faible, les moteurs TBM2G peuvent fonctionner à proximité de composants sensibles à la chaleur sans compromis de performance. Par exemple, la température maximale d'enroulement de 155 °C d'un moteur avec une isolation de classe F équivaut normalement à une température nominale de 140 °C à proximité des composants de l'encodeur et du réducteur. Or, les moteurs TBM2G peuvent offrir des performances exceptionnelles sans dépasser 85 °C, ce qui améliore considérablement la fiabilité et la durée de vie des articulations robotiques.



Performances d'un moteur classique à une température ambiante de 25 °C et à une température maximale d'enroulement de 85 °C



Performances d'un moteur TBM2G à une température ambiante de 25 °C et à une température maximale d'enroulement de 85 °C

Les analyses de moteurs présentées dans les graphiques ci-dessus ont été réalisées à l'aide du puissant générateur de courbes de performance de Kollmorgen, qui fait partie des outils de conception disponibles en libre-service sur le site Web de Kollmorgen. Comme vous pouvez le constater, le moteur TBM2G offre des performances exceptionnelles à une température d'enroulement de 85 °C. Pour atteindre des performances similaires, la plupart des autres servomoteurs sans boîtier doivent fonctionner à une température beaucoup plus élevée, généralement à une température maximale d'enroulement de 155 °C.

Une température élevée constitue un problème majeur pour les articulations robotiques étroitement intégrées. En effet, lorsque la température d'enroulement dépasse 85 °C, le lubrifiant du réducteur se dégrade rapidement et les capteurs d'asservissement électronique peuvent perdre leur fiabilité. À l'inverse, si un moteur conçu pour fournir des performances optimales à 155 °C est utilisé à une température maximale d'enroulement de 85 °C, ses performances seront considérablement réduites. Le TBM2G est le seul servomoteur sans boîtier du marché

conçu pour offrir des performances supérieures dans les limites de température réelles d'une articulation robotique.

Par ailleurs, les servomoteurs TBM2G permettent aux concepteurs de robots de dimensionner chaque moteur en fonction de chaque articulation. Contrairement aux deux ou trois formats habituellement proposés pour les servomoteurs classiques, les moteurs TBM2G sont disponibles en sept formats, chacun offrant trois longueurs d'empilement, ainsi qu'une gamme d'options standard pour un ajustement idéal à chaque application. Plusieurs variantes d'enroulement permettent d'optimiser les performances du moteur à différentes tensions de bus, notamment des enroulements parfaitement adaptés aux robots humanoïdes fonctionnant sur batterie.

La série TBM2G est construite selon les normes de qualité les plus strictes, avec la capacité de fabrication, la livraison et l'assistance dont vous avez besoin pour faire passer votre robot humanoïde du stade du prototype à celui de la production à grande échelle, quel que soit le volume, partout dans le monde.

Le partenaire de mouvement qu'il vous faut

Les servomoteurs sans boîtier TBM2G ne sont qu'un exemple de l'engagement de Kollmorgen pour une robotique de qualité supérieure. Nos moteurs sans boîtier TBM et RBE, ainsi que plusieurs autres de nos produits, répondent à un large éventail d'exigences en matière de mouvement dans le domaine diversifié et en plein essor des humanoïdes et autres conceptions robotiques.

En outre, notre équipe d'ingénieurs dispose d'une vaste expérience en robotique. Nous pouvons concevoir ensemble la solution de mouvement optimale pour donner vie aux capacités uniques de votre robot. Grâce à notre production allégée, à nos

processus répétables et à nos contrôles de qualité éprouvés, nous vous aidons à passer rapidement du prototypage à la production à plein régime et livrons toujours vos systèmes de mouvement dans les temps. Nous assurons également une assistance à long terme dans la région souhaitée, afin de garantir la livraison des produits tout au long du cycle de vie de votre robot, en assurant à la fois la gestion des coûts et l'augmentation de la production en fonction des besoins.

Contactez-nous pour discuter de vos besoins et de vos objectifs avec un expert Kollmorgen spécialisé en robotique.

À propos de Kollmorgen

Kollmorgen, une marque Regal Rexnord, possède plus d'un siècle d'expérience dans le domaine du mouvement. Cette expérience se retrouve dans les performances et la fiabilité inégalées de ses moteurs et de ses variateurs, ainsi que dans ses solutions de contrôle et ses plateformes d'automatisation pour les véhicules autonomes. Nous proposons des solutions révolutionnaires avec des performances, une fiabilité et une facilité d'utilisation sans pareilles, qui donnent un avantage incontestable aux fabricants de machines.