



Como incorporar motores sem carcaça a um projeto ambientalmente resiliente

Os sistemas de movimento são frequentemente implantados em condições ambientais extremas, como oceanos profundos com alta pressão, condições de alta radiação e alto vácuo, lavagens extremas, atmosferas perigosas e em muitas outras situações.

Para proteger componentes e obter confiabilidade máxima, considere incorporar motores sem carcaça diretamente no design da sua aplicação. Os servomotores sem carcaça permitem que os engenheiros criem projetos mecânicos com compacidade, precisão e resiliência ambiental inigualáveis.

Aplicações compactas

Os kits de motor sem carcaça são compostos apenas de um estator e um rotor. Todos os outros componentes associados a um servomotor tradicional (carcaça, discos do mancal, rolamentos, eixo de saída e conectores) são projetados no próprio mecanismo de aplicação, permitindo um tamanho mais compacto sem comprometer o desempenho.

Desempenho preciso

Em muitas aplicações, a integração estreita do estator e do rotor também elimina a necessidade de componentes de transmissão compatíveis e propensos a folga, proporcionando um acionamento direto da carga. Para aplicações que se beneficiam da multiplicação de torque e da redução da velocidade, os motores sem carcaça também são ideais para uso com uma transmissão harmônica de folga zero (strain wave), com transmissões planetárias ou cicloidais rígidas e de folga baixa.

Resiliência ambiental

Como foco deste informativo técnico, os motores sem carcaça também permitem projetos de movimento mais resilientes ao meio ambiente. Há três razões principais para isso. A primeira é a simplicidade do próprio motor, pois elimina os pontos de desgaste de um motor com carcaça, como rolamentos do rotor e vedações do eixo.

Segundo, muitos motores sem carcaça podem ser fornecidos com materiais altamente especializados, projetados para resiliência superior. Por exemplo, para evitar a degradação do isolamento quando expostos a ambientes de alta radiação e para minimizar a liberação de gases em ambientes de alto vácuo.

Terceiro, sem sua própria caixa dedicada, um motor sem carcaça permite que o engenheiro de aplicação projete as características da caixa necessárias para proteger os componentes de movimento em condições ambientais específicas, como lavagem de alta pressão, submersão em alto mar ou atmosferas explosivas.

Desafios e soluções ambientais

Vamos dar uma olhada mais de perto nos desafios ambientais extremos que os projetistas de sistemas de movimento devem enfrentar e como os motores sem carcaça podem ajudar a resolvê-los. Seguiremos essa discussão com uma visão geral das considerações de design para incorporar com sucesso motores sem carcaça em uma aplicação específica.

Lavagens extremas

Ao fabricar e embalar alimentos, bebidas e produtos farmacêuticos, é essencial manter um ambiente higiênico o tempo todo. Lavagens frequentes de alta pressão com produtos químicos altamente ácidos ou cáusticos são cruciais para evitar surtos de patógenos perigosos, recalls caros e danos à reputação que podem ser difíceis de reparar.

Tradicionalmente, essas lavagens exigem a parada de todas as máquinas, deixando-as esfriar para pulverizar todas as superfícies com fluidos de limpeza de alta pressão. Como esses fluidos podem danificar rapidamente os rolamentos e outros componentes internos do motor com carcaça, esses motores devem ser protegidos por escudos ou sacos durante o processo de lavagem e limpos individualmente à mão, um processo demorado e trabalhoso que pode ser executado de forma inadequada ou até mesmo deixar de ser feito.

Para evitar essas interrupções dispendiosas, os fabricantes estão adotando cada vez mais práticas de limpeza no local (CIP), que eliminam a necessidade de ensacar motores, remover e reinstalar proteções de motor, mover fisicamente as estações para uma área de limpeza separada ou, em alguns casos, até mesmo desligar a operação.

Os motores sem carcaça são ideais para máquinas de processamento e embalagem projetadas para CIP. A máquina pode ser construída de modo que nenhum componente vulnerável seja exposto ao produto ou às substâncias químicas de lavagem. A carcaça do motor é uma parte integrante do projeto da máquina, portanto, pode ser configurada para fornecer proteção completa e contínua do motor, mesmo durante o funcionamento da máquina, a fim de continuar a produção ou facilitar a limpeza de peças móveis.



Veículos submersíveis; ferramentas subaquáticas e de fundo de poço

Veículos submersíveis operados remotamente realizam tarefas cruciais no setor de exploração e produção de energia, como abrir e fechar válvulas em oleodutos de distribuição de petróleo em alto mar. E os ROVs têm muitas outras aplicações: inspecionar cascos de navios, manter infraestrutura submarina, realizar pesquisas científicas, inspecionar tanques de armazenamento de combustível e muito mais. Tudo isso poupando mergulhadores humanos de se envolverem em trabalhos potencialmente perigosos.

Essas e outras aplicações, como ferramentas subaquáticas e ferramentas de petróleo e gás de fundo de poço, exigem projetos especializados para proteger motores, rolamentos, elementos eletrônicos e outros componentes da entrada dos fluidos em que operam. Em uma aplicação de ROV em alto mar, por exemplo, a contaminação por água salgada causaria curto-circuito nos sistemas elétricos, destruindo rapidamente propulsores e ferramentas operadas eletricamente. Em grandes profundidades, pressões de até 30.000 psi podem facilmente romper as vedações e até mesmo esmagar um motor com carcaça.

É possível prevenir esses modos de falha usando um motor com carcaça como o [servomotor submersível Goldline S da Kollmorgen](#), que usa uma carcaça cheia de óleo para compensar pressões externas em profundidades oceânicas de até 20.000 pés. Ao contrário do ar, o fluido hidráulico usado nesses motores não é compressível, então mesmo em pressões extremas a água do mar não consegue penetrar nas vedações ou implodir a carcaça do motor.

Mesmo quando a compactação, a precisão do acionamento direto e a eficiência energética são primordiais, os motores sem carcaça podem oferecer uma solução ainda melhor. Por exemplo, um mecanismo de propulsão pode ser projetado com uma carcaça cheia de óleo e com compensação de pressão para proteger o estator e o rotor sem carcaça, com o rotor conectado a um eixo de acionamento que se acopla diretamente ao impulsor.

Isso permite o design mais compacto possível em um mecanismo submersível que seja impermeável à água do mar de alta pressão, requer pouca ou nenhuma manutenção e oferece eficiência excepcional. Uma consideração importante, não apenas para ROVs operados por bateria, mas também para sistemas conectados de alta tensão, onde a corrente disponível é significativamente atenuada ao passar por cabos extremamente longos.

Ambientes de alto vácuo

Além de satélites e outros veículos espaciais, há muitas aplicações terrestres que operam em condições de vácuo parcial. Por exemplo, processos de fabricação de chips e placas de material semicondutor, espectrômetros de massa, microscópios eletrônicos, instrumentos de difração de raios X e muito mais. Os níveis de vácuo podem variar de $10E-5$ ou mais em vácuos parciais criados artificialmente até $10E-10$ em aplicações de espaço profundo.

Em todas essas configurações, há uma forte tendência de certos materiais, como materiais de isolamento, encapsulamento e ímã encontrados em um motor convencional, se decompõem em um nível microscópico. Isso pode reduzir significativamente a vida útil do motor. No entanto, ainda mais preocupante é que a liberação dos gases desses materiais pode condensar e contaminar sistemas ópticos, elementos eletrônicos de precisão, dispositivos do tipo sensor e outros componentes críticos do sistema.

Motores sem carcaça costumam ser a escolha ideal nessas aplicações por dois motivos. Primeiro, um motor sem carcaça deixa a cargo do engenheiro de aplicação escolher os materiais ideais e resistentes à liberação de gases usados em rolamentos, vedações e todos os outros componentes que integram um motor com carcaça.

Segundo, com o próprio motor reduzido aos componentes essenciais do estator e do rotor, um fabricante de motores que entende os desafios da operação de alto vácuo pode oferecer versões modificadas que substituam os materiais padrão por versões resistentes à liberação de gases.

Por exemplo, todos os motores sem carcaça TBM, KBM e RBE da Kollmorgen têm a opção de ser fornecidos com materiais especializados conhecidos por sua liberação de gases baixa ou praticamente zero em condições de alto vácuo. Processos secundários podem então ser aplicados a componentes de montagem do motor para expulsar qualquer composto volátil residual.

Nossas modificações econômicas atendem aos padrões de desgaseificação NASA-STD-6016A, e temos fornecido motores dignos do espaço desde os primeiros anos da exploração espacial tripulada e não tripulada. Os motores Kollmorgen provam que são confiáveis no espaço todos os dias, desde satélites de órbita baixa da Terra até a superfície de Marte.



Ambientes de alta radiação

Em muitos ambientes, tais como centros de imagem médica, departamentos de medicina nuclear, minas de urânio e usinas nucleares, os níveis de radiação ionizante podem exceder substancialmente os níveis normais de fundo. Várias formas de radiação ionizante também são um problema para satélites em órbita e especialmente para veículos de espaço profundo.

Quando motores convencionais são expostos a altos níveis de radiação, os polímeros reticulados em isolamentos, encapsulamentos, adesivos e outros materiais podem se degradar rapidamente e levar à falha do motor. No caso de veículos espaciais, materiais desintegrados também podem flutuar e contaminar outros sistemas, semelhante ao problema de liberação de gases discutido acima.

Felizmente, a ciência dos materiais também pode ser aplicada para resolver o problema da radiação. Na verdade, muitos dos mesmos materiais e processos usados para evitar a liberação de gases também resultam em um motor fortalecido contra radiação, que funciona de forma confiável ao longo de uma longa vida útil, seja em aplicações expostas à radiação na Terra ou no espaço.

Locais classificados como perigosos

A Kollmorgen oferece uma variedade de motores à prova de explosão para uso em locais perigosos, como minas, operações de produção e refino de petróleo e gás, moinhos de farinha, elevadores de grãos, moinhos têxteis e cabines de pintura industrial. No entanto, para atingir a aplicação mais compacta e potente, pode ser desejável especificar um motor sem carcaça como o principal componente de controle de movimento de um projeto desenvolvido especificamente para atingir as certificações exatas que você precisa.

Com um motor sem carcaça, você pode projetar e construir uma carcaça que use os métodos de proteção de sua preferência e atenda aos padrões relevantes UL, ATEX, IECEx, CSA ou outros padrões para locais perigosos. A Kollmorgen pode fornecer a documentação necessária para dar suporte a essas certificações com relação ao design e construção dos componentes do motor sem carcaça.

Como integrar motores sem carcaça em sua aplicação

Conforme mencionado anteriormente, um kit de motor sem carcaça é composto apenas de um estator e um rotor. Todos os outros componentes normalmente associados a um servomotor com carcaça devem ser incorporados ao mecanismo da aplicação. A seguir, estão algumas das considerações de alto nível a serem abordadas ao projetar esse mecanismo.

Carcaça

Ao contrário de um motor com carcaça com um flange de montagem aparafusado à máquina, um estator sem carcaça é normalmente colado em um componente de cavidade cilíndrica usinada que serve como carcaça para o motor. Aqui, tudo é montado dentro da máquina próximo ao eixo movido, possibilitando um design mais compacto. Os motores sem carcaça da Kollmorgen vêm com um manual de instalação detalhado que abrange tolerâncias de usinagem, agentes de fixação, sequências de montagem e outras considerações.

Para garantir a integridade estrutural e fornecer dissipação de calor adequada, a carcaça é normalmente fabricada em aço ou alumínio com uma espessura mínima de parede de 4 a 6 mm. É importante usar um material de carcaça que possa efetivamente afastar o calor do motor, e é por isso que esses materiais são preferidos. Observe que o aço inoxidável tem baixa condutividade térmica e deve ser evitado ou projetado para ser adequadamente superdimensionado para as melhores práticas em design de máquinas.

A Kollmorgen fornece um amplo conjunto de ferramentas de design. Os clientes podem usar nosso Gerador de Curva de Desempenho de Motor sem Carcaça para obter informações sobre os detalhes da velocidade do motor e torque disponíveis sob uma ampla gama de condições térmicas especificadas. Isso permite que os engenheiros dimensionem adequadamente os motores para cada aplicação e também auxilia na compreensão dos requisitos de design para dimensões a carcaça do estator, bem como considerações térmicas para componentes montados próximos, como rolamentos, engrenagens e dispositivos de feedback.

Esteja ciente também de que alguns motores sem carcaça são projetados para ter um bom desempenho em uma temperatura de enrolamento significativamente menor do que a classificação máxima. Por exemplo, a série TBM2G oferece desempenho excepcional sem exceder 85 °C, mas também é capaz de sustentar desempenho total em até 155 °C de temperatura de enrolamento em uma base contínua.



Enclausuramentos à prova de explosão

Para um projeto à prova de explosão usado em locais perigosos, com potencial de exposição a gases inflamáveis, poeira ou fibras, você precisará garantir que o enclausuramento do motor seja capaz de suportar uma explosão interna, inclua caminhos de chama que impeçam qualquer chama interna ou faísca de atingir o ambiente externo e que as temperaturas da superfície nunca possam ficar quentes o suficiente para inflamar materiais perigosos.

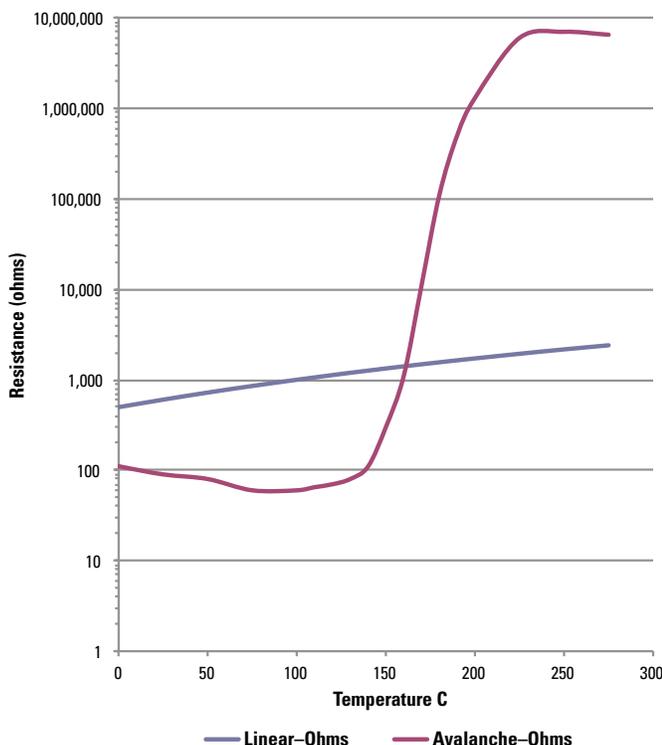
Sua aplicação deve ser projetada, testada e certificada de acordo com todos os padrões aplicáveis para a sua região e para o local perigoso específico. Uma discussão completa do tópico está além do escopo deste informativo técnico, mas você pode entrar em contato com um engenheiro da Kollmorgen para obter orientação sobre os recursos apropriados a serem consultados.

Sensores térmicos

Na fase de design e prototipagem da aplicação, geralmente é útil empregar um **sensor térmico linear** para garantir que o motor forneça o torque contínuo necessário sem exceder uma temperatura de enrolamento aceitável.

Tenha em mente que um motor funcionando na temperatura máxima de enrolamento (por exemplo, 155 °C) pode causar danos térmicos a componentes sensíveis posicionados nas proximidades, como lubrificantes para rolamentos e engrenagens, bem como eletrônicos de dispositivos de feedback com sensibilidade térmica. O aumento térmico excessivo também pode ser prejudicial ao material que está sendo processado pela aplicação, caso seja sensível ao calor.

Um sensor térmico linear, como o amplamente utilizado PT1000, pode fornecer as informações necessárias para correlacionar os níveis de desempenho da aplicação com a temperatura do enrolamento realmente vista no motor. Esses dados podem ser comparados a outros elementos de máquina termicamente críticos na aplicação. Talvez você descubra que a máquina pode operar com segurança a níveis de desempenho mais altos com uma determinada seleção de motor ou que ela pode atingir o desempenho desejado com um motor menor.



Curva de resposta do sensor térmico linear vs. PTC ("avalanche")

No projeto final, pode ser vantajoso incorporar um **sensor térmico do tipo PTC ou "avalanche"**. Um sensor de coeficiente de temperatura positivo é um dispositivo resistivo simples que altera o valor da resistência rapidamente quando a temperatura excede um ponto estabelecido, como o limite máximo de projeto de temperatura contínua para os enrolamentos do motor. A maioria das aplicações de produção não precisa do nível de detalhe fornecido por um sensor térmico linear, a menos que haja alguma função especializada que exija. Mas um dispositivo PTC simples conectado ao drive pode suportar várias ações corretivas em caso de superaquecimento.

Por exemplo, se um motor começar a superaquecer e trabalhar muito, o sistema de controle pode ser programado para fornecer um alerta, reduzir a corrente até que o motor esfrie ou passar por uma sequência de desaceleração/parada — o que quer que faça mais sentido para a saúde e produtividade da aplicação e seu processo. Um sensor PTC fornece um elemento de proteção fácil de implementar e econômico no projeto do sistema de controle.

Eixo e rolamentos

Um motor com carcaça tradicional tem rolamentos internos que permitem que o rotor gire livremente. Esses rolamentos não são projetados para suportar a carga, portanto, um ou mais conjuntos de rolamentos adicionais externos ao motor devem ser incorporados à aplicação para essa finalidade.

Um kit de motor sem carcaça não tem eixo nem rolamentos. Em vez disso, o projeto da aplicação inclui seu próprio eixo de saída. O projetista da máquina já entende os requisitos de carga do rolamento para o mecanismo e simplesmente precisa encontrar um ponto no eixo para montar o rotor a ser adicionado e, em seguida, projetar um elemento de carcaça na máquina para suportar o estator com base na localização do rotor.

Em outras palavras, o projeto incorpora o design do eixo e do rolamento já existentes que são necessários para executar uma tarefa específica, e é preciso apenas acomodar os elementos do rotor e do estator adequadamente no eixo existente. Lembre-se de que a rotação do rotor não introduz nenhuma força de carga axial ou radial significativa nos rolamentos.

Isso significa que os rolamentos no eixo dão suporte ao rotor sem carcaça, mais a carga, mas eles não precisam ser especificados tendo o motor em mente. Em vez disso, selecione e dimensione os rolamentos com base nas forças axiais e radiais que o eixo da máquina encontrará ao mover a carga. Usar um motor sem carcaça em vez de um motor com carcaça não deve ter efeito nos rolamentos do eixo que você especificar.

Dispositivo de feedback

Como em qualquer sistema de servomotor sem escovas, um dispositivo de feedback para fornecer a posição do rotor é usado para controlar o tempo e o sequenciamento do amplificador controlando eletronicamente a energia para o motor. Em sua forma mais simples, esse sinal de comutação pode ser fornecido por um grupo de sensores magnéticos conhecidos como dispositivos de efeito Hall que podem ser oferecidos como uma opção padrão com o conjunto de peças do motor sem carcaça.

Outra opção é fornecer feedback de posicionamento para um sistema de controle de malha fechada usando um encoder incremental que incorpora trilhas de saída de efeito Hall. Ou, para ambientes severos e de alto choque que podem ser prejudiciais a um encoder óptico, um resolver fornece uma alternativa de feedback de posição absoluta robusta e confiável. Os resolvers são frequentemente os preferidos, por exemplo, em aplicações como veículos submersíveis e naves espaciais. No entanto, esteja ciente de que os resolvers fornecem resolução mais baixa, normalmente 12–16 bits.

Freqüentemente, a melhor solução, usada na maioria das aplicações de motores sem carcaça, é um encoder absoluto, que fornece a resolução de 18 bits ou superior necessária para aplicações que precisam da mais alta precisão. Usar um encoder absoluto também elimina a necessidade de um dispositivo de efeito Hall separado, permitindo que o drive sempre saiba a posição exata do rotor, mesmo na inicialização do sistema.

Engrenagens

Os motores sem carcaça são ideais para aplicações direct drive. Mas quando é desejável aumentar o torque enquanto reduz a velocidade, esses motores também podem ser usados com transmissões compactas de harmonic drive (strain wave) de folga zero, bem como transmissões cicloidais, retas e planetárias. Esses conjuntos de engrenagens mantêm extrema precisão enquanto permitem alta multiplicação de torque em um formato compacto.

Por exemplo, usando engrenagens de harmonic drive com uma taxa de redução típica de 100:1, a inércia de carga refletida no eixo do motor é reduzida pelo quadrado da taxa, ou um fator de 10.000, enquanto praticamente não afeta as dimensões gerais do projeto da aplicação.

Essas considerações podem ser importantes quando, por exemplo, você precisa do torque para acelerar uma carga substancial sem hesitação. Ou quando se quer atingir uma quantidade específica de torque usando um motor menor. Entender o



efeito da redução de marcha é essencial para o dimensionamento do motor. Os engenheiros da Kollmorgen oferecem a experiência para ajudar você a fazer as melhores escolhas.

Freios

Algumas aplicações exigem freios eletromagnéticos ou mecânicos. Em aplicações verticais, por exemplo, a gravidade é um componente de carga que pode fazer com que a carga caia ou se mova da posição esperada se a energia do motor for interrompida inesperadamente.

Outro uso para os freios é manter a integridade da posição da carga quando o motor é desligado intencionalmente. Por exemplo, uma plataforma estabilizada, como um gimbal de sensor de UAV, pode se beneficiar de freios para evitar que a carga se desloque quando a aeronave estiver em voo, mas o sensor não for necessário no momento.

Os freios podem ser fornecidos como um componente integral de muitos motores com carcaças. No entanto, com um motor sem carcaça, eles devem ser adicionados ao eixo movido primário do mecanismo.

Projetar para ter capacidade de fabricação

Pode ser muito fácil projetar e construir um protótipo que atenda aos requisitos de desempenho da sua aplicação, mas acabar negligenciando essa necessidade de desempenho ideal no chão de fábrica e no mercado. Para minimizar o risco e maximizar o sucesso, considere que você precisa de componentes de origem confiável, um processo de montagem simples e um design que possa ser facilmente reparado, caso seja necessário.

Ao projetar sua aplicação, pense no processo de fabricação, na ordem de montagem e nos custos totais. Por exemplo, devido às altas forças magnéticas às vezes envolvidas, considere se você precisará de acessórios especiais para instalar com segurança o rotor e o eixo de ímã permanente nas proximidades da carcaça do estator no conjunto da máquina.

Se você espera que a aplicação tenha cargas extremas de rolamento radial que podem encurtar a vida útil típica dos rolamentos do eixo da máquina, talvez deseje incorporar um meio de desmontagem para fácil substituição do rolamento, minimizando o custo e a complexidade da integração do motor sem carcaça. Esses conceitos sutis de design são normalmente parte da conversa sobre sustentabilidade da máquina que faz parte do processo de revisão de design padrão com os engenheiros da Kollmorgen.

Ao considerar esses e outros fatores desde o início do seu processo de design, você pode evitar estouros de custo, garantir que seu processo de fabricação possa acompanhar a demanda e melhorar muito suas chances de aceitação pelo mercado.

Tenha a ajuda e o suporte de que precisa

Projetar e fabricar uma aplicação que incorpore motores sem carcaça não precisa ser repleto de incertezas. Quando surgirem dúvidas ou desafios de design, saiba que sempre há assistência disponível na forma de recursos de autoatendimento, bem como engenheiros com profundo conhecimento de como incorporar motores sem carcaça em todos os tipos de aplicações.

A Kollmorgen oferece várias ferramentas para ajudá-lo a projetar e construir uma aplicação de alto desempenho e que possa ser fabricada com facilidade:

- [Árvore de decisão para motores sem carcaça](#). Esta ferramenta interativa orienta você nas perguntas que você precisa responder para determinar se um motor sem carcaça é o certo para sua aplicação. E, em caso afirmativo, qual tipo específico de motor. Há também uma [versão em PDF para impressão](#).

- [Gerador de curva de desempenho de motores sem carcaça](#). Ajuste os fatores de corrente, tensão, temperatura ambiente e enrolamento para gerar instantaneamente curvas de desempenho e avaliar as melhores opções de motor sem carcaça para atender aos requisitos de sua aplicação.
- [Motioneering](#). Use esta ferramenta de seleção guiada online para escolher e dimensionar os componentes de servo movimento ideais para seu projeto com base em suas necessidades reais de perfil de movimento que podem ser desenvolvidas a partir de uma biblioteca de tipos de projetos mecânicos (fuso de esferas, cremalheira e pinhão, corrente, correia, rolos de aperto, direct drive) e cargas caracterizadas por seus requisitos de tempo e desempenho de aplicação.
- [Outras ferramentas de design](#). Compare e selecione produtos de movimento, gere modelos 3D, configure cabos, calcule tempos de frenagem seguros e muito mais com essas poderosas ferramentas de engenharia.

Pronto para avançar?

[Entre em contato com a Kollmorgen](#) para discutir suas necessidades e objetivos com um especialista em motores sem carcaça.

Sobre a Kollmorgen

A Kollmorgen, uma marca Regal Rexnord, tem mais de 100 anos de experiência em Motion, comprovada com motores, drives, soluções de controle para AGV e plataformas de controle de automação de maior desempenho e confiabilidade do setor. Oferecemos soluções inovadoras que são inigualáveis em desempenho, confiabilidade e facilidade de uso, dando aos fabricantes de máquinas uma vantagem inquestionável no mercado.