



Como alcançar a máxima precisão de movimento usando servomotores sem carcaça

Algumas aplicações de movimento requerem apenas um movimento “bom o suficiente”. Mas muitas outras exigem um alto grau de precisão. E outras ainda exigem precisão máxima. Para estas, os servomotores sem carcaça direct drive costumam ser a melhor escolha.

Dentre as aplicações de precisão máxima estão os atuadores compactos usados em aplicações de automação geral de ponta, gimbals compactos usados para estabilizar plataformas de detecção e comunicação, estações de trabalho robóticas, máquinas-ferramentas de precisão ou qualquer aplicação em que seja necessária uma resolução de 18 bits ou superior para posicionamento altamente repetível.

Nas fábricas, por exemplo, costumava ser necessária a intervenção humana em processos automatizados para movimentar peças de uma célula de trabalho para outra, colocando-as em uma sequência de acessórios de precisão. Esses processos agora podem ser realizados muito mais rapidamente com robôs colaborativos que podem exigir de 6 a 7 graus de liberdade. Os eixos ao longo do braço do robô devem fornecer o torque necessário para mover, apoiar e estabilizar o resto da montagem, e a precisão absoluta é necessária para evitar um acúmulo de erros de posicionamento que podem resultar em sucata ou tempo de inatividade indesejados.

Ou considere um sistema de gimbal que estabiliza e posiciona um sistema de imagem eletro-óptica/infravermelha, usado, por exemplo, para fornecer consciência situacional e direcionamento precisos em aplicações aeroespaciais e de defesa. O gimbal é um suporte giratório que permite a rotação do sensor EO/IR em torno de um eixo, com graus de liberdade adicionais obtidos combinando ou encaixando dois ou mais gimbais, cujos eixos de rotação são separados por 90°. Os motores que acionam esses sistemas devem reagir imediata e precisamente para manter uma imagem estável, apesar da trepidação extrema que ocorre nos voos de alta velocidade.

Existem muitos outros exemplos de aplicações que dependem da capacidade de fornecer alto torque, aceleração/desaceleração responsiva e precisão absoluta em um formato compacto. Os motores sem carcaça direct drive costumam ser a escolha ideal para essas aplicações.

Por que sem carcaça?

Se encontrar um motor com carcaça que se adapte bem à sua aplicação, geralmente essa será a melhor escolha. Mas para aplicações que têm necessidades especializadas, como um design ultracompacto, extrema precisão e capacidade de resposta de movimento ou a necessidade de proteger o motor de condições ambientais adversas e potencialmente prejudiciais, um motor sem carcaça será quase sempre a melhor solução.

Motores sem carcaça são precisos e eficientes

Em uma aplicação direct drive, não há deformação mecânica, folga nem perda de movimento. Mesmo quando é usada uma caixa de engrenagens, os motores sem carcaça são mais adequados para uso com projetos de folga baixa ou zero, como harmonic drive (strain wave), conjuntos de engrenagens planetárias e cicloidais. E com a mais alta densidade de torque, os motores sem carcaça oferecem a maneira mais eficiente em termos energéticos para atender aos requisitos de torque e velocidade da sua aplicação.

Os motores sem carcaça são muito compactos

Os kits de motor sem carcaça são compostos apenas de um estator e um rotor. Todos os outros componentes associados a um servo motor tradicional – carcaça, discos do mancal, rolamentos, eixo de saída e conectores – são projetados no próprio mecanismo de aplicação. Incorporar um motor sem carcaça nesse design de mecanismo permite ocupar o menor espaço possível sem comprometer o desempenho.

Os motores sem carcaça fornecem resiliência ambiental superior

Como os motores sem carcaça estão diretamente integrados na aplicação, eles podem ser protegidos contra fatores ambientais por design. Em aplicações em que há lavagem, por exemplo, um motor sem carcaça pode ser incorporado para que fluidos de alta pressão nunca o toquem. Para um sistema de propulsão em alto mar, o motor pode ser vedado em uma carcaça cheia de óleo e com pressão compensada. Em ambientes de alto vácuo e alta radiação, materiais especializados podem ser usados para evitar a liberação de gases ou degradação do isolamento.

Motores sem carcaça estão disponíveis em uma ampla variedade de tamanhos, formas e características de desempenho

Os engenheiros de projeto podem otimizar facilmente o dimensionamento da aplicação em relação às características de desempenho necessárias. Por exemplo, as diversas linhas de produtos sem carcaça da Kollmorgen oferecem fatores de forma servo (axialmente mais longo) e de torque (axialmente mais curto) em diâmetros padrão que variam de alguns centímetros a quase um metro. As tensões de barramento variam de ≤ 48 VCC a 680 VCC (480 VAC retificado). As capacidades de torque contínuo variam de uma fração a vários milhares de Nm.

Com todas essas opções, os engenheiros de projeto podem determinar a massa que precisam mover, o tempo, as restrições de aplicação e espaço e quaisquer desafios ambientais. E, trabalhando com essas informações, determinar a linha de produtos e o fator de forma que se adaptam idealmente à aplicação.



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 conexão, sequências de montagem e muito mais.

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, seguindo as melhores práticas para aplicações de 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.



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.

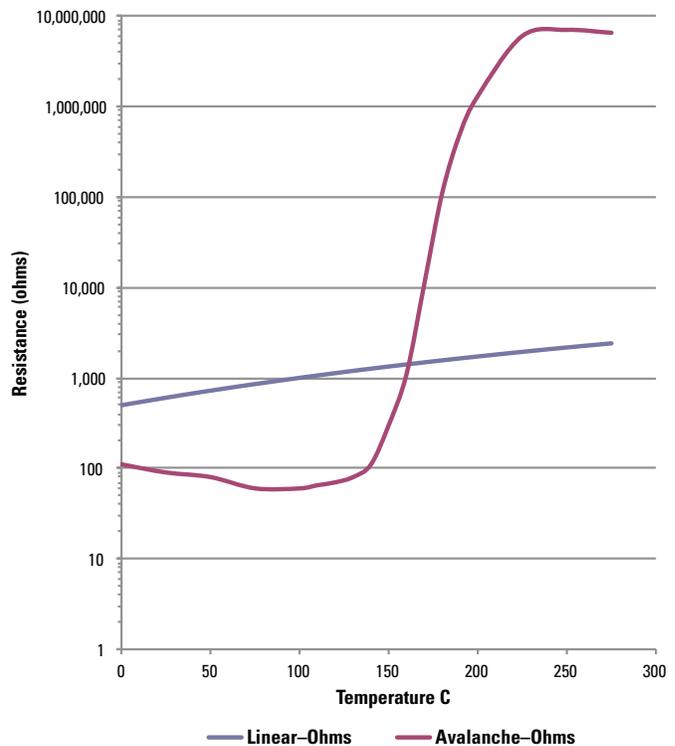
Um sensor térmico linear, como o amplamente utilizado PT1000, pode fornecer as informações necessárias para correlacionar os níveis de desempenho da aplicação com a temperatura do enrolamento realmente vista no motor. Esses dados podem ser comparados a outros elementos de máquina termicamente críticos 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.

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

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 conjunto de motor sem carcaça não tem eixo nem rolamentos. Em vez disso, o projeto da aplicação inclui seu próprio eixo de saída. Os rolamentos no eixo suportam tanto o rotor quanto a carga. Não há necessidade de alterar o design geral da máquina para acomodar um motor sem carcaça específico. O projetista da máquina já entende os requisitos de



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

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 PTC fornece um elemento de proteção fácil de implementar e econômico no projeto do sistema de controle.

carga do rolamento para o mecanismo e simplesmente precisa encontrar um ponto no eixo para montar o rotor a ser adicionado. Com base na localização do rotor, o elemento da carcaça é projetado na máquina para dar suporte ao estator.

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, apesar da resolução ser menor, normalmente de 12 a 16 bits.

Frequentemente, 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 sistemas de automação 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 engrenagens compactas de harmonic drive (strain wave) de folga zero, bem como engrenagens 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.

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](#).

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.

- [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.