KOLLMORGEN
A REGAL REXNORD BRAND

LIVRE BLANC

Propulsion des missiles : optimiser les performances

Les systèmes qui permettent le fonctionnement des missiles continuent d'évoluer pour répondre à des besoins spécialisés : depuis les engins guidés à usage tactique jusqu'aux armes stratégiques, chaque missile est propulsé depuis une plateforme spécifique, dans le but d'atteindre la cible prévue. Dans le monde moderne, la nécessité de ce type d'armement pour appuyer la sécurité nationale et mondiale n'est plus à démontrer. Dans un monde où les certitudes vacillent, les missiles sont requis en plus grande quantité et doivent se doter de capacités plus innovantes que jamais.

Le marché mondial des missiles, fusées et roquettes devrait croître à un taux composé annuel de plus de 6 % sur les années à venir, pour atteindre une valeur de 77,4 milliards de dollars d'ici 2028[1]. Cette croissance est principalement imputable à la nécessité et au développement continu de nouveaux systèmes avancés (les missiles hypersoniques, par exemple, qui devraient connaître une croissance de 7,4 %).

Bien que les missiles soient conçus pour rester en vol pendant une période relativement courte, les moteurs électriques qui commandent les actionneurs d'ailerons de missiles, les cardans de têtes chercheuses et d'autres systèmes électromécaniques doivent fonctionner avec une fiabilité absolue. Ces moteurs doivent être capables de restituer leurs performances maximales en un rien de temps, passant instantanément du repos à des conditions extrêmes de choc, de vibration et de température.

Les ingénieurs et constructeurs balistiques rencontrent de nombreux défis : créer des missiles toujours plus spécialisés, répondre à la demande quantitative en croissance rapide, et dans certains cas, œuvrer à l'amélioration des capacités de déploiement sur le terrain en livrant des missiles à la fois plus compacts et plus rapides, qui bénéficient d'une meilleure portée sans transiger sur les performances. Pour triompher de ces défis, il faut spécifier les systèmes de mouvement afin de répondre précisément aux exigences de chaque application en matière de performances, d'environnement et de taille.

Un processus collaboratif

Chez Kollmorgen, nos ingénieurs collaborent avec les clients des secteurs de l'aérospatiale et de la défense dès l'ébauche de chaque projet, afin de s'assurer que chaque solution de mouvement est adaptée à l'application prévue. Cette collaboration repose sur une vaste expérience du secteur, sur une solide expertise de la conception électromécanique et de la science des matériaux, ainsi que sur une capacité attestée à prototyper, manufacturer, livrer et entretenir des moteurs pendant la durée et dans les quantités requises pour la réussite des programmes de missiles.

La collaboration débute par le partage et la documentation des exigences techniques de chaque application de mouvement électrique requise sur le missile. Partant de ces informations, il est ensuite possible de déduire les spécifications requises, comme l'encombrement de l'installation motrice, les exigences de performance, les matériaux ou encore les températures nominales.

Le processus de spécification est étroitement supervisé. En outre, même si ces étapes ont été citées ici dans un ordre défini, elles sont en réalité indissociables les unes des autres. Dans la mesure où chaque prise de décision influence les facteurs connexes, le projet doit être conçu comme une entité organique.

Comprendre les exigences des systèmes de mouvement

> **Pour mener à bien un programme balistique, le défi le plus redoutable est également l'opportunité la plus intéressante : l'analyse des tolérances de tous les paramètres de fonctionnement, ainsi que les degrés de performance que les systèmes moteurs doivent maintenir. Répondez aux questions suivantes le plus tôt possible dans le cadre du processus de conception.**

Définir l'espace disponible

Partant de la conception générale du missile ainsi que de l'espace disponible pour chaque application de mouvement, quelles seraient les mesures idéales en longueur et en diamètre ? Comment le moteur sera-t-il intégré dans le système d'actionnement ? Vaut-il mieux intégrer le moteur dans un châssis ou opter pour une version sans boîtier ? Les moteurs logés sont les plus faciles à installer, mais les moteurs sans boîtier, intégrés directement à la conception mécanique et adaptés à l'application, offrent une densité de couple maximale et réduisent l'encombrement du moteur.

Le moteur sans boîtier s'associe parfaitement avec un réducteur harmonique (à onde de déformation), une technologie de transmission extrêmement compacte et fiable, idéale pour les systèmes à cardan et d'autres applications balistiques. Les moteurs sans boîtier peuvent également présenter un grand diamètre d'alésage, ce qui permet de loger des joints rotatifs à bague collectrice haute fréquence et de réduire encore davantage l'encombrement spécifique à l'application.

De quel alésage traversant avez-vous besoin ? Kollmorgen propose une large gamme de moteurs sans boîtier (avec un rapport de diamètre d'alésage optimisé, par exemple), ainsi que l'expertise nécessaire pour vous aider à optimiser la forme et les performances de vos moteurs en fonction de chaque application.

Votre puissance d'entrée

Que votre missile soit alimenté par des batteries thermiques conventionnelles ou une source d'énergie alternative, examinez toutes les applications qui vont drainer cette puissance, et demandez-vous quelle plage de tension et quel courant (continu et de crête) seront disponibles pour chacune de ces applications. Kollmorgen propose des moteurs basse tension conçus pour les applications sur batterie, qui offrent des performances dynamiques identiques à celles des moteurs standard.

Vos performances idéales

Quelles sont les exigences de l'application en matière de vitesse et de couple, que ce soit de manière continue ou en crête ? En raison de l'imprévisibilité et de la dangerosité des conditions atmosphériques en vol subsonique, supersonique et hypersonique, les exigences en matière de couple de crête des dispositifs de contrôle sont extrêmement élevées. En effet, aussi rudes que soient les conditions de vol, il n'en reste pas moins crucial de corriger instantanément la trajectoire balistique. Les moteurs qui commandent les actionneurs des ailerons doivent être capables de produire une accélération rapide sans perte de couple significative à haute vitesse. Kollmorgen fournit des outils d'analyse et des options d'optimisation des moteurs qui vous aideront à atteindre les courbes de performance idéales pour votre application.

Les exigences thermiques liées à votre application

Un missile est susceptible d'être exposé à des variations de températures bien plus radicales que dans un environnement de production classique. Pour prendre un exemple extrême, un missile hypersonique déployé dans un environnement subarctique peut partir d'une température de –40° C, avant d'atteindre des centaines de degrés au passage dans l'atmosphère terrestre.

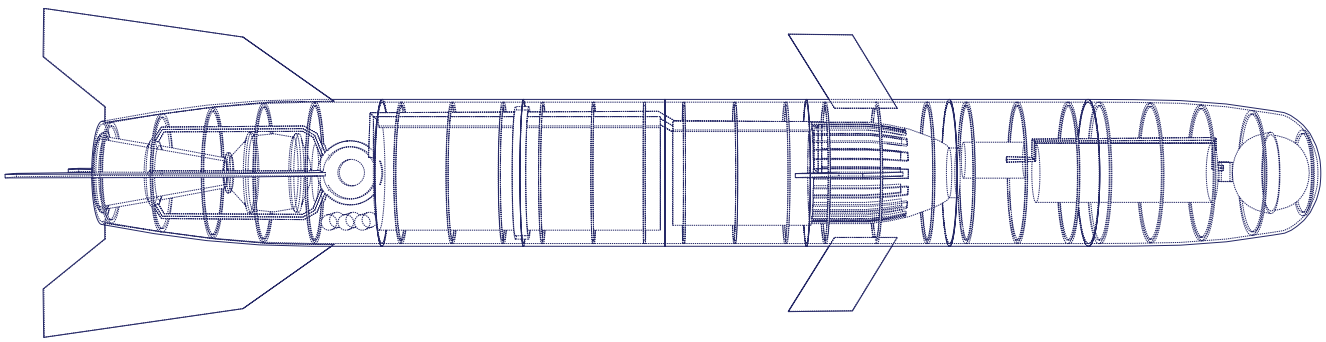
Bien qu'un tel missile sera conçu de façon à ce que ses composants sensibles à la température soient protégés, les systèmes de mouvement n'en devront pas moins fonctionner de manière fiable sur une plage de températures étendue. Comment ces conditions extrêmes, associées à la montée en température du moteur lui-même, affectent-elles les performances ? En se fondant sur vos demandes, Kollmorgen peut calculer rapidement les performances d'un prototype dans les plages de températures attendues par l'application. Par ailleurs, nous disposons d'environnements de test pour confirmer ces performances sur la base des premiers prototypes physiques.

Le cycle de service réaliste de votre application

Il va de soi que les moteurs de missiles doivent fonctionner sans faille dans les secondes ou les minutes qui précèdent l'impact. On pourrait croire que cette fenêtre de performances réduite implique un risque d'échec bien moins élevé que les moteurs qui fonctionnement en permanence dans un environnement industriel, par exemple. Ceci dit, il est important de prendre en compte tout le cycle de vie du missile, depuis son déploiement initial sur le terrain jusqu'à son utilisation ou sa mise hors service éventuelle.

Cette période peut s'étendre sur quelques jours comme plusieurs décennies, mais le missile doit rester parfaitement opérationnel. Une bonne connaissance préalable du cycle de vie du missile permettra un choix éclairé du moteur et de ses dimensions, tout en réduisant le risque de spécification insuffisante ou superflue. Par exemple, les missiles antinavire et mer-sol doivent généralement être parés en permanence. L'efficacité opérationnelle de leurs ailerons de direction, de leurs systèmes de guidage et de leurs autres composants qui dépendent de solutions de mouvement doit faire l'objet de vérifications régulières.

Votre missile doit-il être opérationnel en permanence ? Le missile doit-il être prêt à partir à tout instant, que ce soit en standby ou en pré-lancement ? Outre ces exigences et les conditions de vol réelles, combien de temps les moteurs doivent-ils fonctionner à des charges et des vitesses données ? Les moteurs Kollmorgen sont conçus pour des applications où l'échec n'est pas envisageable.



Spécification des conceptions motrices et des matériaux pour atteindre les performances et les caractéristiques environnementales visées

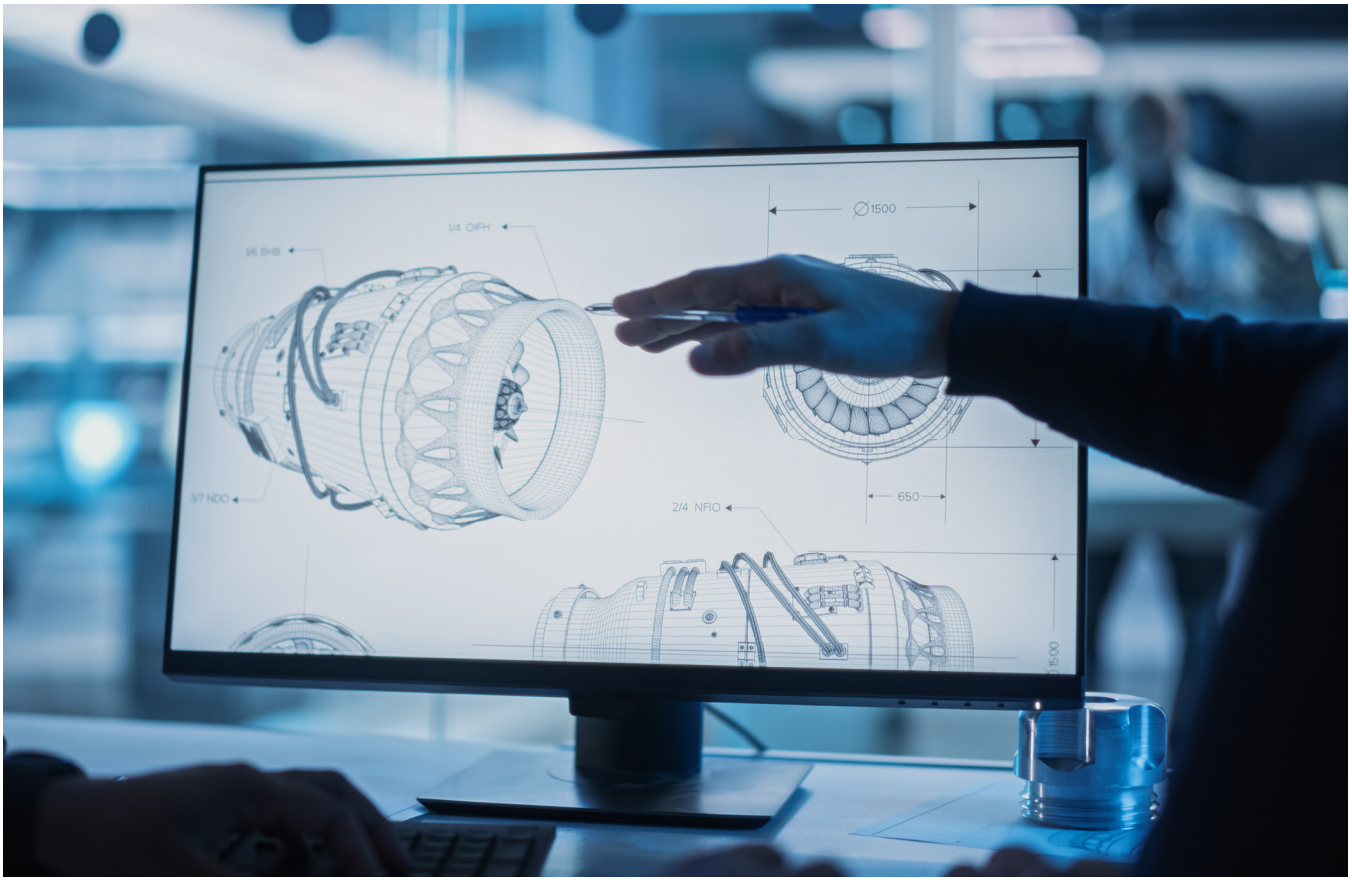
Il est possible d'optimiser chaque aspect du moteur et des matériaux pour atteindre les performances et les objectifs attendus en matière d'environnement de déploiement. Pour répondre aux exigences uniques des systèmes de mouvement des missiles, qui doivent offrir des performances de pointe dans des environnements extrêmes, les éléments à optimiser en priorité sont les couches de lamination et les bobines du stator, les aimants permanents du rotor, ainsi que les matériaux d'encapsulation et d'isolation.

Les températures nominales sont également cruciales pour les moteurs intégrés aux missiles. Ceci dit, il est important de savoir que les caractéristiques générales du moteur peuvent être plus basses que les indices de ses composants pris individuellement. Par exemple, un moteur dont la température nominale est renseignée à 155° C peut être composé de matériaux résistant à 180°, voire 200° C. Cette différence constitue une marge de sécurité lorsque le moteur vient à dépasser l'indice général conseillé, de façon à permettre un fonctionnement sans compromis dans des conditions extrêmes pendant une durée limitée. Par ailleurs, il convient de noter que les caractéristiques du moteur peuvent renvoyer à un fonctionnement continu sur une période bien plus longue que le vol typique d'un missile.

Couches de lamination

Les performances motrices varient en fonction de la lamination utilisée par le fabricant, et de la qualité des couches du stator. La conception des couches de lamination affecte les propriétés du flux magnétique généré par la variation des courants électriques appliqués aux bobines du stator. Il est possible de faire en sorte que la lamination utilisée réduise les courants de Foucault produits par la rotation des champs magnétique autour du stator.

Utiliser des couches de lamination plus fines permet de renforcer l'efficacité et de contrôler l'élévation de la température en réduisant la perte d'énergie due à la chaleur, tout particulièrement quand de hautes fréquences de commutation sont requises pour faire tourner le moteur à haute vitesse. Aussi, l'utilisation de matériaux spécialisés pour les couches de lamination permet d'optimiser le flux que l'on peut générer sans saturer le stator, et d'obtenir ainsi un meilleur couple moteur. En fonction de vos besoins et des applications requises, l'une de ces techniques de conception pourrait se révéler avantageuse ; voire les deux à la fois.



Enroulements

Plusieurs variantes d'enroulement permettent d'optimiser les performances du moteur à différentes tensions de bus. C'est notamment pertinent pour les missiles sur batterie, ainsi que les applications qui nécessitent un couple et des vitesses spécifiques. En faisant correspondre précisément la conception des bobines et la puissance d'alimentation aux exigences de l'application, les ingénieurs évitent de concevoir des moteurs sous-dimensionnés incapables de gérer les charges dynamiques en vol, ou à l'inverse des moteurs surdimensionnés, qui sont trop gros et trop lourds pour le missile.

Isolation et aimants permanents

Un aspect crucial de la conception d'un missile est la capacité de ce dernier à approcher les exigences de performances absolues à court terme avant de défaillir. Pour optimiser cet aspect, il s'agit de maximiser la constante de temps thermique, c'est-à-dire le temps nécessaire au moteur pour atteindre 63 % de sa température de fonctionnement en régime stabilisé, tout en poussant les caractéristiques de performance du moteur jusqu'aux limites requises par l'application.

Plus un moteur tourne au-delà de ses performances nominales, plus grand est le risque de dégradation des matériaux, voire de défaillance. Si ce risque peut être exacerbé par le scénario d'utilisation du missile, il est également possible de le réduire en adaptant sa conception.

Par exemple, le missile opère-t-il seulement dans l'atmosphère, ou bien est-il lancé depuis un milieu aqueux dans lequel les gouvernes font face à une plus grande résistance ? En cas de lancement depuis un appareil aérien, les actionneurs d'ailerons doivent-ils combattre l'effet de souffle causé par le flux d'air, ou bien le missile est-il stabilisé par un verrou mécanique jusqu'au moment du lancement ?

Si les moteurs vont être poussés jusqu'à leur limite (voire au-delà), on peut atteindre une fiabilité maximale grâce à l'usage de soudures, de systèmes d'isolation et de matériaux d'encapsulation résistants à des températures plus élevées, et parfois même d'aimants hautement résistants à la chaleur. Les alliages magnétiques spécialisés permettent également d'augmenter le couple qu'un moteur est capable d'atteindre sans dépasser sa température nominale.

Collaborer avec un expert du mouvement

Le choix de votre partenaire est aussi important que celui de votre technologie de motorisation. Kollmorgen travaille avec vous dans la phase de conception initiale pour comprendre vos besoins exacts, puis vous fournit l'assistance technique dont vous avez besoin pour simplifier le choix, le dimensionnement, la configuration et l'optimisation de votre solution. Nous procédons rapidement au prototypage, à la livraison et aux itérations de votre solution, ce qui vous permet de gagner plusieurs mois dans votre processus de développement.

Lorsque la conception finale est prête, le site de fabrication Kollmorgen certifié AS9100 s'appuie sur une production allégée, des processus répétables et des contrôles de qualité éprouvés pour passer rapidement du prototypage à la production à plein régime. Vous pouvez vous attendre à recevoir vos solutions de mouvement à temps, pour chaque commande. Notre service d'assistance à long terme dans votre région ou pour votre région assurera le suivi de vos produits pendant toute la durée de votre programme de missiles.

En tant que membre de la famille de marques Regal Rexnord, Kollmorgen vous permet de collaborer avec le leader des composants hautement spécialisés pour l'aérospatiale et la défense. Outre son expertise quasi exhaustive des systèmes de missiles, Regal Rexnord propose des solutions de la plus haute qualité pour l'aérospatiale : roulements, solutions d'étanchéité, composants électriques, mécanismes d'engrenage et bien plus.

Mettez votre programme de missiles sur la bonne voie

Contactez Kollmorgen pour discuter de vos besoins et de vos objectifs avec un expert Kollmorgen spécialisé dans les missiles et les autres applications pour l'aérospatiale et la défense.

[1] « Rocket and Missile Market », Markets and Markets, septembre 2023.

Spécifications modifiables sans préavis. Il incombe à l'utilisateur du produit de déterminer l'adéquation de ce dernier à une application particulière.
Toutes les marques de commerce sont la propriété de leurs détenteurs respectifs.

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.

KM_WP_000427_RevA_FR
©2024, Kollmorgen Corporation. Tous droits réservés