

Motor de passo ou servomotor:
Qual escolher?

KOLLMORGEN

Cada tecnologia tem seu nicho e, uma vez que a seleção de qualquer uma dessas tecnologias de motor de passo ou servomotor afeta a probabilidade de sucesso, é importante que o projetista da máquina considere as vantagens e desvantagens técnicas de ambos para selecionar o melhor sistema de drive de motor para uma aplicação.

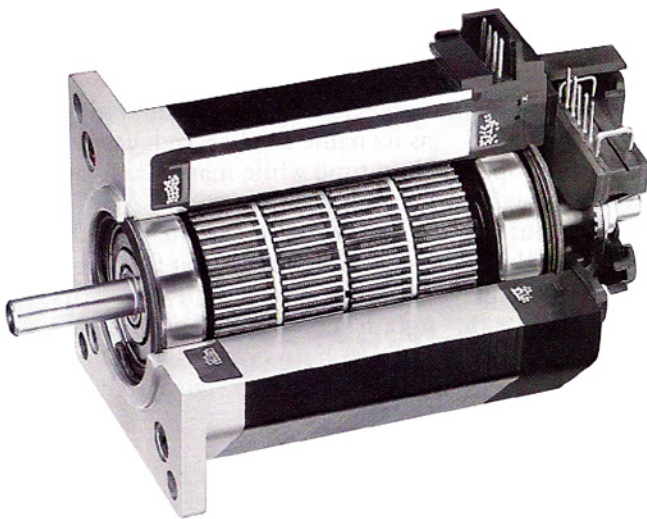
Os projetistas de máquinas não devem limitar a utilização de motores de passo ou servomotores a uma mentalidade predeterminada ou nível de conforto, mas aprender onde cada tecnologia funciona melhor para controlar um mecanismo específico e processo a ser executado.

Os drives de motores de passo digitais atuais fornecem recursos de acionamento aprimorados, flexibilidade de opções e protocolos de comunicação usando circuitos integrados avançados e técnicas de programação simplificadas. O mesmo vale para os sistemas de servomotores, enquanto a densidade de torque superior, a eletrônica aprimorada, os algoritmos e a resolução de feedback mais avançados resultaram em recursos de frequência de acomodação do sistema mais altos e também custos operacionais iniciais e gerais mais baixos para muitas aplicações.

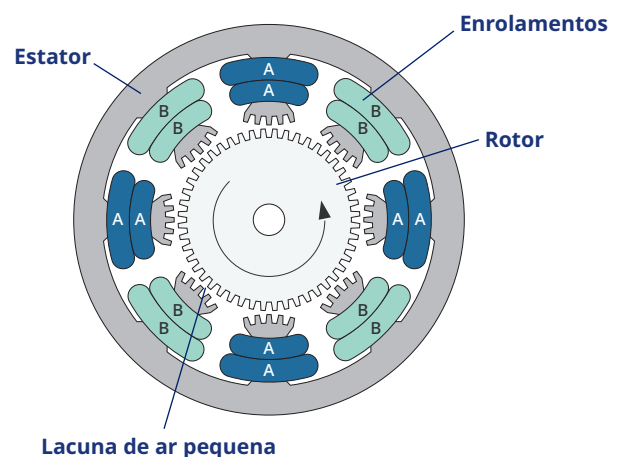
Este artigo apresenta uma visão geral dos recursos de motores de passo e servomotores como critérios de seleção entre as duas tecnologias. Uma compreensão profunda dessas tecnologias ajudará a alcançar os projetos mecatrônicos ideais para extrair ao máximo os recursos de sua máquina.

VISÃO GERAL DO SISTEMA DE MOTORES DE PASSO

Os motores de passo têm várias vantagens importantes sobre os sistemas de servomotores. Eles normalmente custam menos, têm montagens NEMA comuns, oferecem opções de torque mais baixo, utilizam cabeamento mais barato e seu controle e movimento de malha aberta simplifica a integração e o operação da máquina.



CONSTRUÇÃO DO MOTOR DE PASSO



CONSIDERAÇÕES SOBRE TORQUE E VELOCIDADE

A questão de usar um motor de passo ou servomotor é ditada pela aplicação na maioria dos casos. Os motores de passo são normalmente dimensionados para o dobro dos seus requisitos contínuos para ter capacidade adicional de torque de aceleração e desaceleração ou para ter um torque de pico especificamente necessário.

Em contraste, os servomotores são geralmente dimensionados para as velocidades e torques de aplicação específicos, máxima aceleração/desaceleração intermitente, torque de retenção (se aplicável) e requisitos de torque de RMS contínuos sobre o perfil de movimento completo.

Em geral, se uma aplicação requer a capacidade de alto rendimento, alta velocidade e alta frequência de acomodação para a correção de distúrbios e/ou para altas rotações por minuto (rpm), com ou sem coordenação estreita entre eixos, servomotores são a melhor opção. Se o desempenho da posição ponto a ponto e os requisitos de rpm forem modestos (em função das cargas do processo e dos

distúrbios esperados), os motores de passo podem ser uma escolha melhor. Além disso, quando as cargas estão dentro do razoável, a capacidade de um motor de passo manter a posição (usando o torque de retenção enquanto energizado e o torque de detenção enquanto desligado) pode ser uma vantagem.

As curvas de velocidade-torque destacam a diferença entre motores de passo e servomotores de ímã permanente CA de igual volume (Figura A). Os motores de passo geralmente geram torque contínuo mais alto em velocidades mais baixas do que servomotores. No entanto, os servomotores produzem torques de pico no regime intermitente nesta mesma faixa de baixa velocidade e produzem torques de pico e contínuos em uma faixa de velocidade muito mais ampla e alta.

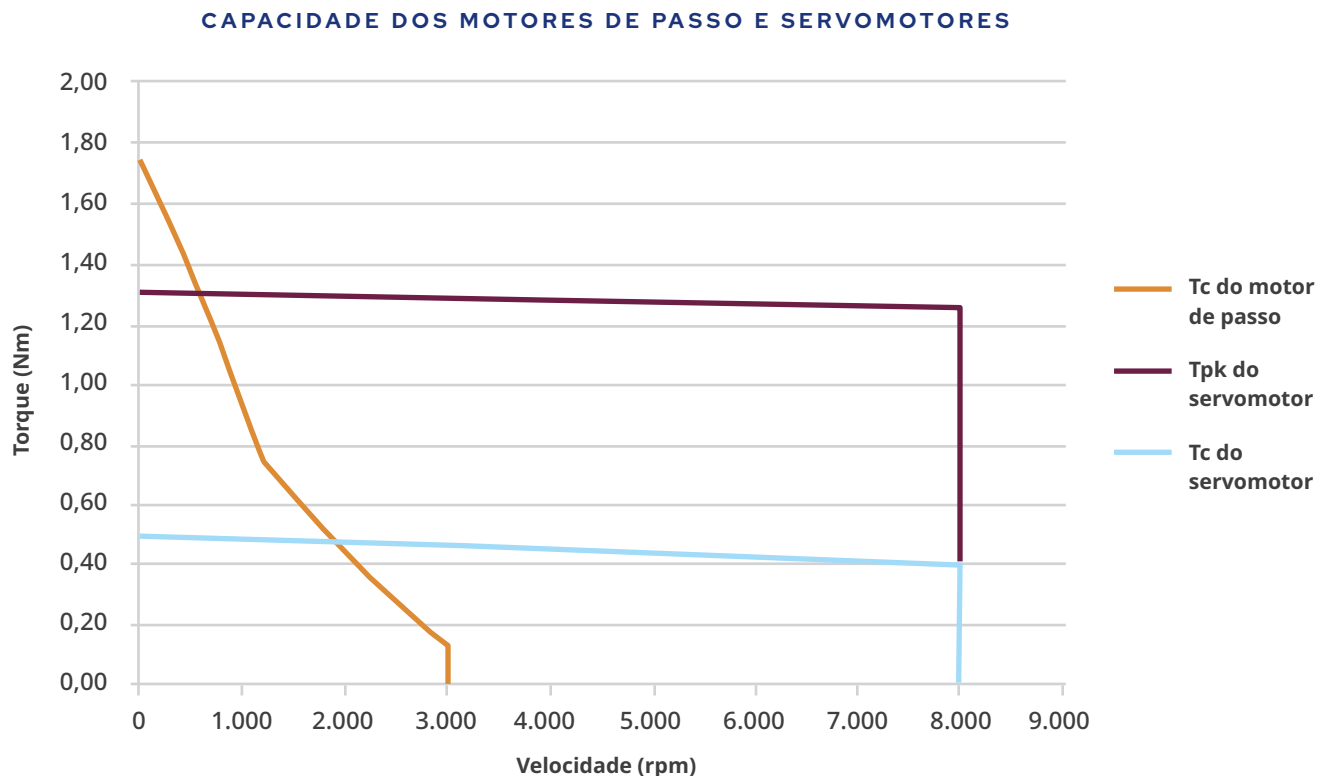


Figura A: Comparação da curva de desempenho com aproximadamente o mesmo volume.

Exemplo de aplicações que os sistemas de motor de passo atendem bem são eixos de máquina automatizados para ajuste e configuração, bem como eixos de vídeo para inspeção. Os motores de passo são especialmente ideais para esses tipos de eixos porque tendem a ser mais fáceis de projetar em sistemas de controle e são inicialmente mais baratos de configurar. Quando um eixo para uma determinada configuração pode ser travado fisicamente no lugar, sua operação é menos dispendiosa (por exemplo, com o modo de energia reduzida LIGADO/DESLIGADO opcional ativado). Além disso, quando aplicados corretamente, os motores de passo são menos propensos a falhas por causa de seu controle de malha aberta simples, que requer apenas a correspondência de enrolamento para o drive em relação ao tuning de motor para drive para mecanismo necessário para circuitos de feedback de um sistema de malha fechada.

DRIVES DOS MOTORES DE PASSO

As técnicas de projeto mais recentes aprimoraram o desempenho do motor de passo pela utilização de feedback integrado; amortecimento de fim de movimento para tempos de estabilização reduzidos, maximizando a precisão; arranque lento para reduzir o jerk na inicialização; modos antirressonância para otimizar torque, estabilidade e redução de ruído (audível ou não); redução de corrente ociosa para aquecimento reduzido do motor durante a paralisação; e modos de operação facilmente controlados entre passo completo, meio passo e micropassos.

Embora a maioria dos motores de passo devidamente dimensionados sejam extremamente precisos ao girar em malha aberta no modo de passo selecionado, o feedback integrado fornece precisão adicional sem o custo de um dispositivo de feedback externo. Com a redução do tamanho de passo para aumentar a resolução, as técnicas de micropasso resultam em torque e movimento mais suaves em baixas velocidades e velocidades maiores.

DESENVOLVIMENTOS DO MOTOR DE PASSO MODERNO

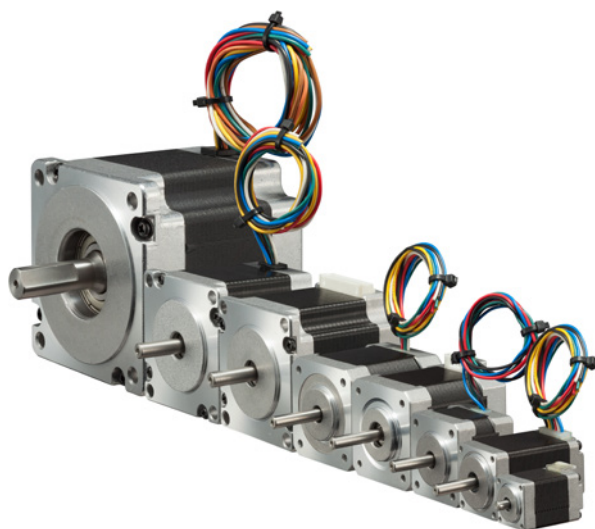
Os motores de passo modernos estão disponíveis em classificações de potência maiores do que os motores de passo da geração anterior. Novas técnicas de projeto levaram a lacunas de ar menores, ímãs mais fortes, ímãs fisicamente maiores e superdimensionamento do rotor.

Aumentar o diâmetro e a inércia do rotor (ao mesmo tempo que retém o mesmo tamanho de carcaça e enrolamento do motor de passo) gera mais torque por volume de unidade. Obviamente, a maior inércia do rotor pode afetar também os tempos de aceleração e desaceleração para uma determinada aplicação, mas este método abre mais aplicações para um

determinado tamanho do flange do motor pela proporção efetiva diminuída da carga (J_{load}) para a inércia do rotor do motor (J_m). Geralmente, os sistemas de motor de passo são dimensionados com uma relação de inércia (J_{load}/J_m) de menos de 30:1, mas com acelerações e desacelerações mais lentas e operação avançada de micropassos, proporções de inércia de 200:1 são alcançáveis.

Com a detecção de travamento agora sendo tratada eletronicamente nos [drives de motor de passo modernos](#) da atualidade, o feedback externo não é normalmente exigido para a sincronização do pulso com o eixo. No entanto, dispositivos de feedback opcionais são utilizados para a confirmação de posição (malha aberta) ou correção da posição devido a informações de desalinhamento do componente, ruído e/ou perda do pulso (posição). Dependendo do drive do motor de passo, um motor de passo com feedback dinâmico terá menos ripple de velocidade e usará menos energia do que os equivalentes de malha aberta e terá maior torque residual em baixas velocidades do que um servomotor trifásico equivalente.

As aplicações de motor de passo que requerem feedback podem se aproximar do custo de um sistema de servomotor, e o que pode ser uma vantagem operacional em uma aplicação pode ser uma desvantagem em outra. Para fazer a escolha certa, os projetistas devem avaliar cuidadosamente o trabalho a ser realizado. Frequentemente, os sistemas de passo de malha fechada não competem tecnicamente bem contra os sistemas de servomotor de preço mais baixo, portanto os prós e contras de ambos os tipos devem ser considerados cuidadosamente com relação à aplicação específica.



[Motores de passo PMX](#) oferecem desempenho e flexibilidade de projeto em um pacote de alto torque em relação ao custo.

VISÃO GERAL DO SISTEMA DE SERVMOTOR

Os servomotores têm várias vantagens distintas em relação aos motores de passo. Eles podem gerar alto torque em uma ampla faixa de velocidade sob demanda e estão disponíveis em faixas de torque mais amplas e tensões mais altas (até 480 VCA). Eles respondem às perturbações com um torque muito maior do que sua capacidade contínua e usam apenas a potência necessária para realizar o movimento comandado. E são compactos.

SERVODRIVES

A compensação motor/drive, muitas vezes referida como tuning ou comp, já foi um obstáculo do processo de configuração para usuários de servomotores, mas ficou,

em sua maior parte, no passado. Hoje, as [mais novas tecnologias de servodrives digitais](#) aprimoraram os recursos de software e hardware para melhorar a experiência do usuário e oferecem notável flexibilidade de compensação. Na verdade, alguns sistemas de servomotores configuram automaticamente o motor, o drive e o feedback, além de autoajustarem também. Os servodrives que se ajustam automaticamente se adaptam ao mecanismo motor/drive fornecido, sem uma diminuição no desempenho e com pouca necessidade de um tuning fino adicional das malhas de controle.

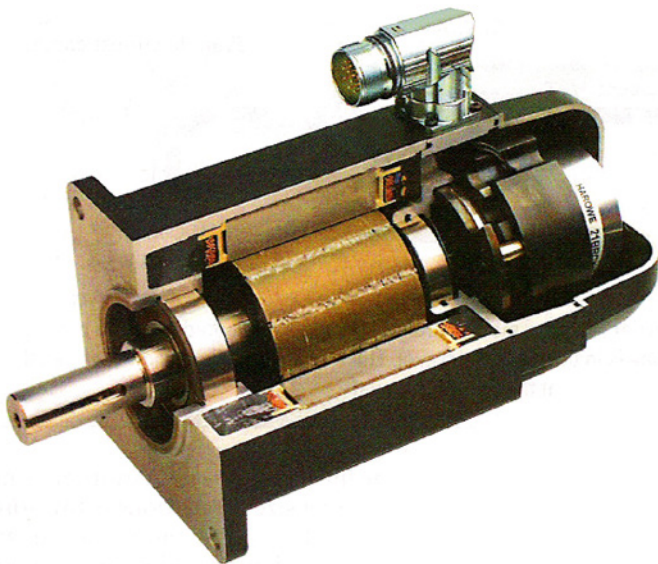
CONSIDERAÇÕES SOBRE TORQUE E VELOCIDADE

Embora os servomotores sejam projetados para funcionar em altas velocidades, eles podem funcionar com precisão em velocidades extremamente baixas sob um controle muito preciso, mesmo abaixo de 1 rpm ou inferior com a preparação adequada. Quando utilizados corretamente, os motores de passo são precisos e geralmente são uma solução mais econômica para aplicações de baixa velocidade de menos de 1.000 rpm. No entanto, acima de 1.000 rpm, o torque de um motor de passo começa a cair como resultado das constantes de tempo do circuito magnético e perdas do núcleo.

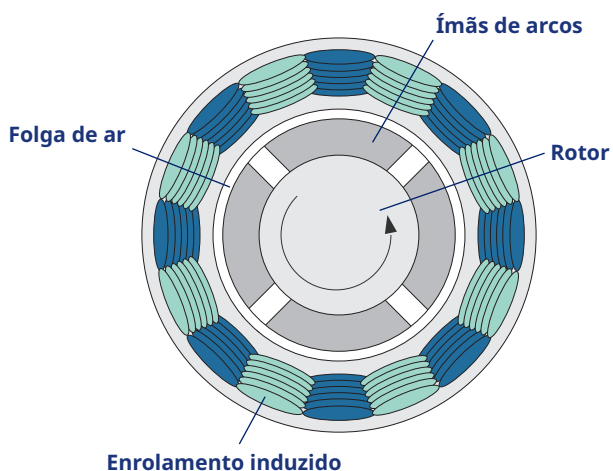
Em contraste, servomotores com torque comparável não começam a cair até cerca de 2.000 a 4.000 rpm ou mais (Figura B). As aplicações de servo Direct-Drive que alimentam cargas de alta inércia normalmente utilizam velocidades abaixo de 1.000 rpm, enquanto as aplicações de servomotores típicas com conjunto de drive com vantagem mecânica utilizarão qualquer velocidade dentro de sua faixa de capacidade de trabalho.

Com uma faixa de velocidade exigida entre 1.000 e 3.000 rpm, a tecnologia de motor ideal pode ser determinada por requisitos de aplicação como potência, pico de torque na velocidade, torque contínuo de RMS e repetibilidade.

No travamento (velocidades baixas < 50 passos/s ou 15 rpm) ou ao segurar uma carga sem movimento, os motores de passo, especialmente com rotores superdimensionados, podem produzir mais torque do que servos para um determinado tamanho de carcaça, embora os projetos de servomotores mais novos estejam se aproximando desses valores. Com essa capacidade de torque, os motores de passo podem produzir movimentos de baixa velocidade extremamente precisos e rígidos sem a necessidade de um redutor ou outra vantagem mecânica.



CONSTRUÇÃO DO SERVMOTOR



Em contraste, [servomotores Direct-Drive](#) com maior contagem de polos e feedback de alta resolução são frequentemente utilizados para aplicações de processos industriais que requerem velocidades típicas de menos de 1.000 rpm sem uma vantagem mecânica, como um redutor planetário.

Quando um motor de passo está em repouso, ele usa energia contínua e não há absolutamente nenhum movimento, a menos que esteja sobrecarregado. Quando não está energizado, sua capacidade de torque de detenção pode ser usada para manter a posição em algumas aplicações.

Em contraste, um servomotor nunca está em repouso quando ativado devido à correção de erro constante da malha fechada, durante o qual usa apenas a energia necessária para manter sua posição comandada. O erro de malha de controle de posição em constante variação faz com que o eixo de saída do servomotor se mova para frente e para trás (embora não deva ser perceptível), enquanto procura continuamente o erro mínimo.

Este movimento contínuo do atuador para frente e para trás é chamado de "caça", semelhante a outro termo, "tremor", que é o movimento do atuador propositalmente induzido (por exemplo, no acionamento de uma válvula para superar continuamente possíveis problemas de atrito). O deslocamento físico durante a caça normalmente envolve apenas algumas contagens de feedback relativas à resolução total. O movimento que é imperceptível na maioria das aplicações pode ser inaceitável em outras. Dispositivos de feedback de maior resolução reduzem o delta de caça normal ao mesmo tempo que reduzem o risco de instabilidade do eixo.

Onde a repetibilidade e a resolução são um problema, tradicionalmente território de servomotores, os motores de passo podem agora ser considerados. O requisito de aplicação para sistemas de passo é que a carga deve ser previsível ou sujeita apenas a pequenas forças externas e distúrbios, onde a coordenação rígida entre os eixos não é necessária. Os motores de passo rodando em malha aberta podem economizar um custo inicial de mais de 20% a 30% em relação a soluções servo comparáveis.

CAPACIDADE DOS MOTORES DE PASSO E SERVMOTORES

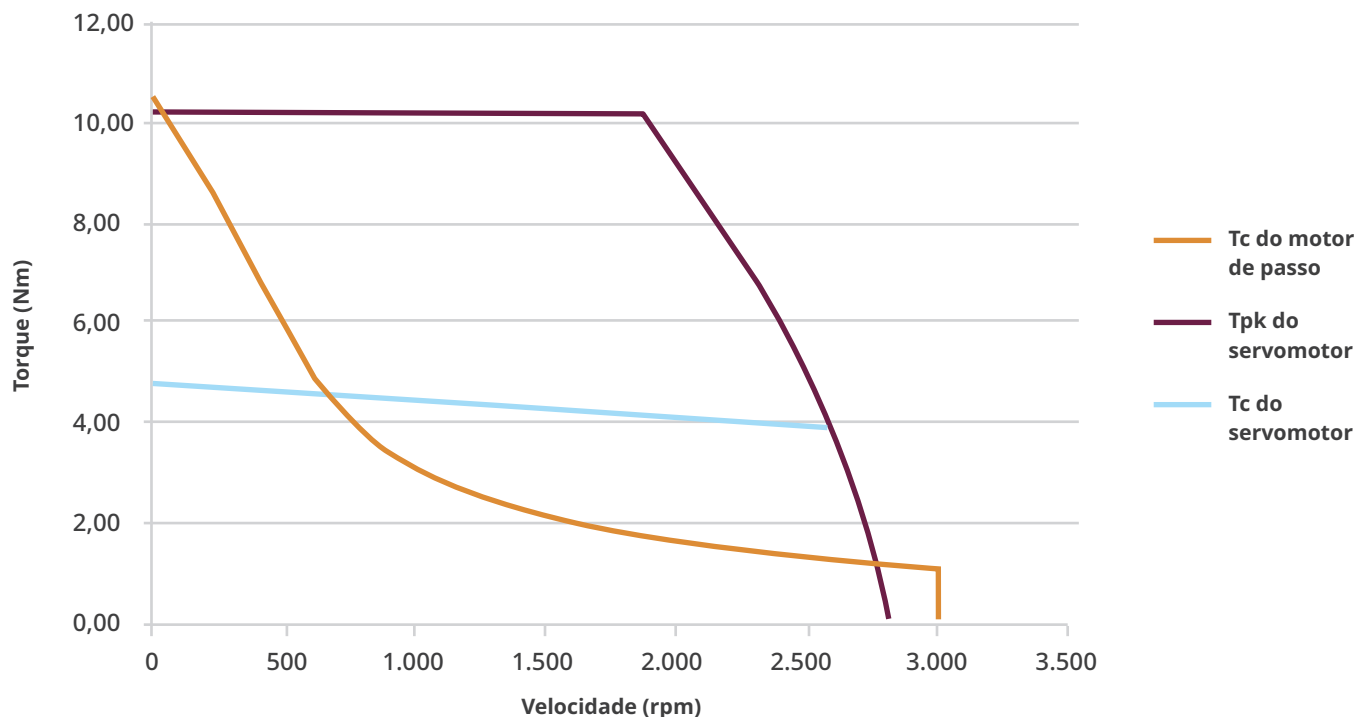


Figura B: Comparação da curva de desempenho com capacidade de volume e velocidade semelhantes.

CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

DESEMPENHO DE TORQUE

Ao avaliar as curvas de velocidade-torque comparáveis, os projetistas devem selecionar o motor que fornece o maior valor de torque nas velocidades exigidas. Pelo mesmo preço, a maioria dos projetistas prefere usar servomotores. Para cargas constantes ou variáveis, os sistemas de servo conseguem se recuperar de condições de sobrecarga onde os sistemas de motores de passo não conseguem. Motores de passo oferecem muito torque em um pequeno pacote de velocidades a 1.000 rpm, enquanto servomotores podem suportar requisitos de torque em velocidades abaixo e muito acima de 1.000 rpm.

CASAMENTO DE INÉRCIA

Determinar a inércia de carga do sistema pode ajudar na seleção técnica de tecnologia do motor. Como regra geral, os motores de passo geralmente não excedem uma proporção de 30:1 da inércia da carga para a inércia do motor (J_{load}/J_m). Em contraste, os sistemas de servo Direct-Drive com feedback de alta resolução e sem conformidade (exceto o aço movido), podem operar na proporção de 200 a 300:1 e maiores, com tempos de resposta rápidos em relação às tecnologias de feedback anteriores.

No passado, os sistemas de servomotores típicos que exigiam tempos de resposta rápidos e alta aceleração ou desaceleração exigiam uma proporção de inércia de carga em relação ao rotor na faixa de 1:1 a 5:1, que mais tarde mudou para a faixa de 1:1 a 8 a 10:1.

Atualmente, um sistema servo que tem a mais alta resolução de feedback disponível com conformidade e/ou folga mínima pode obter taxas de inércia de 1 a 20:1 e superiores para muitas aplicações. As proporções de intervalo mais altas oferecem a melhor [eficiência operacional](#) com poucos riscos adicionais. Relações de inércia mais altas tornam-se cada vez mais dependentes da aplicação, não apenas em relação à especificação e o desempenho solicitados da máquina, mas também em relação à conformidade e folga do mecanismo. Para sistemas Direct-Drive, a rigidez necessária geralmente exige eixos e rolamentos maiores, e até mesmo a conformidade da fixação/suporte da máquina que segura o motor tem relevância.



[Servomotores AKM™](#) oferecem aos projetistas a flexibilidade de realizar modificações de coengenharia de forma rápida para se ajustarem a aplicações específicas. Eles estão disponíveis em 8 dimensões de carcaças com mais de 500 mil configurações padrão.

COORDENAÇÃO DE EIXOS

As aplicações que requerem coordenação entre eixos podem se beneficiar de sistemas controlados por servo devido à sua sincronização precisa e alta capacidade de frequência de acomodação, que permite uma correção rápida contra distúrbios detectados e/ou mudanças de comando. Os sistemas de motor de passo de malha aberta de tamanho adequado permanecerão em sincronia sem qualquer feedback de confirmação, mas são limitados a movimentos ponto a ponto com apenas a possibilidade de coordenação sequencial ou pseudocoordenação entre os eixos comandados.

AJUSTES DE CABEAMENTO E DE MOTOR/DRIVE

Uma mudança que melhora a confiabilidade e manutenção nos servos foi a redução no [número de fios](#) necessários entre os dispositivos de alimentação e feedback.

Os fabricantes eliminaram muitas das suposições do tuning (compensação do mecanismo do motor/drive) em sistemas de malha fechada e na periodização de manutenção do sistema. Técnicas de tuning automatizadas ou calculadas e programas de diagnóstico integrados ajudam a simplificar esses requisitos para o usuário. Além disso, a maioria dos servodrives pode usar entradas tradicionais de pulso e direção que foram usadas para realizar a interface com os motores de passo por muitos anos. Os servomotores que utilizam esse recurso estão em um modo de posição operacional que elimina a perda potencial ou adição de passos de motor comandado.

Isso nos leva a um dos problemas mais comuns com sistemas de motor de passo quando operam no limite de sua capacidade: a perda e/ou adição de passos de movimento em relação ao número de passos comandados. O problema é mais perceptível durante a aceleração e/ou desaceleração. A perda de passos normalmente resulta de uma inércia muito grande que afeta a aceleração ou de um atrito maior do que o solicitado. Em contraste, a adição de passos normalmente resulta de ruído ou inércia muito grande, afetando a desaceleração. Devido ao acúmulo dos passos de movimento adicionais e de perda, pode levar horas até que alguma tolerância de fabricação seja excedida.

No entanto, os motores de passo são ainda mais simples, tendo menos fios para conectar com quantidades mínimas de ajuste do motor/drive para colocar o sistema em funcionamento.

PRECISÃO E RESOLUÇÃO

Os sistemas de motor de passo têm uma diferença entre sua resolução teórica e real. Por exemplo, um motor de ângulo de passo de 1,8° bifásico de passo completo tem 200 posições possíveis em uma revolução (360°/1,8°), mas para isso ser realmente alcançado ou não depende de como o motor foi dimensionado para a aplicação. O mesmo acontece com os modos de drive do motor de meio passo e micropasso. Um motor de micropassos de 1,8°, embora especificado como tendo dez micropassos por cada passo completo, não consegue necessariamente encontrar qualquer posição de micropasso.

Além disso, vários micropassos comandados podem ser necessários antes que haja acúmulo de torque suficiente para superar o atrito e a inércia da carga. Em uma situação real, o motor poderia facilmente pular um ou mais micropassos além do número comandado e se estabilizar ali. Quando os requisitos de resolução de posicionamento precisam exceder 200 passos por rotação, os motores de passo podem utilizar um encoder de feedback para atingir mais de 1.000 passos por rotação. Com preparação adequada, motores de cinco fases e motores de micropassos também podem melhorar os passos por rotação.

A resolução do servomotor é teoricamente infinita, mas o posicionamento do sistema com operação em malha fechada depende principalmente da resolução do dispositivo de feedback, seja ele um encoder senoidal, resolver ou um encoder do tipo digital (TTL). Os dispositivos de feedback de alta resolução da atualidade podem se aproximar de 2^{21} (ou seja, 2.097.152) a 2^{28} (ou seja, 268.435.456) contagens por rotação do motor, mais a capacidade opcional de múltiplas voltas (normalmente até 4.096 voltas). Dispositivos de feedback com capacidade de múltiplas voltas estão disponíveis para a posição absoluta de um eixo na inicialização da máquina, eliminando o ciclo interno em cada inicialização da máquina; no entanto, uma opção de múltiplas voltas pode limitar a resolução de feedback total disponível.



REPETIBILIDADE

Os servomotores são extremamente repetíveis porque trabalham em malha fechada. Mas os motores de passo podem ser repetíveis em muitas aplicações, especialmente quando executados em uma direção. No entanto, quando um modo de redução de corrente ociosa (ICR) é utilizado e/ou a carga aumenta (como durante a inversão de direção) e excede a capacidade do motor de passo, a situação muda. Semelhante a como um redutor deve compensar a folga, o motor de passo deve alcançar o comando do sistema. Durante o primeiro movimento em uma nova direção, a precisão do motor é afetada, pois o motor de passo está superando a inércia e os efeitos do atrito da carga. Uma vez que isso acontece, o sistema recupera sua repetibilidade especificada, mas pode ter perdido ou ganhado passos de posição reais sobre as comandadas.

POTÊNCIA DE ENTRADA

Um motor de passo é equivalente a um indutor em série com uma resistência e, como resultado, a corrente que produz o torque requer tempo para subir. Esse tempo limita a velocidade para uma dada tensão, portanto aumentar a velocidade do motor em uma determinada aplicação pode exigir tensões mais altas.

Um sistema de servo funciona de forma semelhante, mas trabalhando dentro de sua faixa de capacidade, as malhas de controle do drive apresentarão a tensão e a corrente necessárias ao servomotor para atender à demanda da carga em relação ao seu erro de comando e de feedback. Em contraste, quando um sistema de servomotor é forçado a funcionar fora de sua capacidade operacional, mesmo por um milissegundo, ele não está mais sob controle e, portanto, não está operando como um servomotor.

CONCLUSÃO

As tecnologias de passo e servo tem funções importantes a desempenhar dos projetos mecatrônicos de máquina da atualidade. No entanto, uma vez que as vantagens e desvantagens dos sistemas de servomotores e de motores de passo são claramente entendidas, especialmente em relação ao processo ou trabalho a ser executado, a melhor escolha para uma determinada aplicação torna-se muito mais clara.

Presumindo que o processo solicitado possa ser realizado com uma solução de motor de passo ou servomotor, atendendo aos requisitos de repetibilidade, precisão e flexibilidade da aplicação para as necessidades presentes e futuras, as considerações restantes provavelmente seriam meio ambiente, vida útil, ruído operacional e utilização de energia.

Quando os requisitos específicos permitem qualquer uma das duas tecnologias, discernimento e a previsão podem orientar a seleção final com relação ao processo de trabalho considerado ou trabalho a ser realizado, possíveis necessidades futuras e a experiência da máquina do projetista.

ATRIBUTOS DE APLICAÇÃO PARA MOTORES DE PASSO EM COMPARAÇÃO COM SERVOMOTORES

Requisitos de aplicação	Motor de passo	Servomotores
Maior densidade de torque	✓	
Maior faixa de torque e velocidade		✓
Malha aberta (típica)	✓	
Baixa tensão (< 75 volts)	✓	✓
Média tensão	Possível	✓
Alta tensão (400-480+ volts)		✓
Velocidade baixa (até 1.000 rpm)	✓	✓
Velocidade média (1.000 a 3.000 rpm)	Possível	✓
Velocidade alta (> 3.000 rpm)		✓
Torque alto em velocidade baixa (< 1.000 rpm)	✓	✓
Tempos de resposta alto de frequência de acomodação		✓
Ponto a ponto (simples/modesto)	✓	✓
Ponto a Ponto (coordenado)	Possível	✓
Coordenação entre eixos	Pseudo	✓
Maior aceleração/desaceleração		✓
Manter posição sem "caça"	✓	
Torque de retenção	✓	
Cargas de inércia até 30:1 (J _{load} /J _m)	✓	Possível
Cargas de inércia até 200:1 (J _{load} /J _m)	Possível	DD+(R/L)*
Correções rápidas contra distúrbios/comandos		✓
Torques de pico disponíveis > Capacidade contínua		✓
Maior resolução		✓
Maior faixa de tensão de entrada		✓
Integração mais simples	✓	
Ideal para cargas fixas	✓	
Maior ganho do produto		✓
Maior eficiência		✓

*DD=Direct-Drive, R= Rotativo, L=Linear



Sobre o autor

Hurley Gill é engenheiro sênior de aplicações/sistemas na [Kollmorgen](#), localizada em Radford, VA, EUA. Ele se formou em engenharia em 1978 na Virginia Tech e está envolvido na indústria de controle de movimento desde 1980.

SOBRE A KOLLMORGEN

A Kollmorgen tem mais de 100 anos de experiência em motion, comprovada em motores, acionamentos, atuadores lineares, redutores planetários, soluções de controle para AGV e plataformas de automação de maior desempenho e confiabilidade da indústria. Oferecemos soluções inovadoras que são inigualáveis em desempenho, confiabilidade e facilidade de uso, dando aos fabricantes de máquinas uma vantagem inquestionável no mercado.

Para mais informações, acesse www.kollmorgen.com.br, envie e-mail para contato@kollmorgen.com ou ligue para +55 (11) 4615-6300