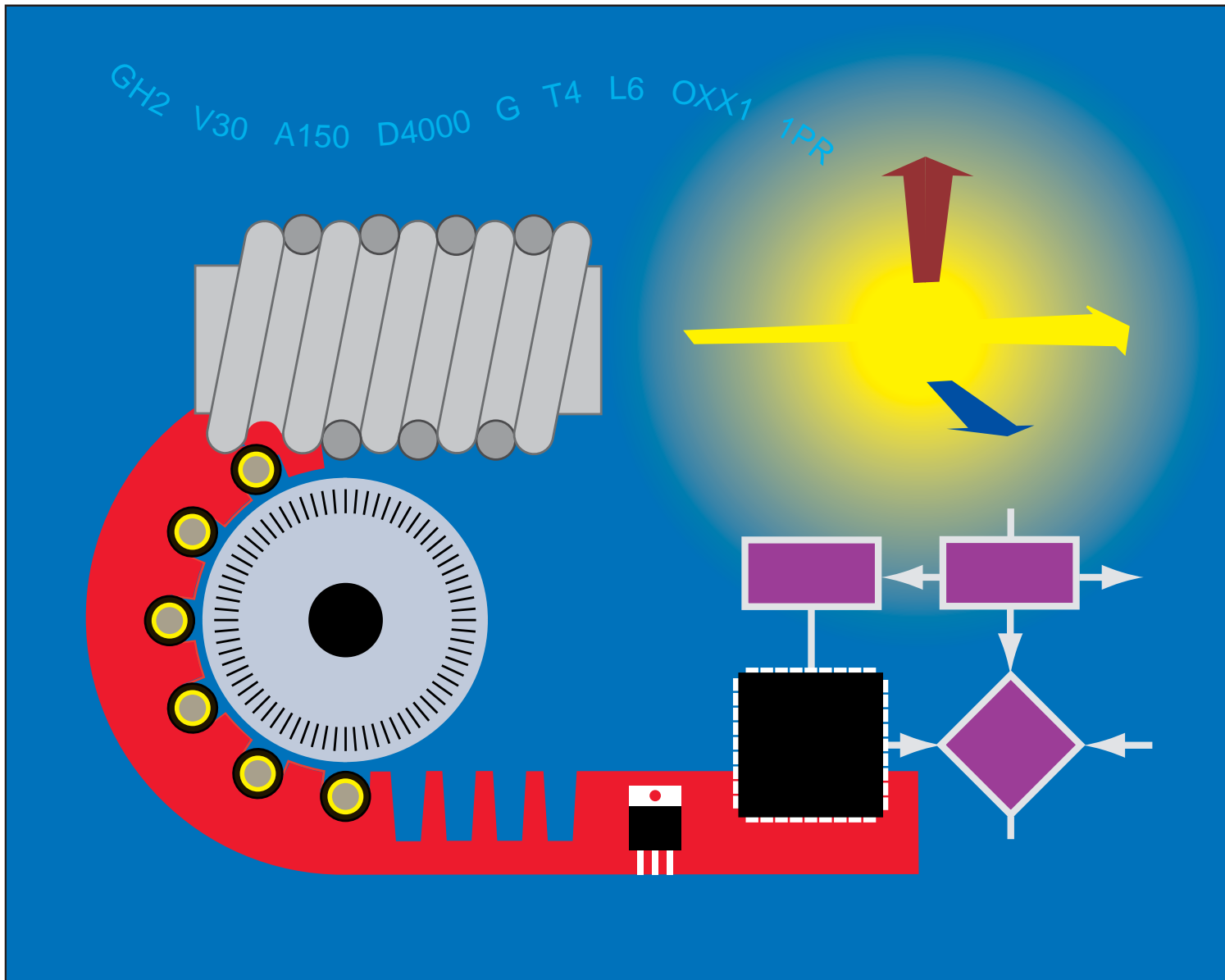


Apostila 1600.231.01 BR
Outubro 2003



Pense em Qualidade, Pense Parker

Para nós da Parker, a qualidade é alcançada quando suas expectativas são atendidas, tanto em relação aos produtos e suas características, quanto aos nossos serviços. Nosso maior objetivo é corresponder a todas as suas expectativas da melhor maneira possível.

A **Parker Hannifin** implementou substanciais modificações, em sua organização e métodos de trabalho, a fim de satisfazer os requisitos do **Sistema de Garantia de Qualidade ISO 9001 e QS-9000**. Este sistema controla a garantia de qualidade dos processos através de toda a organização, desde o projeto e planejamento, passando pelo suprimento e produção, até a distribuição e serviços.

A **Parker Hannifin** está certificada pelo **ABS - Quality Evaluations, Inc.** desde **13/05/94** na **ISO 9001** e em **26/11/99** teve seu certificado graduado para a norma automotiva **QS-9000 Terceira Edição**.

Este certificado é a certeza de que a Parker trabalha ativa e profissionalmente para garantir a qualidade de seus produtos e serviços e a sua garantia é segurança de estar adquirindo a melhor qualidade possível.

Isto significa que como cliente você pode ter total credibilidade em nós como seu fornecedor, sabendo que iremos atender plenamente as condições previamente negociadas.

Você pode ter certeza de que sendo certificada pela **ISO 9001 e QS-9000**, a Parker:

- Tem implementado um sistema de garantia de qualidade documentado, avaliado e aprovado. Assim você não precisa inspecionar e testar os produtos recebidos.
- Trabalha com fornecedores qualificados e aplica o princípio de perda zero em todo o processo de produção. Todos os componentes agregados ao produto satisfazem os mais altos requisitos de qualidade.
- Trabalha para garantir que o projeto do produto atenda a qualidade requerida. O trabalho realizado com garantia de qualidade oferece soluções racionais e reduz custos.
- Previne as não conformidades dos processos em todos os estágios, com qualidade permanente e conforme especificações.
- Tem como objetivo permanente o aumento da eficiência e a redução de custos sendo que, como cliente, isto lhe proporciona maior competitividade.
- Trabalha para atender suas expectativas da melhor forma possível, oferecendo sempre o produto adequado, com a melhor qualidade, preço justo e no prazo conveniente.



QS-9000/ISO 9001

Certificate Number: 30759

***Para você, cliente Parker,
isto não é nenhuma novidade.***

***Qualidade Parker, sem dúvida,
uma grande conquista!***

ADVERTÊNCIA

SELEÇÃO IMPRÓPRIA, FALHA OU USO IMPRÓPRIO DOS PRODUTOS E/OU SISTEMAS DESCRITOS NESTE CATÁLOGO OU NOS ITENS RELACIONADOS PODEM CAUSAR MORTE, DANOS PESSOAIS E/OU DANOS MATERIAIS.

Este documento e outras informações contidas neste catálogo da Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda. e seus Distribuidores Autorizados, fornecem opções de produtos e/ou sistemas para aplicações por usuários que tenham habilidade técnica. É importante que você analise os aspectos de sua aplicação, incluindo conseqüências de qualquer falha, e revise as informações que dizem respeito ao produto ou sistemas no catálogo geral da Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda. Devido à variedade de condições de operações e aplicações para estes produtos e sistemas, o usuário, através de sua própria análise e teste, é o único responsável para fazer a seleção final dos produtos e sistemas e também para assegurar que todo o desempenho, segurança da aplicação e cuidados sejam atingidos.

Os produtos aqui descritos com suas características, especificações, desempenhos e disponibilidade de preço são objetos de mudança pela Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda., a qualquer hora, sem prévia notificação.

Introdução

Introdução



A Divisão de Eletromecânica da Parker, com uma das mais completas gamas de produtos jamais oferecida ao mercado, oferece soluções para uma ampla variedade de aplicações no campo do controle do movimento. Além de drives, motores e controladores há diversos sistemas mecânicos de posicionamento e produtos de apoio. Esta gama completa de *hardware* é complementada por *software* sofisticado de interface e de operação que visa simplificar o processo de análise de sistemas, seleção da motorização, geração de programas, e *setup* do sistema.

Todos os produtos são fornecidos e têm o suporte de Centros de Tecnologia de Automação que oferecem aconselhamento técnico especializado, auxiliando desde o conceito inicial até a colocação em operação e apoio pós-vendas.

Este manual pretende servir de acompanhamento aos catálogos de produto da Eletromecânica da Parker e cobre de forma básica a tecnologia e as aplicações dos produtos, e contém também informações de referência para aplicações e engenharia.

Índice

Visão Geral da Tecnologia	3
---------------------------------	---

Parte I - Princípios Básicos

Motores de Passo	5
Motores CC com Escova	13
Motores sem Escova	15
Motores de Passo	19
Motores com Escova DC	24
Servomotores sem Escova Brushless	26
Dispositivos de Feedback	28
Comparação entre as Tecnologias de Motor de Passo e Servomotor	33

Parte II - Aplicações

Cálculos de Torque e Inércia	35
Dimensionamento de Transformadores para Sistemas de Posicionamento	39
Frenagem Dinâmica de Servomotores	40
Introdução à Programação de Código X	42
Resolução de Problemas em Comunicação RS232	45
Princípios de Instalação EMC	46
Motores, Instalação Elétrica	46
Motores, Instalação Mecânica	47
Paradas de Emergência	52
Aterramento de Segurança	53
Sensores de Limite em Aplicações de Segurança Crítica	54

Visão Geral da Tecnologia

O controle de movimento, em seu sentido mais amplo, pode se relacionar a qualquer coisa, de um robô de solda ao sistema hidráulico de um guindaste móvel. No campo do Controle Eletrônico de Movimento, nos ocupamos principalmente com sistemas que se enquadram em uma gama de potência limitada, tipicamente até cerca de 10KW, e que requerem precisão em um ou mais aspectos. Isto pode envolver o controle preciso da distância ou da velocidade, muitas vezes dos dois, e às vezes de outros parâmetros tais como torque ou taxa de aceleração. No caso dos dois exemplos acima, o robô de solda requer o controle preciso tanto da velocidade quanto da distância; o sistema de guindaste hidráulico emprega o drive como sistema de feedback, portanto sua precisão varia com a habilidade do operador. Neste contexto, este não seria considerado um sistema de controle de movimento.

Nosso sistema padrão de controle eletrônico de movimento consiste de três elementos básicos:

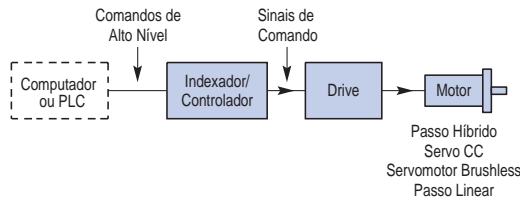


Fig. 1.1 Elementos de um sistema de controle de movimento.

O Motor

Este pode ser um motor de passo (rotativo ou linear), um motor CC com escova ou um servomotor brushless. O motor deve ser dotado de algum tipo de dispositivo para feedback, a não ser que seja um motor de passo.

A Fig. 1.2 mostra um sistema completo, com feedback para controle da velocidade e posição do motor. Este sistema é conhecido como servossistema de malha fechada de controle de velocidade.

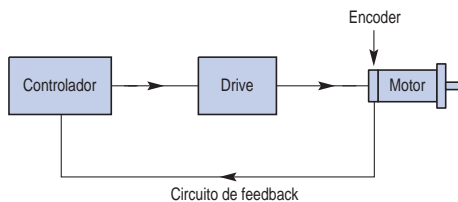


Fig. 1.2 Servossistema de malha fechada de controle de velocidade.

O Drive

Trata-se de um amplificador eletrônico de potência que fornece a energia para a operação do motor em resposta a sinais de controle de baixa tensão. Em geral, o drive é projetado especificamente para operar com um tipo particular de motor - não se pode empregar um drive para motor de passo na operação de um motor CC com escova, por exemplo.

O sistema de Controle

A tarefa desempenhada de fato pelo motor é determinada pelo indexador/controlador; ele envia parâmetros como velocidade, distância, direção e taxa de aceleração. A função de controle pode estar distribuída entre um controlador hospedeiro, como um computador industrial, e uma unidade escrava que aceita comandos de alto nível. Em um sistema multi-eixos, um controlador poderá operar em conjunto com diversos drives e motores.

Estaremos vendo cada um destes elementos do sistema, bem como sua relação entre si.

Seleção da Tecnologia do Motor

A seção "Comparativo de Tecnologia" deste manual estabelece, em linhas gerais, os méritos relativos a cada tecnologia de motor e discute o tipo de aplicação adequado a cada uma. A tabela na página a seguir permite uma visão geral das considerações de escolha e pode ser utilizada como guia geral para se chegar ao tipo mais adequado de motor. Lembre-se de que muitas aplicações podem ser igualmente atendidas por mais de uma tecnologia de motor, e poderão haver outras considerações que influenciem a escolha, como compatibilidade com equipamentos existentes ou preferências do cliente. No entanto, em termos gerais, o sistema de passo oferece a solução de mais baixo custo, enquanto o servomotor brushless oferece o melhor desempenho em geral.

Tabela de Seleção da Tecnologia

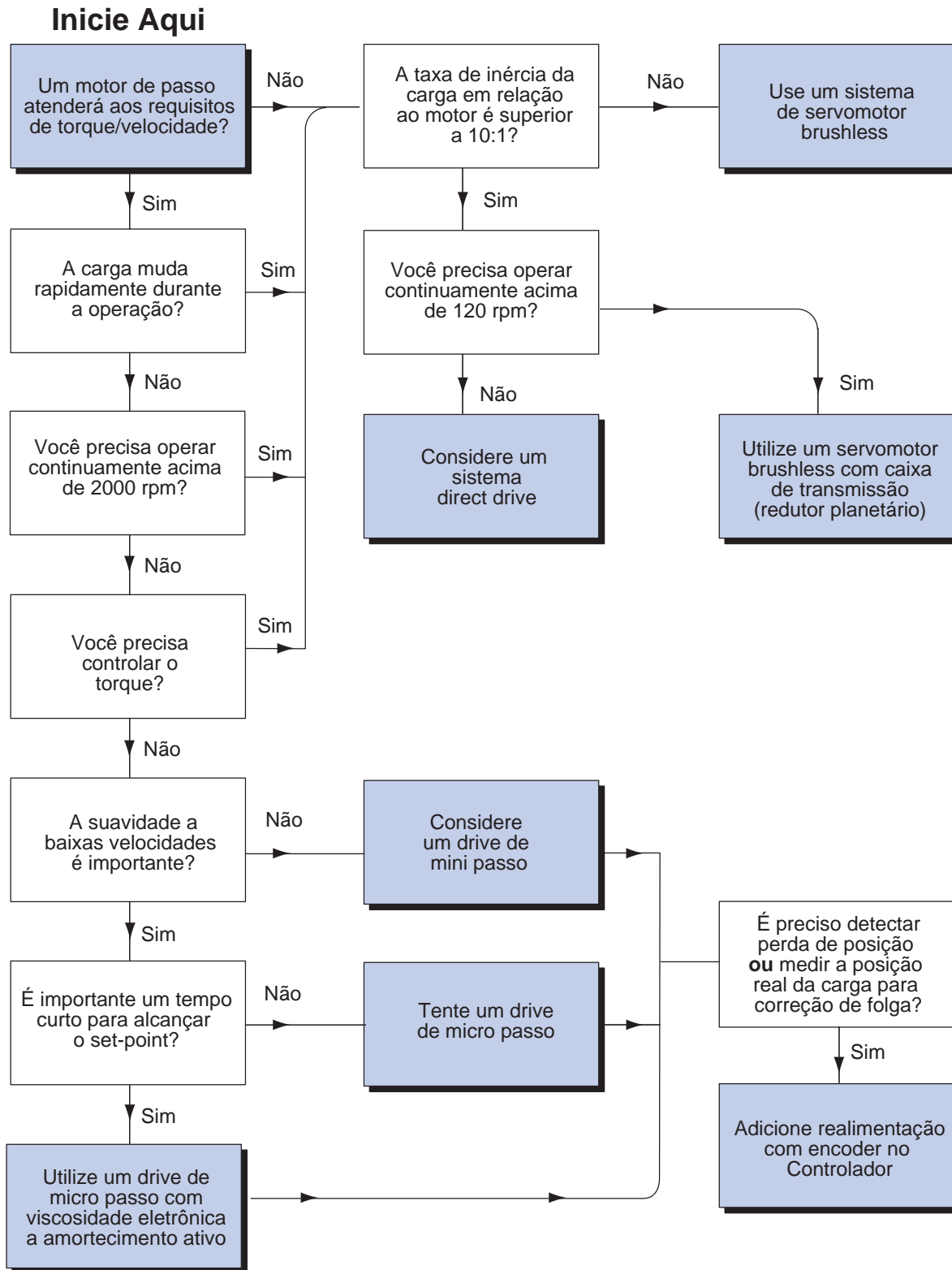


Fig. 1.3 Tabela para seleção de tecnologia.

Motores de Passo

Há três tipos principais de motores de passo:

- n Motores de magneto permanente (P.M.)
- n Motores de relutância variável (V.R.)
- n Motores híbridos

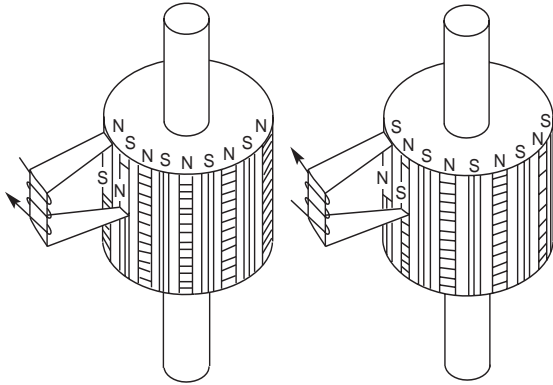


Fig. 2.1 Motor tipo "canstack", ou de magneto permanente.

Motores de Magneto Permanente (P.M.)

O motor do tipo "canstack" mostrado nas Figuras 2.1 e 2.2 é talvez o tipo de motor mais amplamente utilizado para aplicações não industriais. Ele é essencialmente um dispositivo de baixo custo, baixo torque e baixa velocidade ideal para aplicações em campos como periféricos de informática. A construção do motor resulta em ângulos de passo relativamente grandes, porém a simplicidade geral permite a produção em larga escala a custo muito baixo. O motor de vão axial ou disco é uma variação do projeto de magneto permanente que apresenta um melhor desempenho, em grande medida devido à inércia muito baixa do motor. No entanto, isto restringe as aplicações do motor às que envolvem baixa inércia caso seja exigido todo o desempenho do motor.

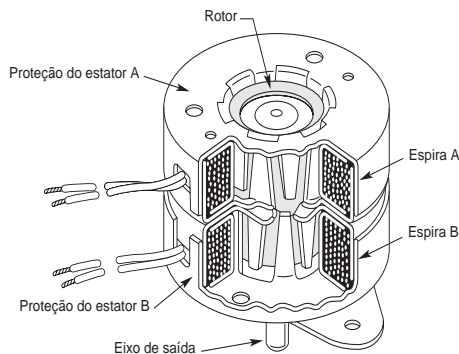


Diagrama cortesia da Airpax Corp., EUA

Fig. 2.2 Vista em corte de motor com magneto permanente.

Motores de Relutância Variável (V.R.)

Um motor V.R. não possui magneto permanente, portanto o rotor gira livremente sem torque de "retenção". A saída de torque para uma dada dimensão da estrutura é restrita, embora a taxa de torque por inércia seja boa, sendo que este tipo de motor é freqüentemente empregado em pequenas dimensões para aplicações como mesas de microposicionamento. Motores V.R. são pouco utilizados em aplicações industriais. Não possuindo magneto permanente, eles não são sensíveis à polaridade da corrente e necessitam de um arranjo de drive diferente dos outros tipos de motor.

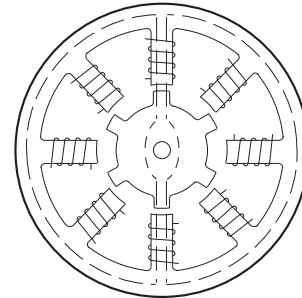


Fig. 2.3 Motor de relutância variável.

Motores Híbridos

O motor híbrido mostrado na Fig. 2.4 é, de longe, o motor de passo mais utilizado em aplicações industriais. O nome é proveniente do fato de que ele combina os princípios operacionais dos outros dois tipos de motores (PM e VR). A maioria dos motores híbridos é de 2 fases, embora sejam utilizadas versões de 3 e 5 fases. Um outro desenvolvimento é o motor "híbrido aperfeiçoado" ("enhanced hybrid"), que emprega magnetos para focagem do fluxo que propiciam um aumento significativo no desempenho, muito embora a um custo maior.

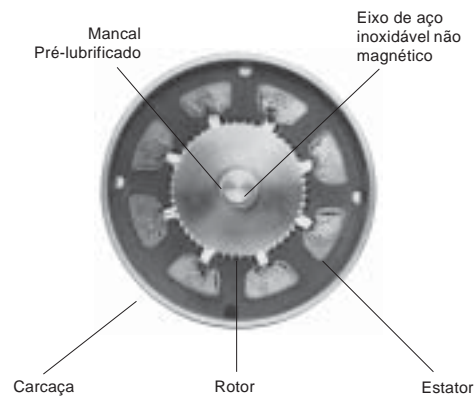


Fig. 2.4 Motor de passo híbrido.

A operação do motor híbrido pode ser compreendida mais facilmente analisando-se um modelo muito simples que produzirá 12 passos por revolução (Fig. 2.5).

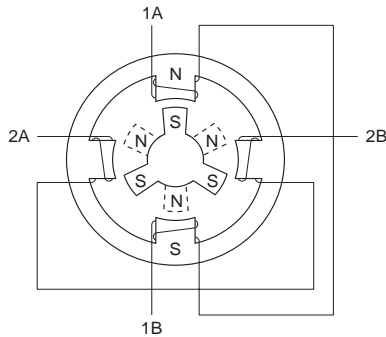


Fig. 2.5 Motor híbrido simples de 12 passos/revolução.

O rotor desta máquina consiste de duas peças de pólo com três dentes cada uma. Entre estas peças de pólo há um ímã permanente magnetizado em paralelo com o eixo do rotor, tornando uma ponta um pólo norte e a outra um pólo sul. Os dentes são defasados nas extremidades norte e sul conforme mostrado no diagrama. O estator consiste de uma carcaça com quatro dentes que tem toda a extensão do rotor. As bobinas são enroladas sobre os dentes do estator e estão conectadas aos pares. Não havendo corrente fluindo em nenhuma espira do motor, o rotor tenderá a assumir uma das posições mostradas na Fig. 2.6. Isto se deve ao fato do ímã permanente no rotor estar tentando minimizar a relutância (ou "resistência magnética") do percurso do fluxo de uma extremidade à outra. Isto ocorrerá quando um par de dentes do rotor nos pólos norte e sul estiverem alinhados com dois pólos do estator. O torque que tende a manter o motor em uma destas posições é em geral pequeno, e é chamado de "torque detentor". O motor mostrado terá 12 posições possíveis de detenção.

Caso, agora, a corrente atravessasse um par das espiras do estator, como mostrado na Fig. 2.6(a), os pólos norte e sul, resultantes no estator, atrairão os dentes de polaridade oposta em cada extremidade do rotor. Há agora apenas três posições estáveis para o rotor, o mesmo número de dentes do rotor. O torque requerido para defletir o motor para fora de sua posição de estabilidade é agora muito maior, e é chamado de "torque de retenção".

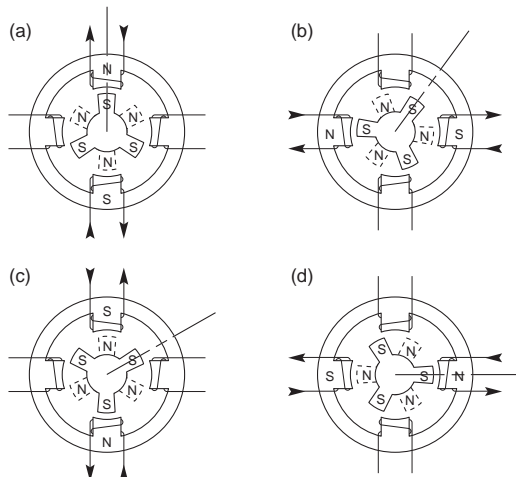


Fig. 2.6 Passo completo, uma fase ligada.

Mudando-se o fluxo da corrente do primeiro para o segundo conjunto de espiras do estator (b), o campo do estator rotaciona 90° e atrai um novo par de pólos do rotor. Como resultado o rotor gira 30°, correspondendo a um passo completo. A reversão do primeiro conjunto de espiras do estator, porém com sua energização na direção oposta rotacionamos o campo do estator mais 90° e o rotor efetua mais um passo de 30° (c). Finalmente, o segundo conjunto de espiras é energizado na direção oposta (d) para propiciar uma terceira posição de passo. Podemos agora retornar à primeira condição (a), e, após estes quatro passos, o rotor terá se movido pelo equivalente a uma largura de dente ("tooth pitch"). Este motor simples executa portanto 12 passos por revolução. Obviamente, caso as bobinas sejam energizadas na seqüência inversa, o motor girará no sentido oposto.

Caso duas bobinas sejam energizadas simultaneamente (Fig. 2.7), o rotor assume uma posição intermediária, pois fica igualmente atraído por dois pólos do estator. Esta condição produz um torque maior, pois todos os pólos do estator estão influenciando o motor. Pode-se fazer o motor dar um passo completo simplesmente revertendo-se a corrente em um conjunto de espiras; isto provoca uma rotação de 90° dos campos do estator, como no caso anterior. Na verdade, esta seria a forma normal de acionamento do motor no modo de passo completo, sempre mantendo as duas espiras energizadas e revertendo-se a corrente em cada espira, alternadamente.

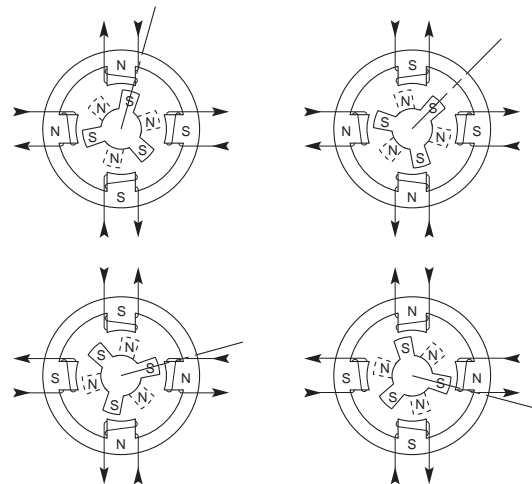


Fig. 2.7 Passo completo, duas fases ligadas.

Energizando-se alternadamente uma e depois duas espiras (Fig. 2.8), o rotor se movimentará por apenas 15° em cada estágio, e o número de passos por revolução será dobrado. Isto é denominado "meio passo" (half-stepping), e a maioria das aplicações industriais emprega este modo de passo. Embora haja às vezes uma pequena perda de torque, este modo resulta em uma suavidade muito melhor a baixas velocidades, e menos "overshoot" e oscilação (ringing) ao final de cada passo.

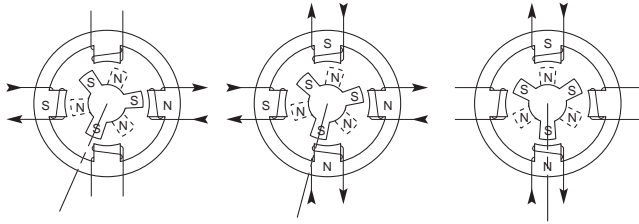


Fig. 2.8 Meio passo.

Padrões de Corrente nas Espiras do Motor

Quando o motor é acionado em seu modo de passo completo, energizando-se duas espiras, ou “fases”, por vez (veja a Fig.2.9), o torque disponível em cada passo será o mesmo (estando sujeito a variações muito pequenas nas características do motor e do drive). No modo de meio passo, estamos alternadamente energizando duas fases e então apenas uma, como mostrado na Fig. 2.10. Supondo que o drive forneça a mesma corrente para as espiras nos dois casos, isto fará com que seja produzido um torque maior quando houverem duas espiras energizadas. Em outras palavras, os passos serão alternadamente fortes e fracos. Isto não significa uma limitação importante no desempenho do motor - o torque disponível é obviamente limitado pelo passo mais fraco, porém haverá uma melhoria significativa na suavidade do movimento a baixas velocidades no modo de passo completo.

Obviamente, gostaríamos de produzir um torque aproximadamente igual em todos os passos, e este torque deveria estar ao nível do passo mais forte. Podemos obter isso empregando um nível mais alto de corrente quando houver apenas uma espira energizada. Isto não provoca dissipação excessiva do motor pois a classificação de corrente do fabricante supõe que duas fases estejam sendo energizadas (a classificação de corrente se baseia na temperatura permitida na carcaça). Com apenas uma fase energizada, se dissipará o mesmo total caso a corrente seja elevada em 40%. Empregando esta corrente mais alta no estado de apenas uma fase ligada produz um torque aproximadamente igual nos passos alternados (veja a Fig. 2.11).

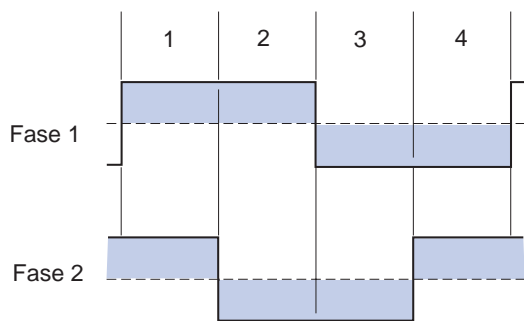


Fig. 2.9 Corrente de passo completo, duas fases ligadas.

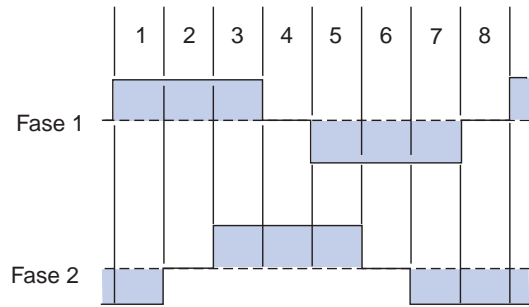


Fig. 2.9 Corrente de passo completo, duas fases ligadas.

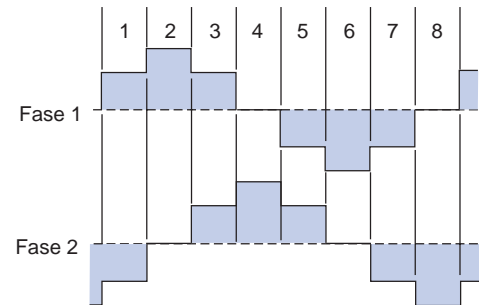


Fig. 2.9 Corrente de passo completo, duas fases ligadas com correção de corrente.

Micro-passo

Verificamos que energizar as duas fases com correntes iguais produz uma posição de passo intermediária a meio caminho entre as posições em que há uma fase única ligada. Caso as correntes nas duas fases sejam desiguais, a posição do rotor será deslocada em direção ao pólo mais forte. Este efeito é empregado no drive de micro-passo, que subdivide o passo básico do motor estabelecendo uma escala proporcional da corrente nas duas espiras. Desta forma, o tamanho do passo é diminuído e a suavidade do movimento em baixas velocidades é sensivelmente melhorada. Os drives de micro-passo de alta resolução dividem o passo do motor em até 500 micro-passos, propiciando 100.000 passos por revolução. Nesta situação, o padrão de corrente nas espiras é muito semelhante a ondas senoidais com um deslocamento de fase de 90° entre elas (veja a Fig. 2.12). O motor está agora sendo acionado de forma muito semelhante ao que seria um motor síncrono CA convencional. Na verdade, o motor de passo pode ser acionado desta forma a partir de uma fonte com onda seno de 50 Hz com a inclusão de um capacitor em série com uma das fases. Ele girará a 60 rpm.

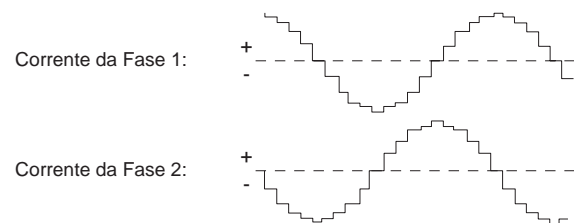


Fig. 2.12 Correntes de fase no modo de micro-passo.

O Motor Híbrido Padrão de 200 Passos

O motor de passo padrão opera da mesma forma que nosso modelo simples, porém possui um número maior de dentes no rotor e no estator, o que propicia um tamanho menor para o passo básico. O rotor é construído em duas seções como anteriormente, porém possui 50 dentes em cada seção. O deslocamento de meio dente entre as duas seções foi mantido. O estator possui 8 pólos, cada um com 5 dentes, perfazendo um total de 40 dentes (veja a Fig. 2.13).

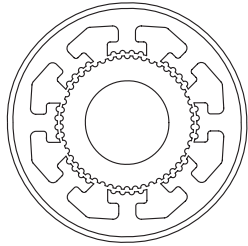


Fig. 2.13 Motor híbrido de 200 passos.

Se imaginarmos que um dente está colocado em cada um dos intervalos entre os pólos do estator, haveria um total de 48 dentes, dois a menos do que o número de dentes do rotor. Portanto, se os dentes do rotor e do estator estiverem alinhados na posição vertical superior (correspondente à posição de 12 horas de um ponteiro de relógio), eles também estarão alinhados na posição vertical das 6 horas. Nas posições correspondentes a 3 e 9 horas os dentes estarão desalinhados. No entanto, devido ao deslocamento entre os conjuntos de dentes do rotor, o alinhamento ocorrerá nas posições correspondentes a 3 e 9 horas na outra extremidade do rotor. As espiras estão arranjadas em conjuntos de quatro, e enroladas de forma tal que os pólos diametricamente opostos são equivalentes. Portanto, em referência à Fig. 2.13, os pólos norte nas posições de 12 e 6 horas atraem os dentes pólo sul na parte frontal do rotor; e os pólos sul nas posições de 3 e 9 horas atraem os dentes pólos norte na parte traseira. Ao se mudar a corrente para o segundo conjunto de bobinas, o padrão do campo magnético do estator rotaciona 45° . No entanto, para alinhar este novo campo, o rotor precisa girar apenas $1,8^\circ$. Isto equivale a um quarto de giro de dente no rotor, o que resulta em 200 passos por revolução.

Observe que há o mesmo número de posições detentoras quanto passos por revolução, normalmente 200. As posições detentoras correspondem aos dentes do rotor estando totalmente alinhados com os dentes do estator. Ao se aplicar energia a um drive de passo, é usual que ele se energize no estado de "fase zero", onde há corrente em ambos os conjuntos de espiras. A posição resultante do rotor não corresponde a uma posição detentora natural, portanto um motor sem carga se moverá, pelo menos, meio passo no momento da energização. É claro que, se o sistema foi desligado num estado diferente do de fase zero, ou se o motor for movimentado enquanto desligado, poderá ocorrer um movimento maior no momento da energização. Outro ponto a se lembrar é o de que, para um dado padrão de corrente nas espiras, o número de posições estáveis é igual ao de dentes do motor (50 para um motor de 200 passos).

Caso um motor seja dessincronizado, o erro posicional resultante sempre será equivalente a um número inteiro de dentes do rotor ou um múltiplo de $7,2^\circ$. O motor, propriamente dito, não pode "perder" passos individuais - erros de posição, de um ou dois passos, devem ser atribuídos a ruído, pulsos de passo falsos ou perdidos, ou falha do controlador.

Espiras Bifilares

A maior parte dos motores é descrita como sendo de "espiras bifilares", o que significa que há dois conjuntos idênticos de espiras em cada pólo. Dois filamentos são enrolados juntos como se fossem uma única bobina. Isto produz dois enrolamentos que são quase idênticos elétrica quanto magneticamente - se ao invés disso uma bobina fosse enrolada sobre a outra, mesmo tendo o mesmo número de voltas, as características magnéticas seriam diferentes. Em termos simples, enquanto quase a totalidade do fluxo da bobina interna fluiria pelo núcleo ferroso, parte do fluxo da bobina externa fluiria pelo enrolamento da bobina interna. A origem da espira bifilar data do drive unipolar (veja a seção de Tecnologia de Drives). Ao invés de ser preciso reverter a corrente em uma espira, o campo poderá ser revertido transferindo-se a corrente para uma segunda bobina enrolada na direção oposta. (Embora as duas bobinas sejam enroladas da mesma forma, trocando-se suas pontas produz-se o mesmo efeito.) Portanto, com um motor de espiras bifilares, pode-se manter um projeto simples para o drive. No entanto, este requisito já praticamente desapareceu atualmente, com a ampla disponibilidade do drive bipolar, de maior eficiência. No entanto, os dois conjuntos de espiras realmente proporcionam uma flexibilidade maior, e veremos que diferentes métodos de conexão podem ser empregados para propiciar características alternativas para torque e velocidade.

Caso todas as bobinas em um motor bifilar sejam retiradas separadamente, teremos um total de 8 terminais (veja a Fig. 2.14). Esta é a configuração mais comum, pois propicia a maior flexibilidade. No entanto, há ainda alguns poucos motores que são produzidos com apenas 6 terminais, com um terminal atuando como conexão comum a cada espira num par bifilar. Este arranjo limita a flexibilidade, pois as espiras não podem ser conectadas em paralelo. Alguns motores são construídos com apenas 4 terminais, porém estes não têm espiras bifilares e não podem ser utilizados com um drive unipolar. Obviamente não há um modo alternativo de conexão para um motor de 4 terminais, porém para muitas aplicações isto não constitui desvantagem, e ainda se evita o problema do isolamento de terminais não utilizados.

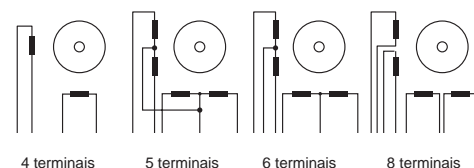


Fig. 2.14 Configurações de terminais de motores.

Ocasionalmente pode-se encontrar um motor de 5 terminais. Estes não são recomendados, pois não podem ser utilizados com Drives bipolares convencionais, pois requerem isolamento adicional entre as fases.

Observando-se um corte longitudinal do motor (Fig. 2.15), podemos ver o magneto permanente no rotor e o caminho do fluxo através das peças que constituem os pólos e o estator. O fluxo alternado produzido pelas espiras do estator flui em um plano perpendicular à página, e portanto os dois caminhos do fluxo estão em ângulo reto entre si e interagem apenas nas peças que constituem os pólos do rotor. Esta é uma característica importante do motor híbrido - isto significa que o magneto permanente no rotor não “enxerga” o campo alternado das espiras, e portanto não produz um efeito desmagnetizante. Diferente do servomotor CC, é quase impossível de se desmagnetizar um motor de passo aplicando-se corrente excessiva. No entanto, um excesso de corrente danificará o motor de outras maneiras. O calor excessivo poderá derreter o isolamento ou o suporte das espiras, e poderá amolecer o material colante que une as laminações do rotor. Caso isto ocorra e as laminações sejam deslocadas, os sintomas podem ser os mesmos que os de uma desmagnetização do rotor.

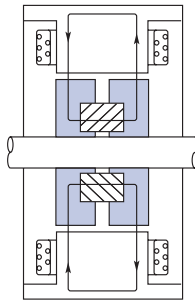


Fig. 2.15 Corte longitudinal de um motor com simples magneto.

A Fig. 2.15 mostra também que o fluxo do rotor precisa cruzar apenas um pequeno vão de ar (tipicamente menos de 0,1 mm) quando o rotor está em posição. Magnetizando-se o rotor após a montagem, obtém-se uma elevada densidade de fluxo, que será em grande parte destruída caso o rotor seja retirado. Portanto, os motores de passo jamais devem ser desmontados apenas para satisfação da curiosidade, pois neste caso a vida útil do motor chegará certamente ao fim. Como o eixo do motor passa através do centro do magneto permanente, deve ser utilizado um material não magnético para se evitar um curto-circuito. Eixos de motores de passo são portanto feitos de aço inoxidável, e devem ser manuseados com cuidado. Motores de pequenos diâmetros são particularmente vulneráveis, e, caso sofram uma queda sobre a ponta do eixo, terão inevitavelmente o eixo entortado.

Motores de Múltiplo Magnetos

Para produzirmos um motor com uma saída de torque mais elevada, devemos aumentar a força tanto do magneto permanente quanto do campo produzido pelo estator. Pode-se obter um magneto mais forte para o rotor aumentando-se o seu diâmetro, o que nos propicia uma área seccional maior. No entanto, aumentar o diâmetro provocará uma degradação no desempenho do motor em termos de aceleração, pois há uma diminuição da relação torque-inércia (a grosso modo, o torque aumenta com o quadrado do diâmetro, mas a inércia aumenta à quarta potência). No entanto, podemos aumentar a saída de torque sem degradação do desempenho em termos de aceleração adicionando mais

seções, de magneto ao mesmo eixo (Fig. 2.16). Uma segunda seção permitirá a produção do dobro de torque, e duplicará a inércia, portanto mantendo a mesma relação de torque-inércia. Daí, para cada tamanho do flange os motores de passo são normalmente produzidos em versões com seções de magneto simples, duplo e triplo.

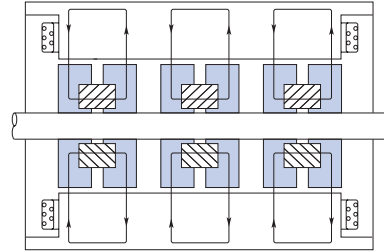


Fig. 2.16 Motor de passo híbrido com seção tripla.

Como regra genérica, a relação de torque-inércia é reduzida numa relação quadrática com cada aumento do diâmetro do flange. Portanto, girando livremente, um motor tamanho 34 pode acelerar duas vezes mais rápido do que um motor tamanho 42, independente do número de seções.

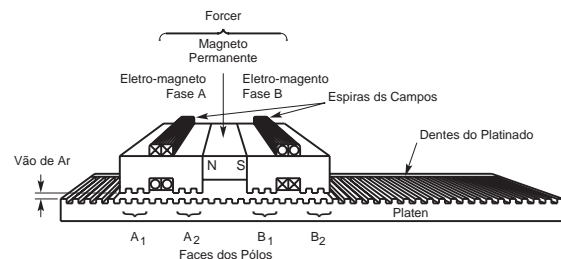


Fig. 2.17 Motor de passo linear.

Motores de Passo Lineares

O motor de passo linear é essencialmente um motor de passo que foi “desenrolado” para operar em linha reta. O componente móvel é denominado Forcer, e movimenta-se ao longo de um elemento fixo, ou base. Para fins operacionais, a base equivale ao rotor em um motor de passo normal, embora seja um dispositivo inteiramente passivo e não seja dotado de magneto permanente. O magneto é incorporado ao Forcer Móvel, juntamente com as bobinas (veja a Fig. 2.17). O Forcer é equipado com peças de 4 pólos, cada uma possuindo 3 dentes.

Os dentes são escalonados no sentido do comprimento em relação aos dentes da base, assim, alternando-se a corrente nas bobinas fará com que o conjunto de dentes seguintes se alinhem. Um ciclo completo de alternância (4 passos completos) é equivalente a um deslocamento de um dente da base. Da mesma forma que o motor de passo rotativo, o motor linear pode ser acionado por um drive de micro-passo. Neste caso, uma resolução linear típica seria cerca de 500 passos por mm, ou 2 microns por passo. O motor linear é mais adequado a aplicações que requerem o deslocamento de uma pequena massa em alta velocidade. Num sistema acionado por rosca, a inércia predominante em geral é representada pela rosca em si e não pela carga

a ser movimentada. Portanto, a maior parte do torque do motor é utilizada para acelerar as engrenagens, e este problema se torna mais grave à medida em que aumenta a distância de movimentação requerida. Empregando-se um motor linear, toda a força desenvolvida pode ser aplicada diretamente à carga, e o desempenho obtido independe do comprimento do movimento. Um sistema de rosca pode atingir maior força linear e mais robustez, porém a velocidade máxima de um motor linear equivalente poderá ser até dez vezes superior. Por exemplo, uma velocidade máxima típica para um motor linear é 2,5 m/seg. Para que isto possa ser atingido com uma rosca de 10 mm seria necessária uma velocidade rotativa de 15.000 rpm. Além disso, o motor linear pode movimentar-se a uma distância de até 2,4 metros empregando uma base padrão.

Como Funciona o Motor Linear

O Forcer consiste de dois eletromagnetos (A e B) e de um magneto permanente forte. As faces dos dois pólos de cada eletromagneto são dentadas, sendo que os quatro conjuntos de dentes são espaçados em quadratura, resultando que apenas um conjunto pode ser alinhado aos dentes da base por vez.

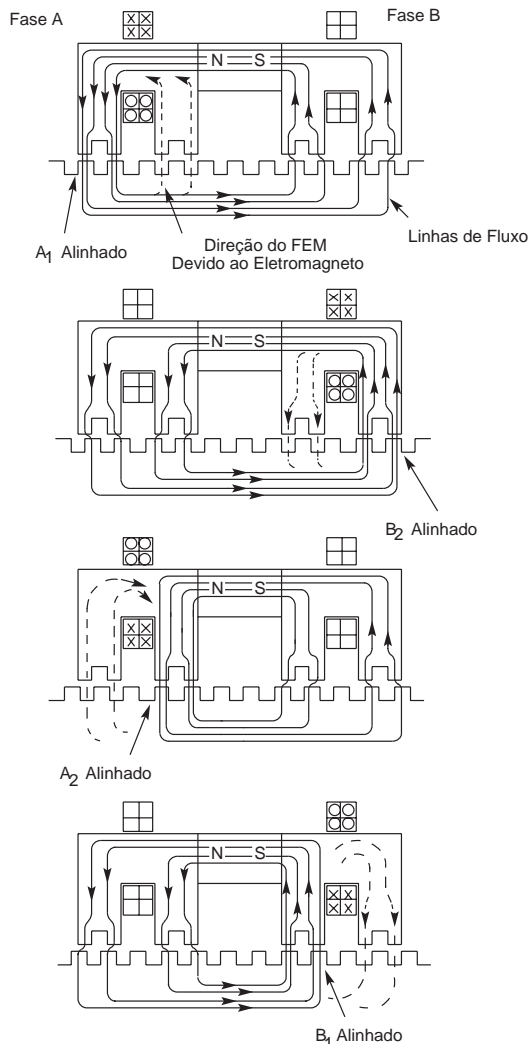


Fig. 2.18 Os quatro estados primários do Forcer.

O fluxo magnético que passa entre o Forcer e a base resulta em uma grande força de atração. A força de atração pode ser até 10 vezes superior à força de retenção de pico do motor, requerendo um conjunto de mancais que mantenha uma distância precisa entre as faces dos pólos e os dentes da base. São empregados mancais de rolamentos de ar para manter as distâncias requeridas. Ao se estabelecer a corrente em uma das espiras, o campo magnético resultante tende a reforçar o fluxo do magneto permanente em um pólo e a cancelá-lo no outro. Revertendo-se a corrente, o reforço e o cancelamento são intercambiados. Revertendo-se a corrente provoca uma divisão do fluxo eletromagnético em partes iguais entre as faces dos pólos. Aplicando-se de forma seletiva a corrente às fases A e B, é possível se concentrar o fluxo em qualquer uma das quatro faces dos pólos do Forcer. A face que estiver recebendo a maior concentração de fluxo tentará alinhar seus dentes com a base. A Fig. 2.18 mostra os quatro estados primários, ou posições de passo completo, do Forcer. Os quatro passos resultam no movimento de uma largura de dente para a direita. Revertendo-se a seqüência faz com que o Forcer movimente-se para a esquerda.

Características do Motor de Passo

Poderíamos discutir diversas características de desempenho dos motores de passo, porém, para manter a simplicidade, nos restringiremos àquelas com maior significado prático. A Fig. 2.19 ilustra a curva de torque estático do motor. Isto se refere a um motor que está energizado porém estacionário, e mostra como o torque varia com a posição do rotor ao se defletir do ponto de estabilidade. Estamos supondo que não há fricção nem outras cargas estáticas aplicadas ao motor. Com a movimentação do rotor para longe da posição estável, o torque aumenta de forma estável até atingir um ponto máximo após um passo completo (1,8°). Este valor máximo é denominado torque retentor, e representa a maior carga estática que pode ser aplicada ao eixo sem causar rotação contínua. No entanto, isto não nos informa o torque máximo de operação do motor - este é sempre menor do que o torque retentor (tipicamente em torno de 70%).

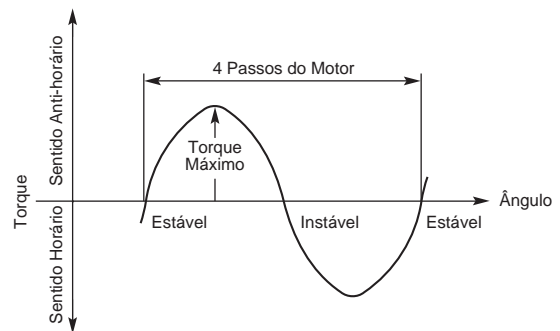


Fig. 2.19 Curva característica de torque em relação ao deslocamento.

Com a deflexão do eixo para além de um passo completo, o torque cairá até estar novamente em zero após dois passos completos. No entanto, este ponto de zero é instável, e o torque se reverte imediatamente para além dele. O ponto estável seguinte é encontrado quatro passos completos adiante do primeiro, equivalente a uma largura de dente no rotor, ou a 1/50 de revolução.

Embora esta característica de torque estático não tenha muita utilidade por si só, ela ajuda a explicar alguns dos efeitos que observamos. Por exemplo, ela indica a robustez estática do sistema, em outras palavras, como a posição do eixo muda quando é aplicada uma carga de torque a um motor estacionário. Claramente, o eixo deverá se curvar até que o torque gerado se equipare à carga aplicada, portanto, se a carga varia, assim também o fará a posição estática. Portanto, erros de posição não cumulativos resultarão de efeitos como fricção ou cargas de torque em desequilíbrio.

É importante lembrar que a robustez estática não aumenta com o emprego de um drive de micro-passo - uma dada carga sobre o eixo produzirá a mesma deflexão angular. Portanto, embora o micro-passo aumente a resolução e a suavidade do movimento, ele não, necessariamente, aumentará a precisão de posicionamento. Sob condições dinâmicas com o motor funcionando, o rotor deverá estar atrasado em relação ao campo do estator caso esteja produzindo torque. De forma similar, haverá uma situação de adiantamento quando o torque se reverte durante a desaceleração. Observe que o atraso e o adiantamento se relacionam apenas à posição, e não à velocidade. Tomando-se a curva de torque estático (Fig. 2.19), claramente este atraso ou adiantamento não poderão exceder dois passos completos ($3,6^\circ$) se for preciso que o motor mantenha o sincronismo. Este limite do erro de posicionamento pode tornar o motor de passo uma opção atraente em sistemas onde a precisão do posicionamento dinâmico seja importante.

Quando o motor de passo executa um único passo, a natureza da resposta é oscilante, como mostrado na Fig. 2.20. O sistema pode ser comparado a uma massa que esteja sendo localizada por uma "mola magnética", e portanto o comportamento lembra a característica clássica da massa aplicada a uma mola. Observando-se de forma simplificada, a curva de torque estático indica que, durante o passo, o torque é positivo durante o movimento totalmente à frente e portanto está acelerando o rotor até que seja atingido um novo ponto estável. Neste momento, o impulso carrega o rotor para além da posição estável, e o torque agora é revertido, desacelerando o rotor e o fazendo retornar na direção oposta. A amplitude, frequência e taxa de decaimento desta oscilação dependerão da fricção e da inércia no sistema, bem como das características elétricas do motor e do drive. O "overshoot" inicial também depende da amplitude do passo, portanto o meio passo produz menos "overshoot" do que o passo completo, e o micro-passo será ainda melhor.

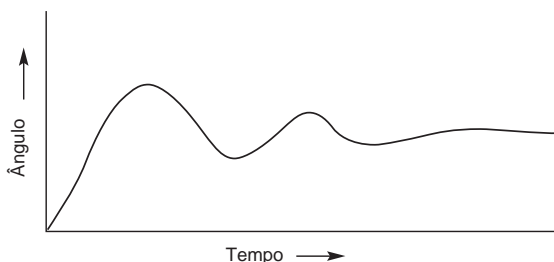


Fig. 2.20 Resposta de um único passo.

A tentativa de se aplicar ao motor um passo que corresponda à sua frequência natural de oscilação pode provocar uma resposta exagerada conhecida como ressonância. Em casos graves, isto pode levar ao dessincronismo, ou "perda de passo" (stalling), do motor. Este problema é incomum com drives de meio-passo, e ainda menos comum com um micro-passo. A velocidade natural de ressonância está tipicamente na faixa de 100 a 200 passos completos/segundo (0,5 a 1 rev/seg). Em condições dinâmicas incluindo todas as variáveis, o desempenho do motor é descrito por uma curva de torque e velocidade como a mostrada na Fig. 2.21. Há duas faixas de operação, a faixa de início/parada (ou "pull in") e a faixa de rendimento ("slew" ou "pull out").

Na faixa de início/parada, o motor pode ser acionado ou parado com a aplicação de pulsos de passo a uma frequência constante no drive. Em velocidades dentro desta faixa, o motor possui torque suficiente para acelerar sua própria inércia até uma velocidade de sincronismo sem que a defasagem de posicionamento exceda $3,6^\circ$. É óbvio que, se uma carga inercial for adicionada, esta faixa de velocidade é reduzida. Portanto, a faixa de início/parada depende da inércia da carga. O limite superior da faixa de início/parada está localizado tipicamente entre 200 e 500 passos completos/segundo (1 a 2,5 rev/seg.).

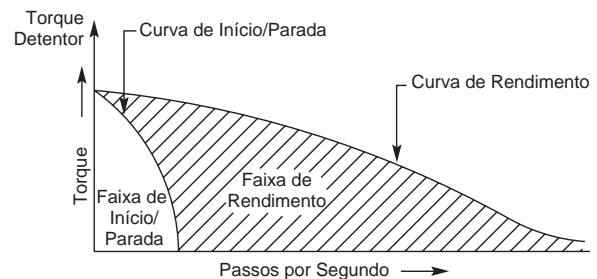


Fig. 2.21 Curvas de início/parada e rendimento.

Para operar o motor em velocidades mais elevadas, é necessário iniciar numa velocidade dentro da faixa de início/parada e então acelerar o motor para a região de rendimento. De forma semelhante, ao parar o motor, ele deve ser desacelerado de volta à faixa de início/parada antes de se desativar os pulsos de passo. O uso da aceleração e desaceleração, ou "ramping", permite que velocidades muito mais elevadas possam ser obtidas, e em aplicações industriais a faixa útil de velocidade se estende até cerca de 3.000 rpm (10.000 passos completos/seg.).

Observe que a operação contínua em altas velocidades não é normalmente recomendada para um motor de passo devido ao aquecimento do motor, porém se pode utilizar altas velocidades com sucesso em aplicações de posicionamento. O torque disponível na faixa de rendimento não depende da inércia da carga. A curva de torque e velocidade é normalmente medida colocando-se o motor em movimento e então aumentando-se a carga até que o motor perca o passo. Com uma carga de inércia mais elevada, deve ser utilizada uma taxa de aceleração mais baixa, porém o torque disponível na velocidade final não é afetado.

Perguntas e Respostas Frequentes Sobre Motores de passo

1 Por que os motores de passo esquentam?

Por duas razões: 1. A corrente flui através do motor de passo mesmo ele estando parado. 2. Os projetos de drives com onda de pulso (PWM) tendem a fazer o motor esquentar mais. A construção do motor, como o material de laminação e rotores com calhas, também afetarão o seu aquecimento.

2 Qual é a temperatura segura de operação?

A maioria dos motores possui um isolamento categoria B, classificado a 130°. Uma temperatura de 90° na carcaça do motor não deverá causar problemas térmicos. No entanto, os motores não devem ser montados numa posição onde o operador possa entrar em contato físico com a carcaça do motor.

3 O que pode ser feito para se reduzir o aquecimento do motor?

Muitos drives possuem uma redução automática de corrente, quando parados, acionada através de um comando ou jumper. Isto reduz a corrente quando o motor estiver parado sem perda de posição.

4 Qual o significado da especificação de precisão absoluta?

Isto se refere aos erros não cumulativos encontrados na usinagem do motor.

5 Como é possível que a especificação de repetibilidade seja melhor do que a precisão?

A repetibilidade indica a precisão com que uma posição anterior pode ser restabelecida. Há muito poucos erros no sistema que provoquem a variação de uma posição dada, portanto, basicamente, a mesma imprecisão é encontrada no retorno àquela posição.

6 A precisão do motor aumentará proporcionalmente à resolução?

Não. A precisão absoluta básica e a histerese do motor permanecem inalteradas.

7 Posso utilizar um motor pequeno em uma carga grande se o requisito de torque for baixo?

Sim, porém se a inércia da carga for superior a dez vezes a inércia do rotor, pode ocorrer um amplo efeito de oscilação ("ringing") ao final do movimento.

8 Como se pode reduzir a oscilação ("ringing") ao final do movimento?

A fricção no sistema ajudará a diminuir esta oscilação. Caso esteja sendo empregada uma velocidade de início/parada, a diminuição de seu valor também ajudará. A função de viscosidade eletrônica no drive ZETA minimiza este problema.

9 Por que um motor pode perder o passo durante um teste sem carga?

Um motor sem carga desenvolve um torque elevado em relação à sua própria inércia. Os motores de passo são otimizados para cargas da mesma ordem que a inércia do motor.

10 Como se pode reduzir as chances de ressonância?

Isto é de ocorrência mais provável em sistemas de passo completo. Adicionar inércia diminui a frequência de ressonância, e a fricção tende a amortecer a ressonância. O emprego de velocidades de início/parada mais elevadas do que a velocidade de ressonância ajudará. Passar para um drive de meio passo, mini-passo ou micro-passo também minimizará qualquer ressonância que houver. Também são ocasionalmente utilizados amortecedores inerciais viscosos.

11 Por que o motor às vezes dá saltos ao ser ligado?

O motor possui 200 posições detentoras naturais, porém o drive é ligado em um estado definido, correspondente a uma, dentre apenas 50 posições. Portanto, a movimentação pode ser de até 3,6° em qualquer direção.

12 O motor, propriamente dito, sofre alguma alteração no caso de emprego de um drive de micro-passo?

Não, o motor é ainda um motor de passo padrão de 1,8°. O micro-passo é obtido com a aplicação proporcional da corrente no drive para que se obtenha uma resolução maior.

13 Um movimento foi feito numa direção, e então o motor é comandado para executar um movimento na mesma distância porém na direção oposta. O movimento de retorno é mais curto. Por quê?

Diversos fatores podem estar influenciando os resultados. O motor possui uma histerese magnética que pode ser influente em mudanças de direção, que é da ordem de 0,03°. Qualquer efeito de chicoteamento no sistema criará erros de posicionamento. Um pulso de passo, que ocorra antes que um sinal de direção seja estabelecido, provocará um erro.

14 Por que alguns motores são construídos como motores de oito contatos?

Isto permite maior flexibilidade. O motor pode ser operado como um motor de seis contatos com drives unipolares. Com drives bipolares, as espiras podem ser conectadas em série ou em paralelo para fornecer características diferentes de torque em relação à velocidade.

15 Qual é a diferença entre a conexão em série e a em paralelo?

Com as espiras em série, o torque a baixas velocidades é maximizado. Porém, isto também provoca maior indutância. Portanto o desempenho a altas velocidades é menor do que no caso das espiras serem conectadas em paralelo.

16 Pode-se usinar um degrau de encaixe no eixo do motor?

Sim, porém deve-se tomar cuidado para não danificar os mancais (veja a seção de Instalação do Motor). O motor não pode ser desmontado.

17 De que comprimento podem ser os contatos do motor?

Em condições normais, 15 m para drives unipolares e 30 m para drives bipolares devem funcionar. Recomenda-se fios blindados.

Motores CC com Escova

Princípios

O motor CC com escova baseia-se no conceito de que é criada uma força quando um condutor é percorrido por uma corrente quando colocado em um campo magnético (Fig. 3.1).

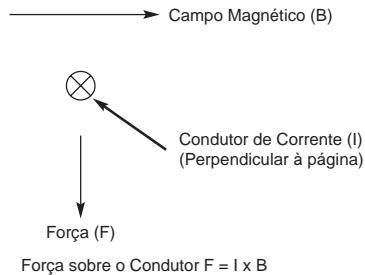


Fig. 3.1 Força sobre um condutor em um campo magnético.

A força que age sobre o condutor é o produto da corrente e da densidade do fluxo:

$$F = I \times B$$

onde B = densidade do fluxo magnético e I = corrente

A força disponível pode ser aumentada utilizando-se mais condutores, ou enrolando-se um fio numa forma de bobina. Esta é a base do motor CC com escova.

Considerações Práticas

O problema agora é como utilizar esta força para produzir o torque contínuo requerido numa aplicação prática de motor.

Para obter a maior força possível, um grande número de condutores deve ser colocado no campo magnético. Na prática, isto produz um cilindro de fios, com as espiras colocadas em paralelo ao eixo do cilindro. Um eixo mecânico passando pelo eixo do cilindro age como pivô, e este arranjo é chamado de armadura do motor (Fig. 3.2).

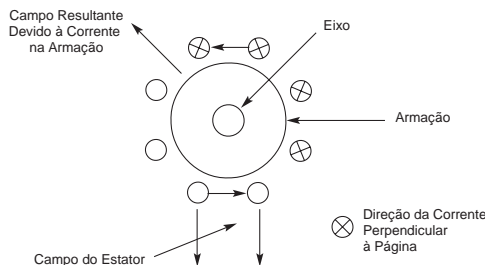


Fig. 3.2 Armadura do motor CC.

Com a rotação da armadura, o campo magnético é também rotacionado. A armadura irá parar com seu campo magnético estando alinhado com o campo do estator, a não ser que haja algum dispositivo para mudar constantemente a direção da corrente em cada bobina da armadura.

Comutação

A força que rotaciona a armadura do motor é resultado da interação entre dois campos magnéticos (o campo do estator e o campo da armadura). Para produzir um torque constante no motor, estes dois campos devem permanecer constantes tanto em termos de magnitude quanto na orientação relativa.

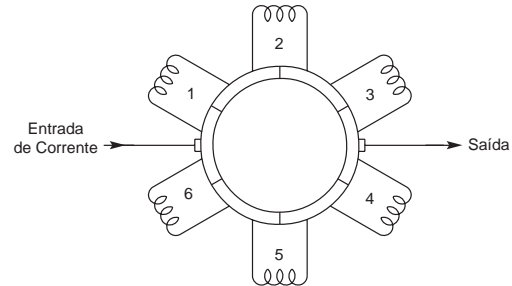


Fig. 3.3 Esquema elétrico da armadura.

Isto é obtido construindo-se a armadura como uma série de pequenas seções conectadas em seqüência aos segmentos de um comutador (Fig. 3.3). A conexão elétrica é feita com o comutador por meio de duas escovas. Se a armadura girar 1/6 de revolução no sentido horário, a corrente nas bobinas 3 e 6 terá mudado de direção. Com a passagem de segmentos sucessivos do comutador pelas escovas, a corrente nas bobinas conectadas a estes segmentos muda de direção. Este efeito de comutação ou chaveamento resulta em um fluxo de corrente na armadura que ocupa uma posição fixa no espaço, independente da posição da armadura. Isto resultará na produção de uma saída de torque constante no eixo do motor. O eixo de magnetização é determinado pela posição das escovas. Se o motor é projetado para possuir as características similares nas duas direções de rotação, o eixo das escovas deve ser posicionado para produzir um eixo de magnetização a 90° em relação ao campo do estator.

Tipos de Motor com Escova

São utilizados dois tipos diferentes de motores CC escova.

Motor com Núcleo de Ferro

Este é o tipo mais comum de motor utilizado em sistemas CC servo-controlados (veja a Fig. 3.4). Ele é composto por duas partes principais - uma carcaça contendo os magnetos do campo, e um rotor com bobinas de fios enroladas em ranhuras sobre um núcleo de ferro e conectadas a um comutador. As escovas em contato com o comutador levam a corrente às bobinas.

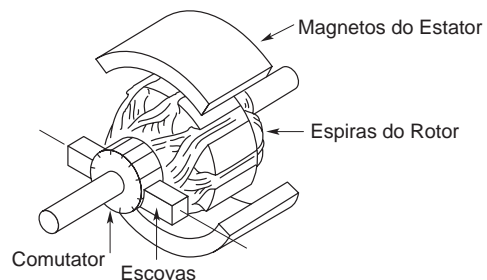


Fig. 3.4 Motor com núcleo de ferro.

Motor com Bobina Móvel

Há duas formas comuns deste motor - o motor "impresso" (Fig. 3.5), empregando uma armadura de disco, e a armadura do tipo "concha" (Fig. 3.6).

Como estes motores não possuem ferro móvel em seus campos magnéticos, eles não sofrem perda de ferro. Isto significa que se pode obter velocidades de rotação mais elevadas com baixa potência de entrada. No entanto, sua capacidade térmica é muito pequena, portanto eles são danificados mais facilmente pelo excesso de corrente.

Diagramas cortesia da Electro-Craft Ltd.

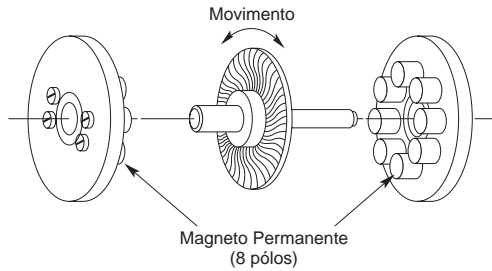


Fig. 3.5 Motor "impresso" com armadura de disco.

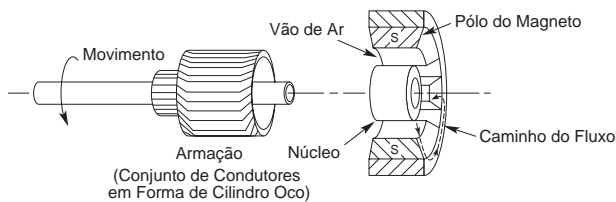


Fig. 3.6 Motor com armadura do tipo concha.

Força Eletromotriz (FEM) Inversa

Ao ser acionado mecanicamente, um motor CC, com ímã permanente, atuará como gerador. Com a rotação do eixo, surgirá uma tensão elétrica nos terminais das escovas. Esta tensão é denominada FEM inversa (Força Eletromotriz), e é gerada mesmo quando o motor é acionado por uma tensão aplicada a ele.

A tensão de saída tem uma relação essencialmente linear com a velocidade do motor, e sua taxa é definida como a constante de tensão do motor, K_E (Fig. 3.7). O K_E é em geral expresso em volts por 1.000 rpm.

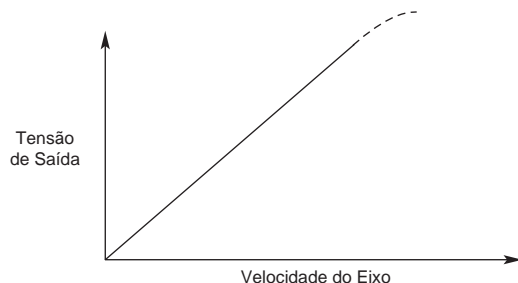


Fig. 3.7 Curva característica da FEM.

Equações do Motor

Diferente de um motor de passo, o motor CC com escova exibe uma relação simples entre corrente, tensão, torque e velocidade. É útil verificar estas relações como auxílio na aplicação de motores com escova.

O Circuito Equivalente do Motor Escova

Se você aplicar uma tensão constante aos terminais de um motor com escova, ele se acelerará até uma velocidade final constante (n). Sob estas condições, a tensão (V) aplicada ao motor é oposta pela FEM inversa (nK_E); a tensão resultante da diferença leva a corrente do motor (I) através da armadura do motor e da resistência das escovas R_s . O circuito equivalente de um motor CC é mostrado na Fig. 3.8.

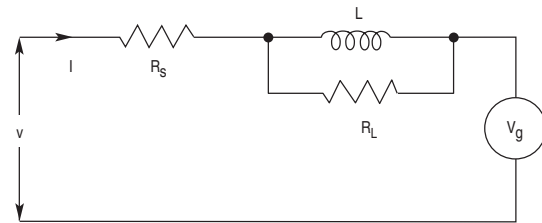


Fig. 3.8 Circuito equivalente do motor.

- R_s = resistência do motor
- L = indutância da espira
- V_g = FEM inversa
- R_L representa as perdas magnéticas.

O valor de R_L é, em geral, grande, e portanto pode ser ignorado, da mesma forma que a indutância L , que é, em geral, pequena.

Se aplicarmos uma tensão V ao motor e uma corrente I fluir, então:

$$V = IR_s + V_g$$

mas $V_g = nK_E$

portanto $V = IR_s + nK_E$ (1)

Esta é a equação elétrica básica do motor.

Se K_T é a constante de torque do motor (em Nm por amp), então o torque gerado pelo motor será dado por:

$$T = IK_T$$
 (2)

Há um torque oposto devido à fricção e ao amortecimento interno, porém é em geral pequeno e pode ser ignorado para os fins deste cálculo inicial.

As equações (1) e (2) são tudo o que precisamos para chegar à corrente e a tensão de acionamento necessárias para atender aos requisitos dados de torque e velocidade. Os valores de K_T , K_E e R_s podem ser encontrados nos dados do fabricante do motor.

Motores sem Escova (Brushless)

Antes de abordarmos em detalhes o assunto de motores sem escova, vamos esclarecer um ponto de terminologia. O termo “sem escova” (“brushless”) agora é aceito como referente a uma variedade específica de motor servocontrolado. Claramente, um motor de passo é um aparelho sem escova, da mesma forma que um motor CA de indução. No entanto, o chamado motor “sem escova” foi projetado para ter um desempenho semelhante ao motor DC com escova, porém sem suas limitações. O principal fator limitador do desempenho dos motores com núcleo de ferro é o aquecimento interno. É preciso expulsar este calor, seja através do eixo e dos mancais para a carcaça externa, ou através do vão de ar entre a armadura e os magnetos de campo e daí para a carcaça. Nenhuma destas rotas é termicamente eficiente, portanto a refrigeração na armadura do motor é sempre muito pobre.

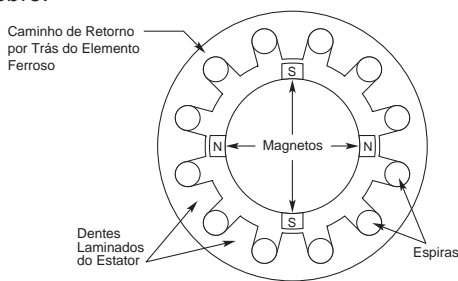


Fig. 3.9 Motor Brushless.

No motor brushless, a construção do motor com núcleo ferroso é virada ao avesso de forma que o rotor se torna um magneto permanente, e o estator se torna um núcleo ferroso com espiras. As bobinas transmissoras de corrente estão agora localizadas na carcaça, propiciando um caminho térmico curto e eficiente para o ar exterior. A refrigeração pode ser melhorada ainda com aletas dissipadoras na carcaça externa e soprando-se ar sobre elas, se necessário (para se refrigerar eficazmente um motor com escova com núcleo ferroso, deve-se soprar ar por dentro dele). A facilidade de refrigeração do motor brushless permite que ele produza uma potência muito maior relativamente ao seu tamanho. A outra grande vantagem do motor brushless é a ausência de um comutador convencional e das escovas. Estes itens são fontes de desgaste e de potenciais problemas, e podem requerer manutenção freqüente. Pelo fato de não possuir estes componentes, o motor brushless é por si só mais confiável e pode ser utilizado em condições ambientais adversas. Para se obter um torque elevado e uma inércia baixa, os motores brushless empregam magnetos ferrosos, muito mais caros do que os magnetos cerâmicos convencionais. O drive eletrônico necessário para um motor brushless é também mais complexo do que o de um motor com escova. Na categoria dos motores brushless existem dois tipos básicos: trapezoidal e de onda senóide. Embora sua construção seja praticamente idêntica, a forma de controle dos dois tipos é significativamente diferente. O motor trapezoidal é muitas vezes referido como servomotor CC brushless, enquanto o motor de onda senóide é às vezes chamado de servomotor CA brushless, pois é muito parecido com o motor CA síncrono. Para explicar completamente a

diferença entre estes dois motores, precisamos rever a evolução do servomotor brushless. Um motor simples de CC com escova convencional (Fig. 3.10) consiste de um rotor com espiras que gira dentro de um campo magnético fornecido pelo estator. Se as conexões das bobinas fossem feitas através de anéis deslizantes, este motor se comportaria como um motor de passo (revertendo-se a corrente no rotor faria com que ele virasse 180°). Incluindo o comutador e as escovas, a reversão da corrente é feita automaticamente, e o motor continua a girar na mesma direção.

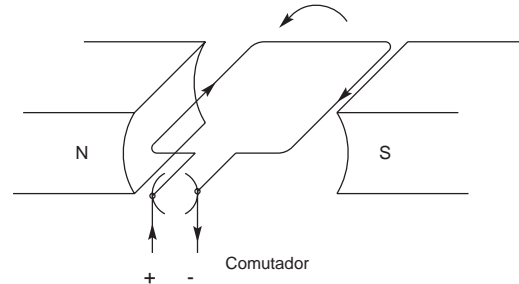


Fig. 3.10 Motor CC com escova convencional.

Para transformar este motor em um servomotor brushless, devemos começar eliminando as espiras no rotor. Isto pode ser obtido virando-se o motor do avesso. Em outras palavras, fazemos com que o magneto permanente seja a parte rotatória e colocamos as espiras nos pólos do estator. Ainda precisaremos de algum meio para reverter a corrente automaticamente - uma chave reversora operada por uma came poderia fazer este trabalho (Fig. 3.11).

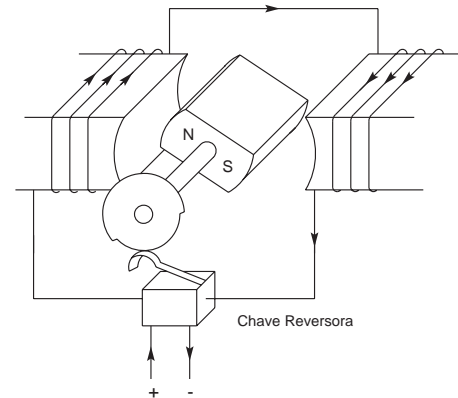


Fig. 3.11 Motor CC "do avesso".

Obviamente, um arranjo assim com uma chave mecânica não é satisfatório, porém a capacidade de chaveamento propiciada por dispositivos sem contato tende a ser muito limitada. No entanto, em uma aplicação servocontrolada, empregaremos um amplificador eletrônico ou drive que também pode ser usado para executar a comutação em resposta a sinais de baixa intensidade provenientes de um sensor óptico ou Hall (veja a Fig. 3.12). Este componente é referido como o Controlador de Comutação. Portanto, diferente do motor CC com escova, a versão brushless não pode ser acionada simplesmente conectando-a a uma fonte de corrente contínua. A corrente do circuito interno deve ser revertida em posições definidas do rotor. Portanto, o motor está, na verdade, sendo acionado por uma corrente alternada.

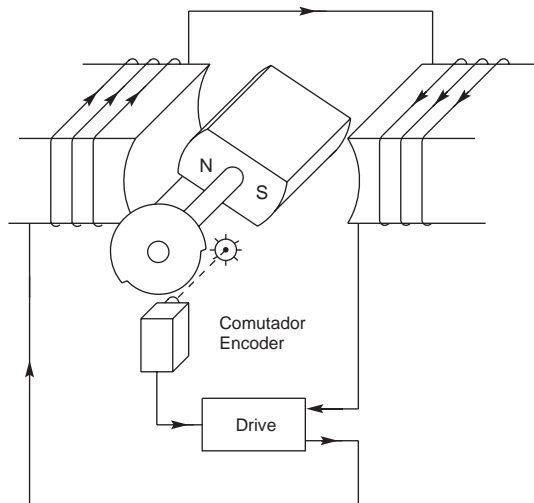


Fig. 3.12 Servomotor brushless.

Voltando ao motor convencional com escova, um rotor-consistindo de apenas uma bobina, exibirá uma ampla variação de torque conforme rotaciona. Na verdade a característica será senoidal, com o torque máximo sendo produzido quando o campo do rotor estiver em ângulo reto com o campo do estator, e com torque zero no ponto de comutação (veja a Fig. 3.13). Um motor CC, na prática, possui um grande número de bobinas no rotor, cada uma conectada não apenas a seu próprio par de segmentos do comutador, mas também às outras bobinas.

Desta forma, a contribuição principal para o torque será feita por uma bobina próxima à sua posição de pico de torque; há também um efeito de uma corrente média que flui em todas as outras bobinas, portanto a ondulação resultante (ripple) do torque é muito pequena.

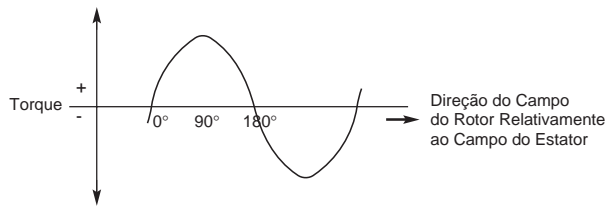


Fig. 3.13 Curva característica da posição em relação ao torque.

Gostaríamos de reproduzir uma situação similar no servomotor brushless, mas isto iria requerer um grande número de bobinas sendo distribuídas em torno do estator. Isto pode ser possível, porém cada bobina requereria seu próprio circuito individual de acionamento.

Isto é claramente proibitivo, portanto um servomotor brushless típico possui dois ou três conjuntos de bobinas ou "fases" (veja Fig. 3.14). o servomotor mostrado é um projeto de dois pólos e três fases; em geral o motor possui quatro ou seis pólos do rotor, com um aumento correspondente no número de pólos do estator. Isto não aumenta o número de fases, cada fase possui suas espiras distribuídas entre diversos pólos do estator.

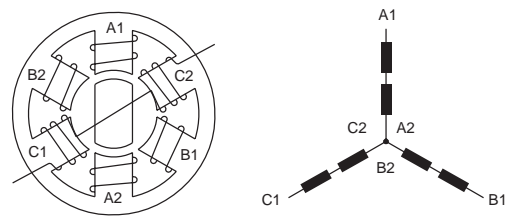


Fig. 3.14 Servomotor trifásico brushless.

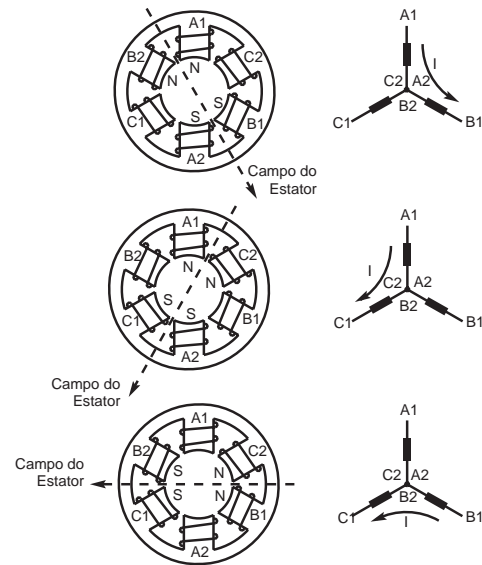


Fig. 3.15 Posições do campo do estator para diferentes correntes de fase.

A curva característica de torque na Fig. 3.13 indica que o torque máximo é produzido quando os campos do rotor e do estator estão a 90° entre si. Portanto, para gerar um torque constante precisaríamos manter o campo do estator a um ângulo constante de 90° à frente do rotor. Limitar o número de fases a três significa que podemos fazer com que o campo do estator avance apenas em incrementos de 60° (a Fig. 3.15 mostra as posições do campo do estator para três, dos seis caminhos possíveis da corrente). Em outras palavras, o campo do estator permanece no mesmo lugar durante 60° da rotação do eixo. Portanto, não podemos manter um ângulo de torque constante de 90°, mas podemos manter uma média de 90° trabalhando entre 60° e 120°. A Fig. 3.16 mostra a posição do rotor em um ponto de comutação; quando o ângulo de torque cai para 60°, o campo do estator avança de 2 para 3 para que o ângulo agora aumente para 120°, e permanece ali pelos próximos 60° de rotação.

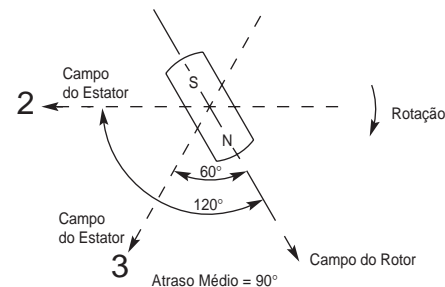


Fig. 3.16 Posição do rotor no ponto de comutação.

O Motor Trapezoidal

Com um nível fixo de corrente nas espiras, o uso desta parte estendida da curva característica de torque senoidal causa uma grande flutuação do torque. Podemos minimizar o efeito manipulando o projeto do motor para “aplinar” a característica, fazendo-o trapezoidal, (Fig. 3.17). Na prática, isto não é muito fácil de se fazer, portanto ainda haverá algum grau de não-linearidade. O efeito disto tende a ser um ligeiro “golpe” nos pontos de comutação, que pode ser sentido quando o motor estiver girando devagar.

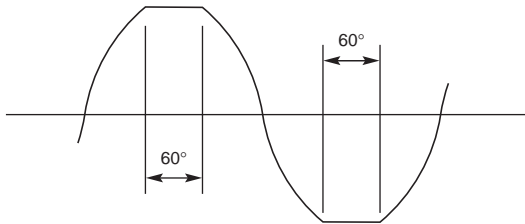


Fig. 3.17 Curva característica do motor trapezoidal.

A ondulação (Ripple) do torque resultante da não-linearidade da curva característica do torque tenderá a produzir uma modulação da velocidade na carga. No entanto, em um sistema empregando *feedback* de velocidade, o *loop* de velocidade terá, em geral, um ganho elevado. Isto significa que um aumento muito pequeno na velocidade gerará um grande sinal de erro, reduzindo a demanda de torque para corrigir a mudança de velocidade. Portanto, na prática, a corrente de saída do amplificador tende a “espelhar” a curva característica de torque (Fig. 3.18) para que a modulação resultante da velocidade seja extremamente pequena.

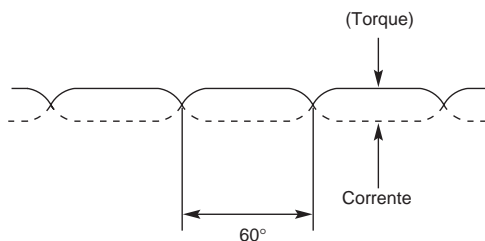


Fig. 3.18 Perfil da corrente no servocontrolador por velocidade.

Servomotor Brushless Senoidal

No Servomotor Brushless senoidal, não há a tentativa de modificar a curva característica senoidal básica do torque. Este servomotor pode ser acionado da mesma forma que um motor síncrono de CA com a aplicação de correntes senoidais as espiras do motor. Estas correntes devem ter o deslocamento adequado de fase, de 120° no caso do motor trifásico. Precisamos agora de um dispositivo com resolução muito mais alta para controlar a comutação se quisermos uma rotação suave a baixas velocidades. O drive precisa gerar 3 correntes que estejam em relação correta entre si em qualquer posição do rotor. Portanto, ao invés do simples Controlador de Comutação gerando vários pontos de chaveamento, precisamos agora de um resolver ou de um encoder óptico de alta resolução. Desta forma é possível se manter um ângulo de torque de 90° com muita precisão, resultando em uma rotação bem suave à baixa velocidade e uma ondulação desprezível do torque.

O drive de um Servomotor Brushless Senoidal é mais complexo do que o da versão trapezoidal. É preciso uma tabela de referência da qual possamos gerar as correntes senoidais, e estas devem ser multiplicadas pelo sinal de demanda do torque para se determinar a amplitude absoluta. Com um motor trifásico conectado em estrela, basta determinar as correntes em duas das espiras - isto automaticamente determinará o que acontece na terceira espira.

Como mencionamos anteriormente, o Servomotor Brushless Senoidal precisa de um dispositivo de *feedback* de alta resolução, que no entanto pode atuar para fornecer as informações de posição e velocidade para o controlador. Para entender por que um Servomotor Brushless Senoidal produz um torque constante, é mais fácil pensar em termos de um motor bifásico. Este possui apenas dois conjuntos de espiras alimentados com correntes senoidais a 90° entre si. Se representarmos a posição do eixo do motor por um ângulo ϕ , então as correntes nas duas espiras são da forma $I \sin\phi$ e $I \cos\phi$. Voltando ao nosso modelo original de motor, você se lembrará de que a curva característica fundamental de torque do motor é também senoidal. Portanto, para uma dada corrente I , o valor instantâneo do torque é dado por:

$$T = I K_T \sin\phi$$

onde K_T é a constante de torque do motor. Tornando a corrente do motor também senoidal, e em fase com a curva característica de torque do motor, o torque gerado por uma fase se torna:

$$\begin{aligned} T_1 &= (I \sin\phi) K_T \sin\phi \\ &= I K_T \sin^2\phi \end{aligned}$$

De forma similar, o torque produzido pela outra fase é:

$$T_2 = I K_T \cos^2\phi$$

O torque total é:

$$T_1 + T_2 = I K_T (\sin^2\phi + \cos^2\phi)$$

mas: $\sin^2\phi + \cos^2\phi = 1$ para qualquer valor de ϕ

portanto: $T_1 + T_2 = I K_T$

Portanto, para correntes de fase senoidais com amplitude constante, o torque resultante é também constante e independente da posição do eixo. Para que esta condição continue verdadeira, as correntes de acionamento devem seguir precisamente uma relação seno-cosseno. E isto pode ocorrer apenas com uma resolução suficientemente alta do encoder ou resolver utilizado para comutação.

Motores de Acionamento Direto ("Direct Drive")

Em algumas situações, um motor servocontrolado convencional pode não ter o torque ou a resolução adequados para satisfazer às necessidades da aplicação. Um sistema de redução mecânica é então empregado para aumentar o torque e/ou a resolução.

Os sistemas de acionamento direto acoplam a carga diretamente ao motor sem uso de correias ou engrenagens. O motor Dynaserv oferece um torque muito elevado diretamente, e soluciona muitas das questões referentes a desempenho levantadas pela caixa de redução.

A Fig. 3.19 mostra a construção do motor de acionamento direto Dynaserv em comparação a um motor convencional com caixa de redução. A caixa de redução introduz perdas significativas de fricção entre o motor e a carga, e a precisão poderá ficar sacrificada devido a erros mecânicos ou efeito chicote. O motor de acionamento direto é brushless e sem engrenagens, portanto elimina a fricção na transmissão. Como o elemento de *feedback* é acoplado diretamente à carga, a precisão e repetibilidade do sistema são mantidas, e o efeito chicote é eliminado.

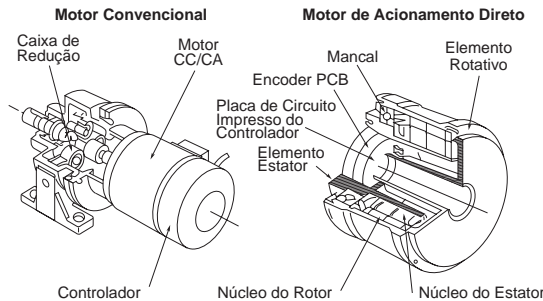


Fig. 3.19 Comparação entre o convencional e o acionamento direto.

O motor contém mancais de precisão, componentes magnéticos e um dispositivo integrado de *feedback* em um pacote compacto (veja a Fig. 3.20). O motor é do tipo rotor externo, propiciando movimentação direta da carcaça externa, que é presa à carga. Os mancais de rolamentos cruzados, que suportam o motor, são muito rígidos para permitir que o motor receba a carga diretamente. Em muitos casos é desnecessário utilizar mancais ou eixos adicionais para conexão.

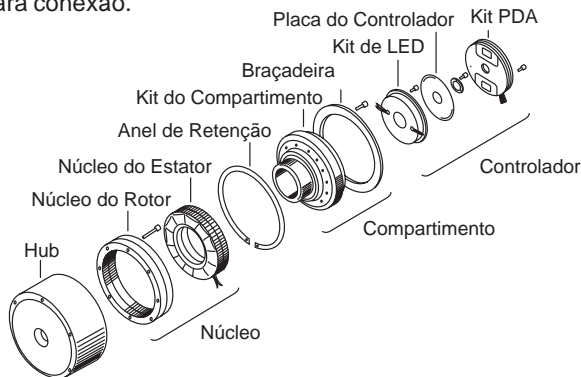


Fig. 3.20 Vista explodida do Dynaserv.

O torque é proporcional ao quadrado da soma do fluxo magnético do rotor de magneto permanente (Φ_m), e do fluxo magnético das espiras do estator (Φ_c) - veja a Fig. 3.21. O torque elevado é gerado devido aos seguintes fatores:

1. O diâmetro do motor é grande. As forças tangenciais entre o rotor e o estator agem com um raio grande, resultando num torque elevado.
2. Um grande número de dentes no rotor e no estator significa que o motor possui um grande número de pólos, em outras palavras, possui muitos ciclos magnéticos por revolução. Este elevado número de pólos resulta numa saída de torque elevado.

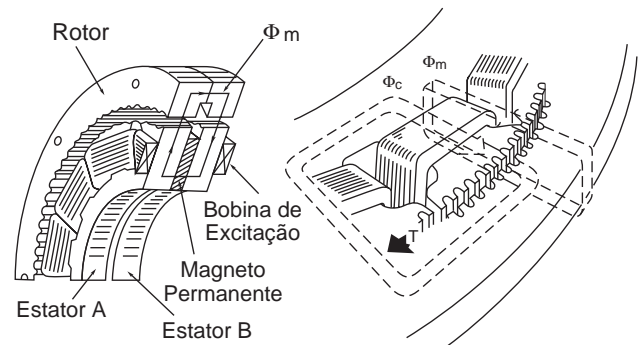


Fig. 3.21 Circuito magnético do Dynaserv.

Vantagens do Motor de Acionamento Direto

Alta Precisão

Os motores de acionamento direto eliminam folgas e a histerese que são inevitáveis quando se emprega uma caixa de redução. O posicionamento absoluto de 30 arc-seg é típico, com uma repetibilidade de ± 2 arc-seg.

Tempo mais Rápido de Parada

Devido ao projeto sem engrenagens, o acionamento direto aumenta a produção diminuindo os tempos de parada.

Torque Elevado à Alta Velocidade

A curva de torque pela velocidade no servo de acionamento direto é muito plana. Isto resulta em uma grande aceleração em velocidades que seriam difíceis de serem atingidas com uma tabela rotativa convencional (de até 4 revoluções/segundo).

Rotação Suave

O servo de acionamento direto possui uma ondulação muito pequena de velocidade e torque, o que contribui para sua excelente controlabilidade numa faixa de velocidade superior a 1000:1.

Operação Limpa

O projeto brushless e sem engrenagens resulta em uma operação livre de manutenção. Com a preparação adequada, o Dynaserv pode operar em ambientes categoria 10.

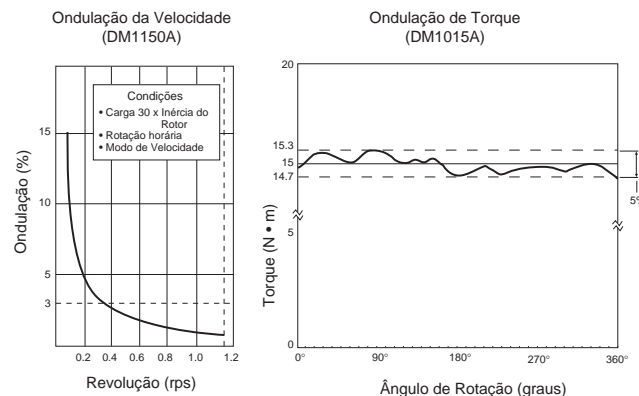


Fig. 3.22 Ondulação de velocidade/torque do Dynaserv.

Drives para Motores de Passo

O drive para motor de passo fornece energia elétrica ao motor em resposta a sinais de baixa tensão do sistema de controle. O motor é um dispositivo de criação de torque, e esse torque é gerado pela interação de campos magnéticos. A força responsável pelo campo estator é a força magnetomotriz (MMF), que é proporcional à corrente e ao número de espiras no enrolamento. Refere-se a isso frequentemente como produto de amp por volta. Assim, essencialmente o drive deve funcionar como uma fonte de corrente. A tensão aplicada só é significativa como meio de controlar a corrente. Os sinais de entrada para o drive do motor de passo consistem em trens de pulso e um sinal direcional, sendo necessário um pulso para cada passo que o motor for dar. Isso é válido independentemente se o drive é passo, meio passo, portanto o drive pode exigir entre 200 e 100.000 pulsos para produzir uma rotação do eixo. Até recentemente, o modo de passo mais frequentemente usado em aplicações industriais era o modo de meio passo, no qual o motor dava 400 passos por rotação. A introdução de motores de mini-passo baratos aumentou essa resolução para entre 4.000 e 5.000 passos por rotação.

Com a velocidade do eixo em 3.000 rpm, o meio passo corresponde a uma frequência de pulso de passo de 20kHz. Essa velocidade a 25.000 passos por rotação exige frequência de passo de 1.25MHz, e controladores de movimento para motores de micropasso devem poder operar em frequências de passo muito mais altas.

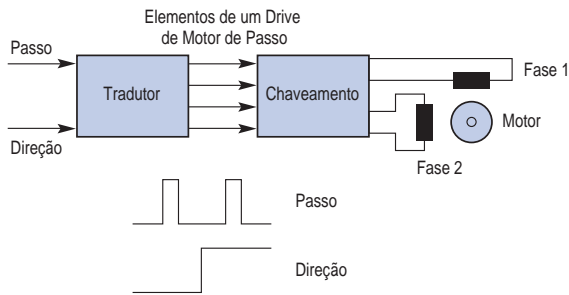


Fig. 4.1 Elementos de um drive de motor de passo.

Os componentes lógicos do drive de motor de passo são frequentemente chamados de tradutor. Sua função é converter os sinais direcionais e de passo em ondas de controle para o gerador de energia (ver Fig. 4.1). As funções básicas do tradutor são comuns à maioria dos tipos de drives, embora o tradutor seja necessariamente mais complexo no caso de um motor de micropasso. Contudo, o projeto do gerador de energia é o principal fator que influencia o desempenho do motor, e vamos analisá-lo mais detalhadamente.

O tipo mais simples de estágio de potência é o arranjo unipolar mostrado na Fig. 4.2. Ele é chamado de drive unipolar porque a corrente só flui em uma direção através de um único terminal do motor. Um motor com espiras bifilares deve ser usado pois a reversão do campo estator é atingida transferindo-se a corrente para a segunda bobina. No caso desse drive simples, a corrente é determinada somente pela resistência do enrolamento do motor e a tensão aplicada.

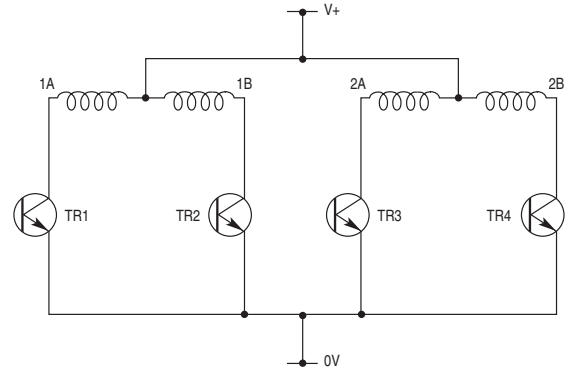


Fig. 4.2 Motor unipolar básico.

Tal drive funcionará perfeitamente com baixas velocidades, mas à medida que a velocidade aumenta o torque cai rapidamente devido à indutância do enrolamento.

Analogia com a Indutância da Água

Para os que não conhecem bem a propriedade da indutância, a seguinte analogia com a água pode ser útil (Fig. 4.3). Um indutor comporta-se da mesma forma que uma turbina conectada a um volante. Quando a torneira é aberta e pressão é aplicada à tubulação de entrada, será necessário um tempo para que a turbina se acelere devido à inércia do volante. A única forma de aumentar a taxa de aceleração é aumentar a pressão aplicada. Se não houver fricção ou vazamento no sistema, a aceleração permanece indefinidamente enquanto a pressão continuar sendo aplicada. Na prática, a velocidade final será determinada pela pressão aplicada e pela fricção e vazamento pelas hélices da turbina.

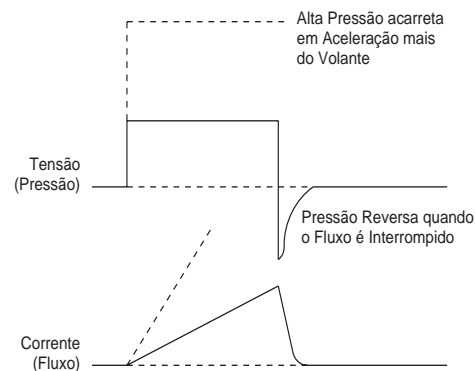
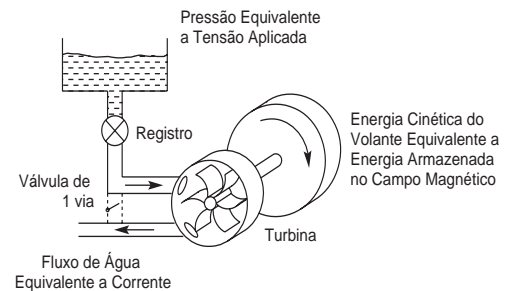


Fig. 4.3 Analogia com a indutância da água.

Aplicar tensão aos terminais de um indutor produz efeito similar. Com indutância pura (nenhuma resistência), a corrente aumentará de forma linear enquanto a tensão continuar sendo aplicada. A taxa de aumento da corrente depende da indutância e da tensão aplicada, portanto uma tensão mais alta deve ser aplicada para fazer com que a corrente cresça mais rapidamente. Num indutor real que possui uma certa resistência, a corrente final é determinada pela resistência e pela tensão aplicada.

Uma vez que a turbina tenha atingido a velocidade, pará-la não é tarefa simples. A energia cinética armazenada no volante tem de ser dissipada, e quando a torneira é fechada, o volante aciona a turbina como uma bomba, e tenta manter a água fluindo. Isso cria alta pressão em toda a tubulação de entrada e saída na direção inversa. O estoque de energia equivalente no indutor é o campo magnético. À medida que esse campo se desintegra, ele tenta manter o fluxo de corrente gerando alta tensão reversa. Incluindo-se uma válvula de uma via nas conexões da turbina, a água pode continuar circulando quando a torneira é fechada. A energia armazenada no volante é então útil para manter o fluxo. Usamos a mesma idéia no circuito chopper do drive, no qual um diodo permite que a corrente recircule depois de ter se acumulado. Voltando a nosso simples motor unipolar, se observarmos como a corrente se comporta (Fig. 4.4), podemos ver que ela segue um modelo exponencial com valor final determinado pela tensão e a resistência do enrolamento. Para fazer com que ela se acumule mais rapidamente, podemos aumentar a tensão aplicada, mas isso aumentaria também o nível de corrente final. Uma maneira simples de solucionar esse problema é acrescentar resistores em série com o motor para manter a corrente final no mesmo nível de antes.

Motor R-L

Esse é o princípio usado no drive limitado por resistência (R-L), ver Fig 4.4. Com uma tensão aplicada de 10 vezes à tensão do motor, a corrente atingirá seu valor final em um décimo do tempo. Em termos de constante de tempo elétrica, a redução é de L/R para $L/10R$, portanto ganha-se aumento de velocidade. Porém nós estaremos pagando um preço por esta performance extra. Sob condições estáveis, a energia dissipada nos resistores em série é 9 vezes maior que no motor, produzindo uma quantidade significativa de calor. Além disso, a energia extra deve vir toda da fonte de corrente contínua, criando a necessidade de que esta seja muito maior. Os motores R-L são, assim, adequados somente para aplicações de baixo consumo de energia. Em contrapartida, oferecem vantagens como simplicidade, robustez e baixa interferência.

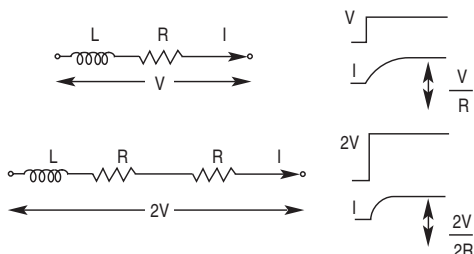


Fig. 4.4 Princípio do motor R-L.

O Drive Bipolar

A maior desvantagem do drive unipolar é sua incapacidade de utilizar todas as bobinas do motor. Sempre haverá fluxo de corrente em somente metade de cada enrolamento. Se pudermos utilizar ambas as partes ao mesmo tempo, poderemos obter aumento de 40% em amp por volta para mesma dissipação de energia no motor.

Para atingir alto desempenho combinado à alta eficiência, precisamos de um drive bipolar (que possa direcionar corrente em ambas as direções em cada bobina do motor) e de um método melhor de controle de corrente. Vamos analisar primeiramente como podemos montar um drive bipolar.

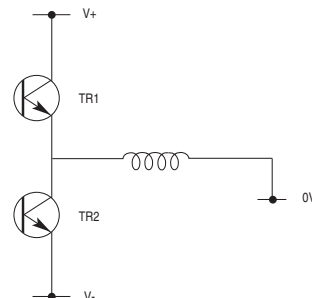


Fig. 4.5 Drive bipolar simples.

Uma possibilidade óbvia é o circuito simples mostrado na Fig. 4.5, no qual duas fontes de energia são usadas com um par de transistores de comutação. Pode-se fazer a corrente fluir em qualquer direção pela bobina do motor acionando um ou outro transistor. Contudo, há desvantagens claras nesse esquema. Para começar precisamos de duas fontes de energia, ambas capazes de fornecer a corrente total para ambas as fases do motor. Quando toda a corrente estiver vindo de uma fonte, a outra está parada, fazendo com que a utilização das fontes de energia seja baixa. Além disso, os transistores devem suportar duas vezes a tensão que pode ser aplicada ao motor, exigindo o uso de componentes caros.

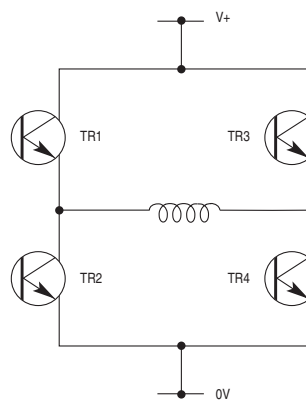


Fig. 4.6 Ponte bipolar.

O arranjo padrão usado num drive bipolar é o sistema de ponte mostrado na Fig. 4.6. Embora ele use um par extra de transistores de comutação, os problemas associados à configuração anterior são eliminados. Somente uma fonte de energia é necessária e é plenamente utilizada; a tensão

nos transistores é igual à disponível para impulsionar o motor. Em sistemas de baixo consumo de energia, esse arranjo pode ainda ser usado com limite de resistência, como mostra a Fig. 4.7.

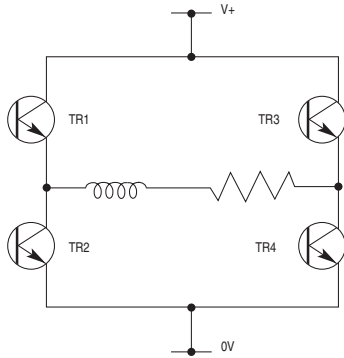


Fig. 4.7 Motor bipolar R-L.

O Drive com Estágio de Recirculação Chopper

O método de controle de corrente, usado na maioria dos motores de passo, é a recirculação ou chopper de três estados (Fig. 4.8). Esse método é baseado na ponte de quatro transistores com diodos de recirculação e um resistor. O resistor tem baixo valor (tipicamente 0,1 ohm) e fornece tensão de resposta proporcional à corrente no motor.

A corrente é introduzida no enrolamento acionando um comutador superior e um inferior, e isso aplica a tensão total em todo o motor. A corrente aumentará de forma quase linear e podemos monitorar essa corrente observando o re-

sistor. Quando a tensão necessária tiver sido atingida, o comutador superior é desligado e a energia armazenada na bobina mantém a corrente circulando via comutador inferior e diodo. As perdas no sistema fazem com que essa decaia lentamente, e quando um limite mais baixo pré-determinado é atingido, o comutador superior é religado e o ciclo se repete. A corrente é, portanto, mantida no valor médio correto comutando ou “cortando(chopping)” o fornecimento para o motor.

Métodos alternativos são empregados para determinar os pontos de comutação. A frequência de comutação pode ser determinada juntamente com um limite superior único, situação em que a amplitude de onda da corrente, e não a taxa de comutação, irá variar com a carga. Quando um controle de corrente mais apurado for necessário, como no caso de um motor de micropasso, a modulação de largura de pulso é usada.

Esse método de controle de corrente é muito eficiente porque muito pouca energia é dissipada nos transistores de comutação quando não estão em estado de comutação transiente. A energia obtida da fonte está intimamente relacionada à potência mecânica gerada pelo eixo (diferentemente do motor R-L, que extrai o máximo de energia da fonte quando parado). Uma variante desse circuito é o circuito chopper de dois estados. Nesse drive, a tensão fornecida é aplicada ao enrolamento do motor em direções alternadas, fazendo com que a corrente suba e desça em taxas aproximadamente iguais. Essa técnica tende a exigir menos componentes e consequentemente tem custo mais baixo. Contudo, a onda de corrente associada no motor é normalmente maior e aumenta o calor no motor.

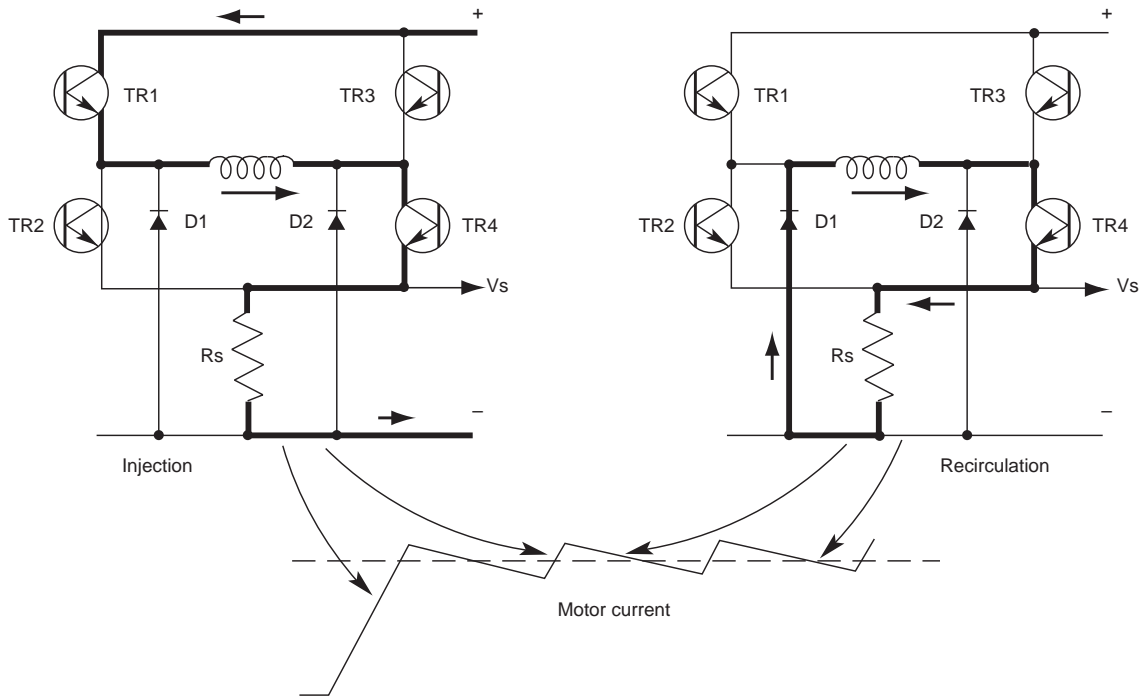


Fig. 4.8 Drive chopper com recirculação.

Regeneração e Descarga de Energia

Como outras máquinas rotativas com magnetos permanentes, o motor de passo agirá como um gerador quando o eixo for movido mecanicamente. Isso significa que a energia reservada à inércia de carga durante a aceleração é devolvida ao drive durante a desaceleração. Isso aumenta a corrente do motor e pode danificar os comutadores de energia se a corrente extra for excessiva. Um detetor de limite no drive percebe esse aumento de corrente e momentaneamente desliga todos os transistores ponte (Fig. 4.9). Cria-se assim um caminho para que a corrente de regeneração volte ao capacitor de fornecimento, onde aumenta a tensão. Durante essa fase a corrente não está mais fluindo pelos resistores, e os comutadores devem ser ligados novamente após um curto período (tipicamente 30 microssegundos) para que as condições sejam reavaliadas. Se a corrente continuar muito alta, o drive volta ao estado de regeneração.

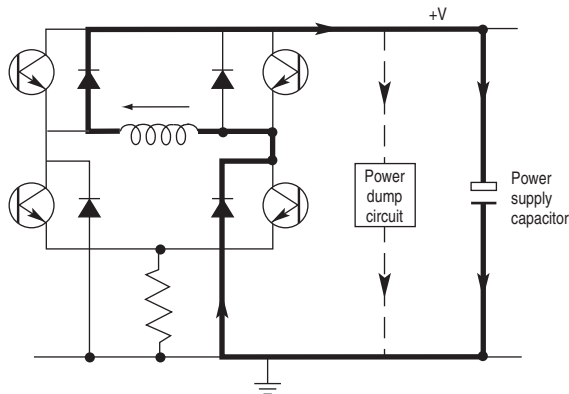


Fig. 4.9 Fluxo de corrente durante a regeneração.

Um pequeno aumento na tensão de fornecimento durante a regeneração é aceitável, mas se o aumento for muito grande os comutadores podem ser danificados por excesso de tensão ao invés de excesso de corrente. Para solucionar esse problema, usamos um circuito de descarga de energia que dissipa a energia regenerada.

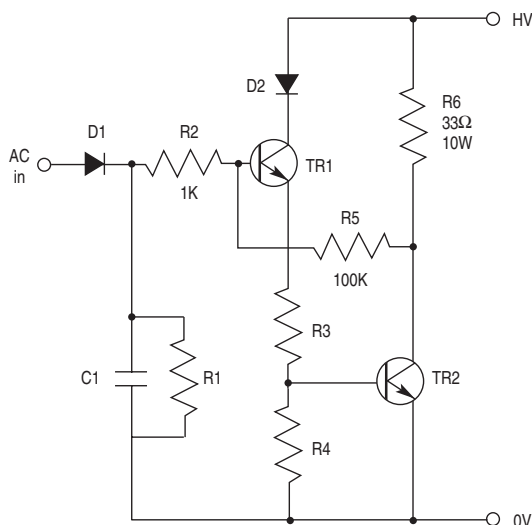


Fig. 4.10 Circuito de descarga de energia típico.

O circuito de descarga de energia típico é mostrado na Fig. 4.10. Um retificador e um capacitor alimentados com corrente alternada do transformador fornecem uma tensão de referência igual ao valor de pico da corrente alternada de entrada. Sob condições normais esse valor será igual à tensão do motor. Pode ocorrer durante a regeneração um excesso de tensão no drive que superará essa referência, e isso irá ligar o transistor de descarga que conecta o resistor de 33 ohms à fonte de energia. Quando a tensão tiver caído o suficiente, o transistor é desligado novamente. Embora a corrente instantânea, passando pelo resistor de descarga, possa ser relativamente alta, a energia média dissipada é normalmente pequena pois o período de descarga é muito curto. Em aplicações em que a energia regenerada for alta, talvez devido à desaceleração freqüente e rápida de uma carga de alta inércia, um resistor suplementar de descarga (resistor de frenagem) de alta potência pode ser necessário.

Drives de Micropasso

Como já foi dito, a subdivisão do passo básico do motor é possível fornecendo-se corrente aos dois enrolamentos do motor. Isso produz uma série de posições de passo intermediárias entre os pontos de uma fase ligada. É claramente desejável que essas posições intermediárias sejam igualmente espaçadas e produzam torque aproximadamente igual quando o motor estiver em funcionamento. Um micropasso preciso aumenta a exigência de precisão no controle da corrente no motor, particularmente com baixos níveis de corrente. Um pequeno desequilíbrio de fase, que pode ser até difícil de detectar num motor de meio passo, pode produzir erros de posicionamento inaceitáveis num sistema de micropasso. A modulação de largura de pulso é freqüentemente usada para atingir uma precisão maior que a que pode ser atingida usando-se um simples sistema de limites. As correntes de fase necessárias para produzir os passos intermediários têm uma forma aproximadamente sinusoidal, como mostra a Fig. 4.11. Contudo, essa forma não oferecerá a melhor resposta com todos os motores. Alguns trabalharão bem com a forma sinusoidal, mas outros precisarão de um formato mais abaulado ou aparado (Fig. 4.11). Assim, um drive de micropasso para operação com vários tipos de máquinas precisa poder ajustar-se à forma da corrente. Os níveis de corrente intermediários são normalmente armazenados como dados num EPROM, com alguns meios de modificar os dados para obtenção de diferentes formas. Pode-se pensar na mudança de forma como a adição ou subtração de um terceiro componente harmônico à onda seno básica.

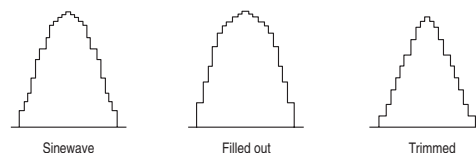


Fig. 4.11 Forma de corrente de micropasso.

No caso de motores de micropasso de alta resolução produzindo 10.000 passos por rotação ou mais, o máximo desempenho será obtido somente com um tipo particular de motor. Nesse motor os dentes do estator ficam num espaçamento de 7,5°, onde 48 espaços iguais resultam em

360°. Na maioria dos motores de passo híbridos, os dentes do estator tem o mesmo espaçamento que os dentes do rotor, resultando em incrementos iguais de 7,2°. Esse último arranjo tende a oferecer uma produção de torque superior, mas é menos satisfatória que um motor de micropasso pois os pólos magnéticos são mais “fixos” - não há transferência progressiva de alinhamento dos dentes de um pólo para o próximo. Na verdade, com esse tipo de motor, pode ser mais difícil encontrar uma forma de corrente que dê bom posicionamento estático combinado a uma rotação leve e de baixa velocidade. Uma alternativa para obter um estator com espaçamento de 7,5° é tornar os dentes do rotor mais oblíquos. Isso produz um efeito similar e tem a vantagem de usar lâminas de 7,2°. Aumentar a obliquidade é um recurso também usado em motores escova de corrente contínua para melhorar a suavidade. Devido a essa dependência do tipo de motor para obtenção de bom desempenho, é comum que sistemas de micropasso de alta resolução sejam fornecidos num pacote motor-drive.

A Curva de Velocidade/Torque do Motor de Passo

Vimos que a indutância do motor é o fator que impede rápidas mudanças de corrente e, portanto, torna mais difícil conduzir um motor de passo em altas velocidades. Observando a curva torque-velocidade na Fig. 4.12, podemos ver o que acontece. Em baixas velocidades, a corrente tem tempo suficiente para atingir o nível exigido e a corrente média no motor é muito próxima do valor regulado pelo motor. Mudar a corrente regulada ou mudar para um drive com corrente diferente afeta o torque disponível.

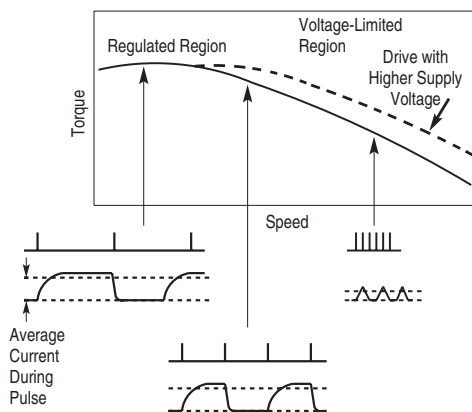


Fig. 4.12 Regiões reguladas e de tensão limitada da curva de torque-velocidade.

À medida que a velocidade aumenta, o tempo que a corrente leva para subir passa a ser uma proporção significativa do intervalo entre os pulsos de passo. Isso tem o efeito de reduzir o nível de corrente médio, e o torque começa a cair. Quando a velocidade aumenta ainda mais, o intervalo entre os pulsos de passo não dá tempo para que a corrente atinja um nível em que a ação circuito de chopper possa atuar. Nessas condições, o valor final da corrente depende somente da indutância do motor e da tensão. Se a tensão aumenta, a corrente aumenta mais rapidamente e atinge um valor mais alto no tempo disponível. Assim, essa região da curva é

descrita como de “tensão limitada”, pois uma mudança na corrente do drive não teria conseqüências. Podemos concluir que em velocidades baixas o torque depende da corrente do drive, e em altas velocidades depende da tensão de alimentação do drive. Fica claro que o desempenho em altas velocidades não é afetado pela corrente do drive. Reduzir a corrente simplesmente “achata” a curva de torque sem restringir a capacidade de funcionamento em altas velocidades. Quando o desempenho é limitado pelo torque de alta velocidade disponível, há muito a dizer quanto ao funcionamento com corrente mais baixa que dê margem de torque adequada.

Em geral, a dissipação no motor e drive é reduzida e o desempenho em baixa velocidade, em particular, será mais suave e produzirá menos ruído audível. Com um drive bipolar, há alternativas para conexões com o motor, como mostra a Fig. 4.13. Um motor de 8 contatos pode ser conectado às duas metades de cada enrolamento em série ou em paralelo. Com um motor de 6 contatos, uma metade do enrolamento, ou as duas metades, podem ser conectadas em série. Os esquemas de conexão alternativos produzem diferentes características de torque-velocidade e também afetam a corrente do motor.

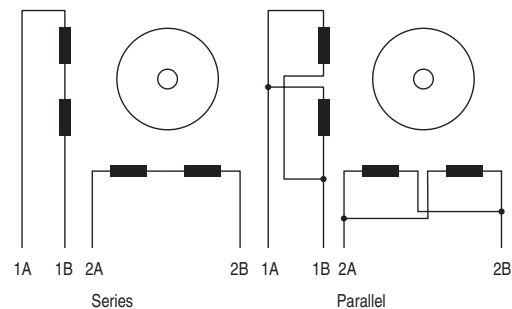


Fig. 4.13 Conexões em série e em paralelo.

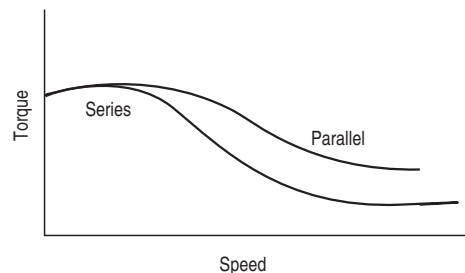


Fig. 4.14 Curvas de velocidade/torque em série e paralelo.

Comparado ao uso de somente uma metade do enrolamento, a conexão de ambas as metades em série resulta no fluxo da corrente no drive através do dobro de voltas do enrolamento. Para a mesma dissipação no motor, um aumento de 40% no torque de baixa velocidade é atingido usando-se somente 70% da corrente anterior. Mas, dobrar o número de voltas no enrolamento que recebe corrente significa em aumentarmos a indutância 4 vezes. Isso faz com que o torque caia muito mais rapidamente do que a velocidade aumenta, o que faz com que o modo em série seja mais útil em velocidades baixas. A máxima potência de eixo que pode ser obtida numa série é tipicamente metade da disponível em paralelo.

Conectar as duas metades do enrolamento de um motor de 8 contatos em paralelo faz com que a corrente se divida entre as duas bobinas. Isso não muda o número efetivo de voltas e a indutância continua a mesma. Assim, com uma dada corrente do drive, a característica do torque será a mesma para dois meios-enrolamentos em paralelo e para um enrolamento sozinho. Como já foi dito, a corrente de um motor de passo é determinada pelo aumento de temperatura permissível. A menos que os dados do fabricante do motor tenham informação diferente, a taxa é um valor unipolar e presume-se que ambas as fases do motor sejam energizadas simultaneamente. Assim, uma corrente de 5A significa que o motor irá aceitar fluxo de 5A em cada meio-enrolamento. Quando os enrolamentos de um motor de 8 contatos são conectados em paralelo, a resistência efetiva cai pela metade. Para a mesma dissipação de energia no motor, a corrente pode ser aumentada em 40%. Portanto um motor de 5A aceitará 7A com os enrolamentos em paralelo, gerando um aumento significativo no torque disponível.

Por outro lado, conectar os enrolamentos em série duplicará a resistência total e a corrente será reduzida num fator de 1.4, resultando numa corrente segura de 3.5A para nosso motor de 5A em série. Via de regra, conexão em paralelo é o método de conexão preferido pois produz uma curva de torque mais achatada e maior potência do eixo (Fig. 4.14). A conexão em série é útil quando um torque alto é necessário em baixas velocidades, e permite que o motor produza torque total com corrente mais baixa. Deve-se evitar aquecimento excessivo do motor em série pois sua corrente é mais baixa nesse modo. As configurações em série também acarretam maior probabilidade de ressonância devido ao alto torque produzido na região de baixa velocidade.

Drives para Motores DC com Escova

Amplificadores Lineares e de Comutação

Os amplificadores lineares operam de forma que, dependendo da direção da rotação do motor, ou TR1 ou TR2 estarão em série com o motor e terão sempre tensão (V) (Fig. 4.15).

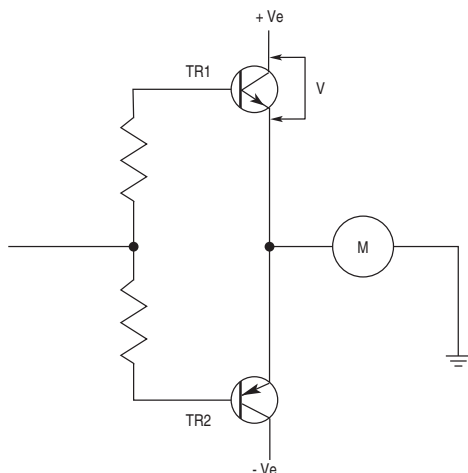


Fig. 4.15 Servo amplificador linear.

Essa característica é a principal limitação do uso de amplificadores lineares, pois sempre haverá energia dissipada na saída do amplificador. Para dissipar essa energia, grandes transistores e reservatórios de calor serão necessários, tornando esse tipo de amplificador inadequado para uso em sistemas de alta energia. Contudo, o amplificador linear oferece a vantagem de baixo nível de ruído elétrico. Amplificadores de Comutação são o tipo mais usado para todas as aplicações, exceto as de consumo muito baixo de energia, e o método mais frequentemente usado para controle de saída é a modulação de largura de pulso (PWM).

A dissipação de energia é grandemente reduzida pois os transistores de saída estão em estado “ligado” ou “desligado”. No estado “desligado”, nenhuma corrente é reduzida e nenhuma energia é dissipada. No estado “ligado” a tensão nos transistores é muito baixa (1-2 volts), e a quantidade de energia dissipada é pequena. Esses amplificadores são adequados para uma variedade de aplicações com todos os níveis de energia. A operação de um amplificador de comutação ou corte é muito similar a do estágio chopper do drive de motor de passo já descrita. Somente um conjunto de comutadores é necessário para conduzir um motor de corrente contínua, tornando o motor mais simples e menos caro. Contudo, a função de um drive de corrente contínua é fornecer uma corrente variável para o motor para o controle de torque. Essa função pode ser atingida com o uso de técnicas analógicas ou digitais.

Drives para Servomotores Analógicos e Digitais

Ao contrário dos drives para motores de passo, os amplificadores dos servomotores com escova e brushless são ou analógicos ou digitais. O motor analógico está no mercado há muitos anos, e o digital é uma inovação relativamente recente. Ambos os tipos têm seus méritos.

Descrição Geral - Drive Analógico

No drive analógico tradicional, a velocidade desejada é representada por uma tensão de entrada analógica, normalmente na faixa de ± 10 volts. A velocidade total é representada por +10v, e a velocidade total reversa por -10v. Zero volt representa a condição estacionária e as tensões intermediárias representam velocidades proporcionais à tensão. Drives analógicos podem também ser configurados como amplificadores de torque, caso no qual a tensão de entrada representa um torque e não uma exigência de velocidade.

Os vários ajustes necessários para afinar um drive analógico de velocidade são tradicionalmente feitos com potenciômetros. Com um pouco de experiência isso pode ser executado bem rapidamente, mas em algumas aplicações difíceis mais tempo pode ser necessário. Repetir os ajustes nas unidades subsequentes pode levar o mesmo tempo, a menos que haja uma forma fácil de duplicar as definições do potenciômetro. Por essa razão, alguns drives usam um “cartão individual” de plug-in que pode conter componentes pré-determinados. Contudo, isso não só aumenta o custo como pode também implicar na necessidade de ajustes posteriores.

Descrição Geral - Drive Digital

Uma alternativa ao sistema analógico é o drive digital, que é ajustado através do envio de dados a partir de um terminal de computador. Isso leva à repetição fácil entre as unidades, e como tais drives são invariavelmente montados com processadores, o auto ajuste totalmente automático fica facilitado. Os drives digitais são normalmente usados junto com os servomotores brushless e não com motores de corrente contínua. Tais drives freqüentemente usam um gerador de potência analógico mas também podem ser totalmente digitais, incluindo os dispositivos de energia. O *feedback* de posição deriva do encoder ou resolver e também é processado como informação digital. É uma idéia lógica incorporar um controlador de posição em tal drive, e o passo e os sinais direcionais podem ser obtidos com um indexador tipo passo convencional. Igualmente, o posicionador pode ser controlado através de comandos simples usando linguagem de controle de movimento de alto nível - ver introdução ao Código X desta apostila.

Operação do Servo Drive Analógico

Os elementos de um amplificador analógico de velocidade são mostrados na Fig. 4.16. A função do sistema é controlar a velocidade do motor em resposta a uma tensão de entrada analógica.

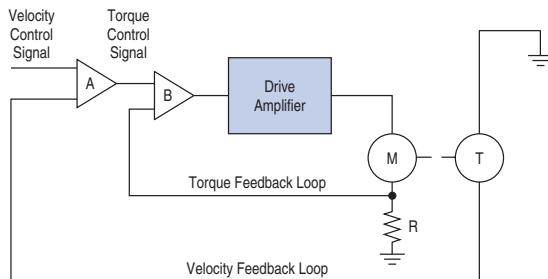


Fig. 4.16 Elementos de um servo sistema analógico.

A velocidade do motor é medida por um tacogerador acoplado ao eixo do motor. Isso produz uma tensão proporcional à velocidade que é comparada com o sinal de demanda de velocidade de entrada, e o resultado dessa comparação é uma demanda de torque. Se a velocidade for muito baixa, o motor fornece mais corrente, que por sua vez cria torque para acelerar a carga. Da mesma forma, se a velocidade for muito alta ou a demanda por velocidade for reduzida, o fluxo de corrente no motor será revertido para produzir um torque de parada.

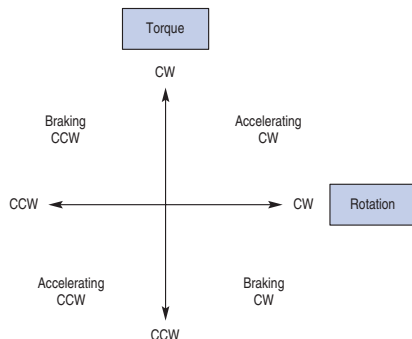


Fig. 4.17 Operação em quatro quadrantes.

Esse tipo de amplificador é freqüentemente chamado de motor de quatro quadrantes. Isso significa que ele pode produzir tanto aceleração quanto torque de parada em qualquer direção de rotação. Se desenharmos um diagrama representando a direção da rotação num eixo e a direção do torque no outro (ver Fig. 4.17), veremos que o motor pode operar em todos os quatro quadrantes. Por outro lado, um motor de velocidade variável simples capaz de rodar em uma única direção e com desaceleração não controlada, seria descrito como de quadrante único. O amplificador de velocidade na Fig. 4.16 tem alto ganho para que uma pequena diferença de velocidade produza um grande sinal de erro. Dessa forma, a precisão do controle de velocidade pode ser muito alta, mesmo quando há grandes variações de carga. Uma demanda de torque do amplificador de velocidade representa uma solicitação de mais corrente no motor. Essa corrente é medida por um resistor R que produz tensão proporcional à corrente do motor. Essa malha de realimentação interna é freqüentemente chamada de Amplificador de Torque pois sua finalidade é criar torque em resposta a uma demanda do amplificador de velocidade.

Alguns tipos de controladores de posição geram um sinal de saída de torque ao invés de uma demanda por velocidade, e também há aplicações na qual o torque, e não a velocidade é a necessidade principal (enrolar material em torno de uma bobina, por exemplo). A maioria dos drives analógicos pode ser configurada como amplificador de torque através de um comutador ou jumper. Na prática, o sinal de entrada ainda é levado ao mesmo ponto, mas o amplificador de velocidade é desconsiderado.

Operação do Servo Drive Digital

A Fig. 4.18 mostra os componentes de um drive digital para um servo motor. Todas as principais funções de controle são executadas por um microprocessador, conduzindo um conversor D-A para produzir um sinal de demanda de torque analógico. A partir daí, o drive passa a ser um amplificador de torque analógico. A informação de realimentação vem de um encoder ou resolver acoplado ao eixo do motor. O encoder gera um fluxo de pulsos com que o processador pode determinar a distância percorrida, e calculando a frequência de pulso é possível medir a velocidade. O drive digital executa as mes-mas operações que o analógico, mas faz isso resolvendo uma série de equações. O microprocessador é programado com um modelo matemático ou algoritmo do sistema analógico equivalente. Esse modelo prevê o comportamento do sistema em resposta a uma demanda de entrada e posição de saída. Ele também leva em conta informações adicionais como velocidade de saída, taxa de mudança da entrada e as várias definições de ajuste.

Resolver todas as equações leva um tempo determinado, e mesmo quando um processador é rápido esse tempo fica entre 100 micro-segundos e 1ms. Durante esse tempo, a demanda por torque deve permanecer constante em seu valor anteriormente calculado e não haverá resposta a mudanças na entrada ou na saída. Esse "tempo de atualização" é portanto um fator crítico no desempenho de um servo motor digital e em sistemas de alta performance ele deve ser mínimo.

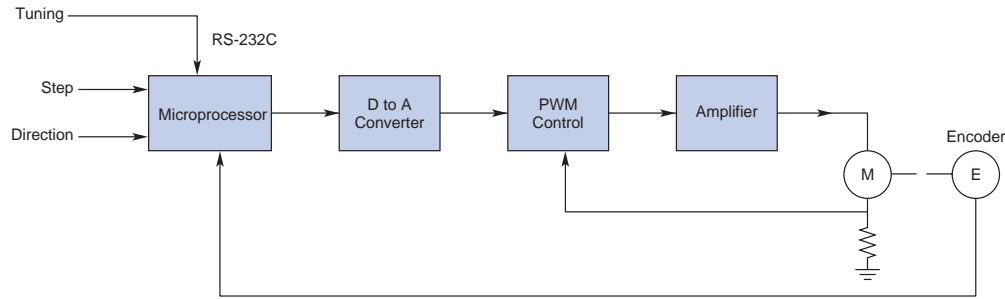


Fig. 4.18 Servo drive digital.

O ajuste de um servo drive digital é feito ou através de botões ou enviando-se dados numéricos a partir de um computador ou terminal. Não há ajustes de medidores de potência. Os dados de ajuste são usados para definir vários coeficientes no servo algoritmo e assim determinar o comportamento do sistema. Mesmo se o ajuste for feito através de botões, os valores finais podem ser transportados para um terminal de forma a permitir a fácil repetição.

Em alguns aplicativos, a inércia da carga varia numa faixa ampla - pense num braço mecanizado que começa sem carga e depois transporta pesadas cargas numa longa extensão. A mudança na inércia pode ser da ordem de um fator de 20 ou mais, e tal mudança exige que o drive seja reajustado para que um desempenho estável seja mantido. Isso pode ser feito de forma simples enviando novos valores de ajuste na altura apropriada do ciclo de operação.

Servomotores sem Escova Brushless

O Drive Trapezoidal

A Fig. 4.19 mostra um *layout* simplificado para um drive trapezoidal de três fases. O gerador de energia é baseado na conhecida ponte em H, mas usa três segmentos da ponte ao invés de dois. Os enrolamentos do motor são conectados entre os três segmentos da ponte como mostrado, sem conexão ao ponto central da junção dos enrolamentos. Ajustando os dois transistores apropriados na ponte, pode-se criar um

fluxo de corrente em qualquer direção por quaisquer dois enrolamentos do motor. A qualquer tempo, o caminho da corrente depende da posição do rotor e da direção de rotação, e os transistores da ponte são selecionados através de lógica extraída do encoder de comutação. Em sistemas trapezoidais o encoder de comutação normalmente usa dispositivos de efeito Hall.

Um PWM utilizando sistema chopper de recirculação controla a corrente da mesma forma que o motor com escova de corrente contínua descrito anteriormente. A informação da realimentação de corrente exigida é fornecida pelos resistores conectados em série com dois dos contatos do motor. Os sinais de tensão obtidos desses resistores devem ser decodificados e combinados para fornecer uma referência de corrente, e o circuito que faz isso usa o encoder de comutação para determinar como interpretar a informação. Para amenizar o problema de isolar o sinal de corrente das altas tensões de comutação geradas pelo gerador de energia, sensores de efeito Hall são freqüentemente usados ao invés de resistores. As entradas do drive trapezoidal para servomotores brushless normalmente seguem o mesmo padrão de um motor com escova analógico (usando um amplificador de velocidade de alto ganho que gere o sinal de demanda de torque). A informação de velocidade pode ser obtida de várias maneiras, e é desejável usar um método sem contato juntamente com um motor brushless. Uma solução comum é usar um encoder ótico e converter a freqüência de pulso do encoder para uma tensão analógica. O encoder também pode ser usado como dispositivo de *feedback* para um controlador de posição.

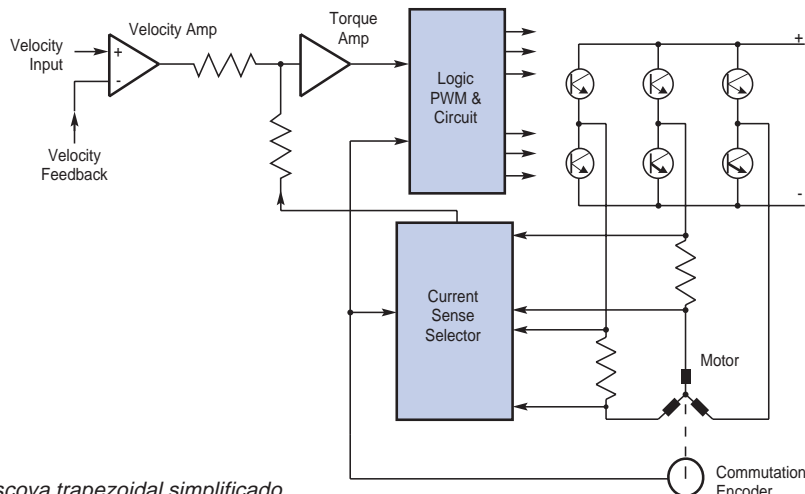


Fig. 4.19 Servo motor sem escova trapezoidal simplificado.

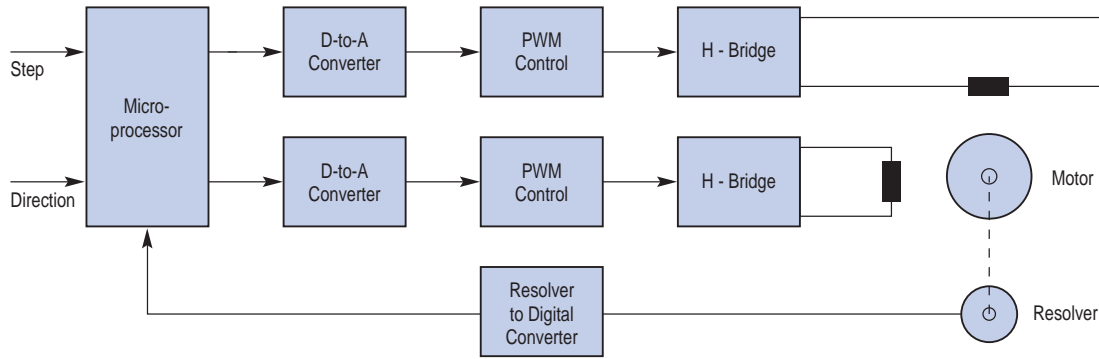


Fig. 4.20 Drive senoidal de dois estágios para servomotor.

O Drive Senoidal

Os motores senoidais brushless podem ser bi ou trifásicos, e nosso exemplo mostra um bifásico (Fig. 4.20). Ele usa duas pontes H para controlar a corrente nos enrolamentos do motor, e a seção de potência desse motor lembra um par de drives motores com escova de corrente contínua. Diferentemente do exemplo anterior, este drive usa uma seção de controle baseada em processadores digitais que transporta os sinais de entrada na forma de passo e sinais direcionais.

Precisamos gerar corrente nos dois enrolamentos do motor que têm formatos seno e coseno à medida que o eixo roda. O motor mostrado na Fig. 4.20 usa um resolver e um conversor resolver-digital para detectar a posição do eixo. Ele nos dá um número que pode ser incluído numa tabela de referência para determinar os valores de corrente instantâneos para aquela posição do eixo em particular. É preciso lembrar que a tabela de referência somente indicará as correntes relativas nos dois enrolamentos - o valor absoluto dependerá da demanda de torque na ocasião. O processador deve então multiplicar os valores seno e coseno pela demanda de torque para obter o valor final de corrente em cada fase. Os números resultantes são alimentados em conversores D-A que produzem uma tensão analógica proporcional à corrente exigida. A função de multiplicação é às vezes executada diretamente pelos conversores D-A. O sinal de saída é então informado a dois amplificadores de corte PWM.

A informação de comutação para um drive senoidal pode também ser obtida de um encoder ótico incremental ou absoluto. Um encoder incremental será menos caro para a mesma resolução, mas exige alguma forma de inicialização para estabelecer o necessário ângulo de torque de 90°. Isso pode ser conseguido com um segundo encoder de baixa resolução simulando a saída de um sistema de sensor Hall.

Graus Mecânicos e Elétricos

Quando falamos sobre motores é importante distinguir entre graus mecânico e elétrico (nesse contexto, nenhum termo refere-se a qualificações de engenharia).

Os graus mecânicos são diretos - são graus absolutos de rotação. Cada volta completa do eixo representa 360 graus mecânicos. Mas os graus elétricos referem-se a cada ciclo elétrico individual, e pode haver mais de um por rotação.

A maior parte dos servo motores tem quatro, seis ou oito pólos, o que significa que têm dois, três ou quatro ciclos elétricos por rotação respectivamente. Um ciclo elétrico para um motor de seis pólos, portanto, corresponde a somente 120 graus mecânicos (ver Fig. 4.21).

Cada ciclo elétrico representa 360 graus elétricos, e quando falamos de ângulos de torque, esses são sempre em graus elétricos. Portanto um ângulo de torque ideal de 90° corresponde na verdade a somente 30° mecânicos para o motor de 6 pólos.

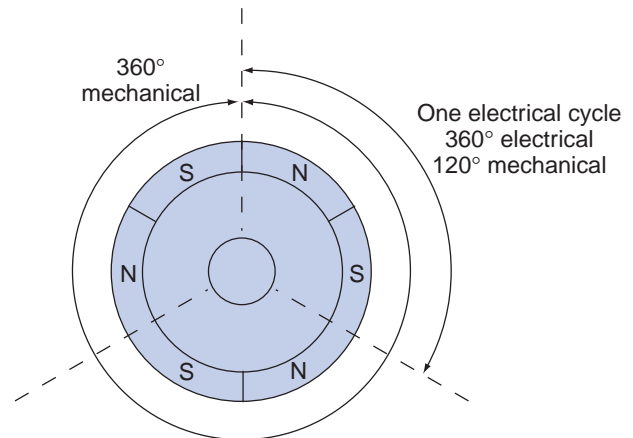


Fig. 4.21 Graus elétricos e mecânicos.

Esse conceito é importante para os dispositivos de feedback usados para comutação.

Por exemplo, um encoder de 500 linhas irá produzir 2000 contagens por rotação após a decodificação, resultando numa resolução mecânica de $360/2000 = 0,18^\circ$.

Para um motor de 8 pólos haverá 500 contagens por ciclo elétrico, e a resolução passa a $360/500 = 0,72^\circ$ em termos elétricos. Isso representa a mais alta precisão com que o ângulo de torque de 90° pode ser mantido.

Dispositivos de Feedback

O Tacômetro ou Tacogerador

Um motor de corrente contínua de magneto permanente pode ser usado como tacômetro. Quando operado mecanicamente, esse motor gera uma tensão de saída que é proporcional à velocidade do eixo (ver Fig. 5.1). As outras principais exigências para um tacômetro são que a tensão de saída seja suave em relação à faixa de operação e que a saída seja estável em relação a variações de temperatura.

Pequenos Motores de corrente contínua de magneto permanente são tradicionalmente usados em servo sistemas como sensores de velocidade. Esses sistemas normalmente incorporam compensação de temperatura termistor, e utilizam um comutador de prata e escovas carregadas de prata para melhorar a confiabilidade da comutação nas condições de baixa corrente envolvidas.

Para combinar alto desempenho e baixo custo, os projetos de servo-motores de corrente contínua freqüentemente incorporam um tacômetro montado sobre o eixo do motor e internos ao gabinete do motor (Fig. 5.2).

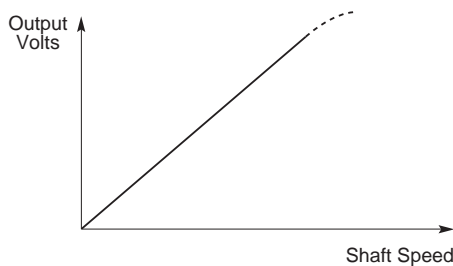


Fig. 5.1 Características de saída do tacômetro.

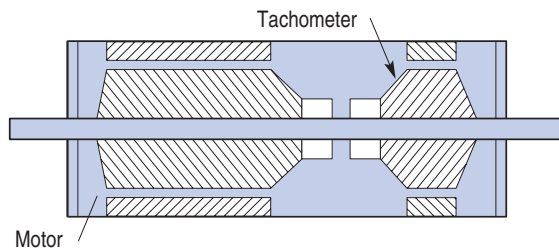


Fig. 5.2 Motor com tacômetro integral.

Encoders Óticos

Em sistemas de servo controle, onde a posição mecânica deve ser controlada, alguns tipos de sensores de posição são necessários. Há vários tipos em uso: magnéticos, de contato, resistivos e óticos. Contudo, para um controle de posição preciso, o mais freqüentemente usado é o encoder ótico. Esse encoder tem duas formas - absoluto e incremental.

Os encoders óticos operam através de um defrator que se move entre uma fonte de luz e um detetor. Quando a luz passa pelas áreas transparentes do defrator, o detetor produz um sinal visual. Para maior resolução, a fonte de luz é colimada e uma máscara é colocada entre o defrator e o detetor. O defrator e a máscara produzem um efeito de fechamento,

de forma que somente quando suas seções transparentes estão alinhadas a luz pode passar pelo detetor. (Fig. 5.3).

Um **encoder incremental** gera um pulso para um dado incremento de rotação do eixo (encoder rotativo), ou um pulso para uma dada distância linear percorrida (encoder linear). A rotação angular total ou distância percorrida é determinada pela contagem dos pulsos de saída do encoder.

Um **encoder absoluto** tem vários canais de saída, de forma que cada posição do eixo possa ser descrita por seu código único. Quanto mais alta a resolução mais canais de saída são necessários. Um encoder absoluto, portanto, mede a posição, enquanto que um encoder incremental mede a distância percorrida.

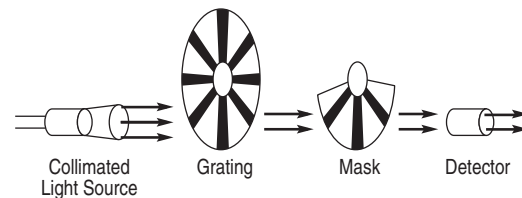


Fig. 5.3 Princípio do encoder ótico.

Princípios Básicos dos Encoders Incrementais

Como o custo é um fator importante na maioria das aplicações industriais, e o retorno a um ponto inicial depois de uma falta de energia não é problema, o encoder incremental rotativo é o preferido pelos projetistas de sistemas. Seu elemento principal é um disco montado no eixo que transporta um defrator que roda entre uma fonte de luz e um detetor com máscara. A fonte de luz é normalmente um diodo emissor de luz, e o detetor pode ser um fototransistor, um fotodiodo ou um conjunto de fotodiodos.

Um encoder de dois canais, além de dar a posição do eixo de decodificação, também pode fornecer informações sobre a direção da rotação através do exame dos sinais para identificar o canal principal. Isso é possível pois os canais são dispostos em quadratura (fase de 90° comutada: Fig. 5.4).

Para a maioria das aplicações de posicionamento ou máquina-ferramenta, um terceiro canal conhecido como canal indexador ou canal Z também é incluído. Ele gera um único pulso de saída por revolução e é usado para estabelecer a posição de referência ou posição zero da máquina.

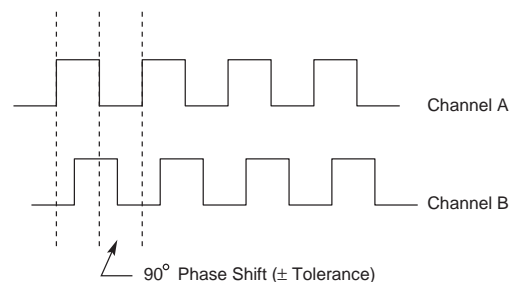


Fig. 5.4 Sinais de saída de quadratura.

A Fig. 5.4 mostra que para cada período de onda quadrado completo do canal A, entre os dois canais haverá quatro bordas de pulso. Isso permite que a resolução do encoder seja quadruplicada processando-se as saídas de A e B para produzir um pulso separado para cada borda de pulso quadrado.

Contudo, para que esse processo seja eficiente, é importante que a quadratura seja mantida dentro da tolerância permitida para que os pulsos não colidam. Os encoders de saída de ondas quadradas estão disponíveis numa ampla variedade de resoluções (de até cerca de 5000 linhas/rot), e com uma variedade de configurações de saída diferentes, algumas das quais estão listadas abaixo.

TTL (Lógica Transistor-Transistor) - é uma saída comum, compatível com níveis de lógica TTL, e normalmente exigem tensão de 5V. As saídas em TTL também estão disponíveis numa configuração de coletor aberto que permite que o projetista dos sistemas escolha entre uma variedade de valores de resistor *pull-up*.

CMOS (Semicondutor Complementar Óxido-Metálico) - disponível para compatibilidade com níveis lógicos mais altos, normalmente usado juntamente com dispositivos CMOS.

Drive de Linha - nesse arranjo, duas saídas derivadas de cada canal fornecem um par de sinais em antifase um com o outro. Isso permite máxima imunidade à interferência.

Problemas com Ruído

O sistema de controle de uma máquina é normalmente protegido com uma caixa metálica. Um encoder pode ser protegido de forma similar, com uma caixa de metal. Contudo, a menos que sejam tomadas as precauções cabíveis, o cabo que conecta os dois pode ser uma fonte de ruído. Esse cabo pode ter comprimento significativo e passar perto de dispositivos causadores de ruído. Esse ruído pode causar a perda ou ganho de contagens de sinal, gerando dados incorretos e perda de posição.

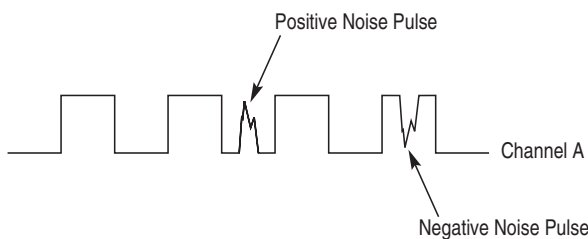


Fig. 5.5 Deturpação do sinal do encoder devido a ruído.

A Fig. 5.5 mostra como a introdução de dois pulsos de ruído converte uma seqüência de quatro pulsos numa de seis pulsos. Várias técnicas estão disponíveis para solução de problemas causados por ruído. A mais óbvia é usar cabos de conexão protegidos. Mas, como os sinais são gerados num nível baixo (5 volts) e podem ser gerados por fontes de alta impedância, revestir os cabos pode não eliminar completamente o problema.

A maneira mais eficaz de evitar problemas causados por ruído é usar um encoder com saídas complementares (Fig. 5.6) e conectá-lo ao sistema de controle através de um cabo

protegido e de par torcido. Os dois sinais são processados por um receptor diferencial, que rejeita os sinais de ruído comuns deixando o sinal necessário sem ruído.

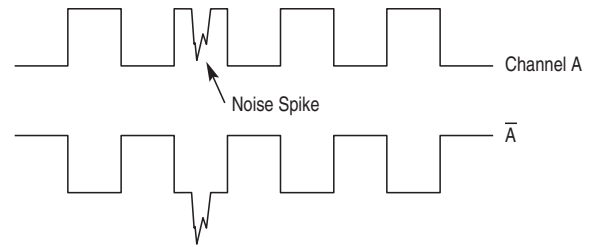


Fig. 5.6 Sinais de saída complementares.

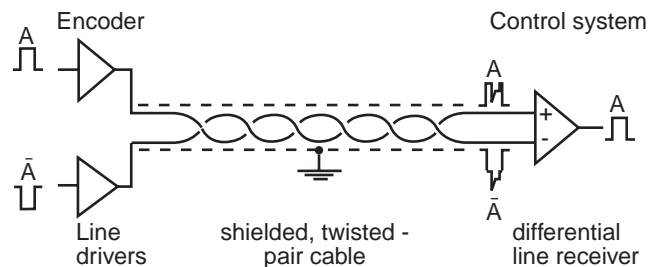


Fig. 5.7 Redução de ruído num sistema complementar.

Fatores que Afetam a Precisão do Encoder

Taxa Slew (velocidade) - Um encoder rotativo incremental terá frequência máxima na qual possa operar (tipicamente 100KHz), e a velocidade máxima de rotação (ou taxa slew) será determinada por essa frequência. Além disso, o sinal de saída irá se tornar não confiável e a precisão será afetada. Por exemplo, um encoder de 1000 linhas gera 1KHz a 1 rotação por segundo. Se a frequência de operação máxima for 100 KHz, a velocidade será limitada a 100 rotações/segundo (6000 rpm).

Se a rotação de um encoder tiver velocidades mais altas que a máxima especificada em projeto, não somente a precisão de posicionamento será ameaçada como também será criado o risco de dano mecânico aos componentes do encoder.

Erro de Quadratura - se dois canais de quadratura estão defasados de mais ou menos 90°, precisa detecção de borda será mais difícil em altas velocidades. Isto acontece porque bordas alternadas estão muito próximas, reduzindo assim o tempo disponível para separação do circuito decodificador. O efeito é introduzir uma limitação na taxa slew.

Erro de Quantificação - como o disco do encoder tem um número finito de linhas, o conhecimento da posição do sistema será preciso somente até um quarto da altura da linha (presumindo decodificação x4 dos sinais da quadratura).

Excentricidade causada por folga do mancal, disparo do eixo ou montagem incorreta pode causar vários erros inclusive modulação da frequência cíclica e vibração ("jitter") intercanais.

Considerações Ambientais

Como ruído elétrico, outros fatores ambientais devem ser considerados antes da instalação de um encoder ótico. É recomendável consultar as especificações do fabricante quanto à temperatura e umidade. Em ambientes onde há poeira, vapor de óleo ou outras substâncias potencialmente danosas, pode ser necessário garantir que o encoder seja mantido numa compartimento vedado.

Construção Mecânica

Encoder de Eixo (Fig. 5.8). Nesse tipo de encoder, que pode ser incremental ou absoluto, a parte eletrônica é normalmente apoiada numa placa que protege os mancais e eixo. O eixo sai dos mancais na parte externa do encoder, e transporta o disco rotativo na parte interna. As partes internas são cobertas por uma capa externa pela qual passam os contatos interconectores.

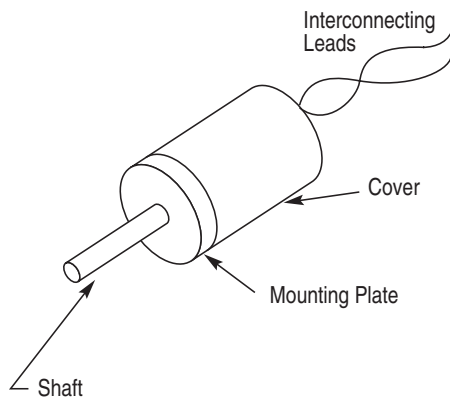


Fig. 5.8 Encoder de eixo.

Para uso em condições ambientais ou industriais extremas, toda a proteção deve ser especificada conforme um padrão para serviço pesado com mancais vedados e vedações entre a placa e a cobertura. As conexões elétricas externas também podem ser trazidas para fora por um conector de alta qualidade.

Kit Encoder ou Encoder Modular (Fig. 5.9). Estão disponíveis em várias formas, sendo sua principal vantagem o custo reduzido.

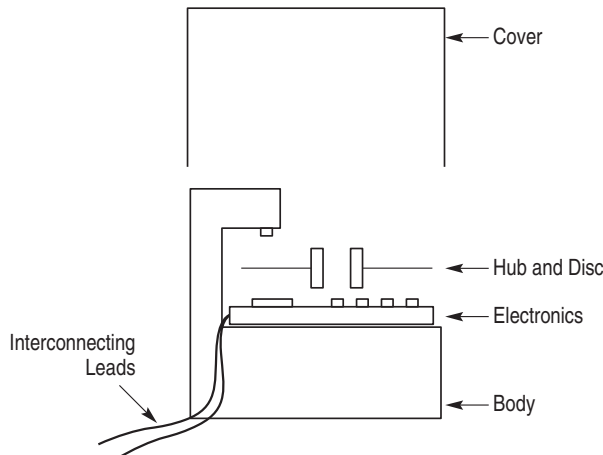


Fig. 5.9 Encoder modular.

Como muitos servo-motores têm eixo de extremidade dupla, é simples conectar um kit encoder à traseira do motor. O kit encoder é normalmente menos robusto que o encoder eixo, mas isso não é problema se os componentes do encoder forem adequadamente protegidos. Muitos servo-motores incorporam um compartimento separado para o encoder dentro do próprio motor.

Encoder linear. Um encoder linear é usado quando é necessário fazer uma medição direta do movimento linear. Ele é composto de uma escala linear (que pode ter de uns poucos milímetros a 1 metro ou mais de comprimento) e um cabeçote leitor. Ele pode ser absoluto ou incremental e a resolução é expressa em linhas por unidade de comprimento (normalmente linhas/mm). Como o encoder linear mede a distância percorrida do elemento móvel diretamente, os efeitos de erros de *leadscrew* são eliminados.

Princípios Básicos dos Encoders Absolutos

Um encoder absoluto é um dispositivo de medição de posição que oferece uma informação de posição única para cada localização do eixo. A localização é independente de todas as outras, ao contrário do que acontece com encoder incremental, em que a posição é determinada pela soma da distância percorrida a partir de uma posição de referência.



Fig. 5.10 Disco absoluto.



Fig. 5.11 Disco incremental.

Ao contrário do encoder incremental com sua rota básica única, um encoder absoluto tem várias rotas concêntricas. Cada rota tem uma fonte de luz independente. Como a luz passa por uma abertura, um estado alto ("1") é criado. Se a luz não passa pelo disco, o resultado é um estado baixo ("0"). A posição do eixo pode ser identificada através do padrão de 1's e 0's.

As rotas de um encoder absoluto variam quanto ao tamanho das aberturas, indo das menores na borda externa para as maiores em direção ao centro. O padrão de abertura também é alternado com relação às rotas anteriores e posteriores. O número de rotas determina a quantidade de informações de posição que podem ser obtidas com o encoder - a resolução. Por exemplo, se o disco tem 10 rotas, a resolução do encoder seria de 210 ou 1.024 posições por rotação. Para confiabilidade, é desejável usar um disco feito de metal ao invés de vidro. Um disco de metal é mais robusto e tem inércia menor.

O padrão do disco de um encoder absoluto é um código de máquina, normalmente binário, *gray-code* ou uma variação deste código. O diagrama representa uma saída binária simples com quatro informações. A localização atual é equivalente ao número decimal 11. Indo para a direita a partir da posição atual, o próximo número decimal é 10 (1010 binário). Indo para a esquerda a partir da posição atual, a próxima posição seria 12 (1100).

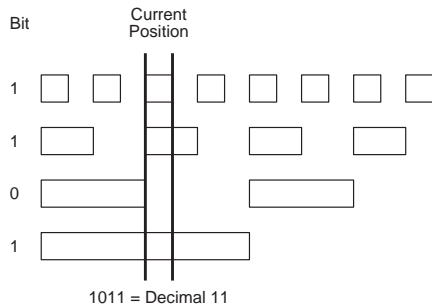


Fig. 5.12 Saída de encoder absoluto.

O *gray-code* é derivado de números binários, mas é arranjado de forma que somente uma parte mude de estado de cada vez. Isso evita ambigüidades durante os períodos de transição quando várias partes mudam de estado simultaneamente.

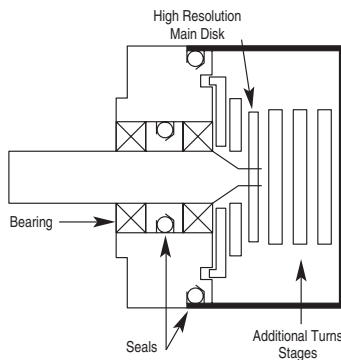


Fig. 5.13 Encoders absolutos multivoltas.

Conectar discos absolutos adicionais ao disco de alta resolução primário possibilita a contagem de voltas, de forma que uma informação de posição única fica disponível em várias rotações. Por exemplo, um encoder com resolução primária de 1024 contagens pode ser equipado para contar até 512 voltas com o acréscimo de três discos de baixa resolução. Isso possibilita a resolução de 524.288 posições. Os três discos de baixa resolução têm 3 rotas de informação

e cada uma é conectada à próxima, a uma razão de 8:1. O encoder tem então 19 canais de saída e exigirá 83 ou 512 voltas completas do eixo para cobrir todas as posições possíveis. Teoricamente, discos adicionais podem continuar a ser incorporados - na prática, a maioria dos encoders pára em 512 voltas ou abaixo disso. Os encoders que usam essa técnica são chamados de encoders absolutos multivoltas. A mesma técnica pode ser incorporada a um encoder linear de cremalheira e pinhão, resultando longas extensões de localizações absolutas.

Vantagens dos Encoders Absolutos

Encoders absolutos lineares e rotativos oferecem várias vantagens significativas na área industrial de controle de movimento e aplicações de controle de processos.

Nenhuma Perda de Posição Durante Falta de Energia

Um encoder absoluto não é um contador como um encoder incremental; como um sistema absoluto lê a posição real do eixo, a falta de energia não faz com que o encoder perca a informação de posição. Assim que o fornecimento de energia é restaurado a um sistema absoluto, ele pode ler a posição atual imediatamente. Isso pode ser importante em aplicações em que um retorno à posição inicial após falta de energia não é possível. Um robô de solda operando dentro do corpo de um carro é um exemplo óbvio - é impossível determinar como retrair com segurança sem saber a posição atual.

Operação em Ambientes Eletricamente Poluídos

Equipamentos como soldadores e *soft starts* normalmente geram ruído elétrico que pode parecer pulsos de um encoder para um contador incremental. O ruído elétrico pode afetar uma posição absoluta individual, mas não causará um erro permanente.

Aplicação de Alta Velocidade

O dispositivo contador é freqüentemente o fator que limita o uso de encoders incrementais em aplicações de alta velocidade. O contador é freqüentemente limitado a uma freqüência de pulso máxima de 100 KHz. Um encoder absoluto não exige um contador ou observação contínua do eixo ou localização da carga. Esse atributo permite que um encoder absoluto seja usado em aplicações de alta velocidade e alta resolução.

Resolvers

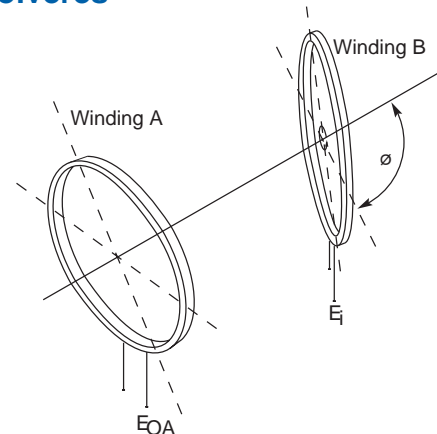


Fig. 5.14 Princípio do resolver.

Um resolver é, em princípio, um transformador rotativo.

Se considerarmos dois enrolamentos, A e B (Fig. 5.14), e se fornecermos ao enrolamento B uma tensão senoidal, uma tensão será induzida no enrolamento A. Se girarmos o enrolamento B, a tensão induzida será máxima quando os planos de A e B forem paralelos e será mínima quando estiverem em ângulo reto. A tensão induzida em A também irá variar sinusoidalmente com o ângulo de B, de forma que $E_{OA} = E_i \text{ Sen}\phi$. Se introduzirmos um terceiro enrolamento (C) em ângulo reto com o enrolamento A, quando girarmos o enrolamento B, uma tensão será induzida nesse enrolamento e variará como o cosseno do ângulo ϕ , de forma que $E_{OC} = E_i \text{ Cos}\phi$.

Na Fig. 5.15 podemos ver que se pudermos medir as amplitudes relativas das saídas dos enrolamentos A & C num dado ponto do ciclo, essas duas saídas serão únicas a essa posição.

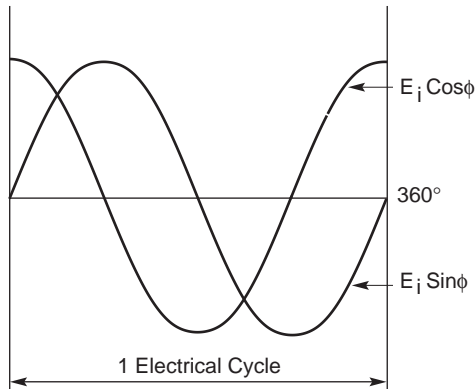


Fig. 5.15 Saída do resolver.

Para uso com sistema de posicionamento digital, a saída da informação das duas fases será normalmente convertida de analógica para digital através de um conversor resolver-para-digital (Fig. 5.16). As resoluções de até 65.536 contagens por rotação são típicas. Além da informação de posição, a informação de velocidade e direção também pode ser obtida.

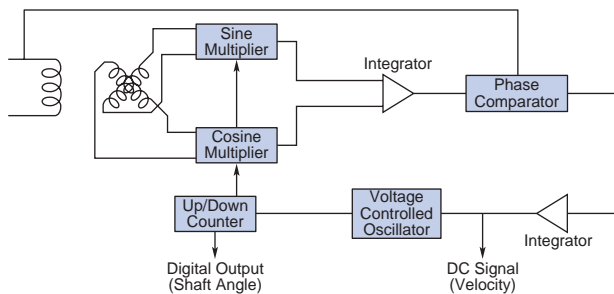


Fig. 5.16 Conversor resolver-para-digital.

Como um encoder absoluto de volta única, o resolver de velocidade única normal é um dispositivo de informação de posição absoluta numa rotação. (Há também Resolvers com mais ciclos elétricos por rotação, por exemplo um resolver de duas velocidades tem dois ciclos por rotação).

A tensão de excitação E1 pode ser combinada ao enrolamento de rotação por anéis deslizantes e escovas, mas mais freqüentemente um arranjo sem escovas é usado no qual a tensão de excitação é indutivamente combinado ao enrolamento do rotor (Fig. 5.17).

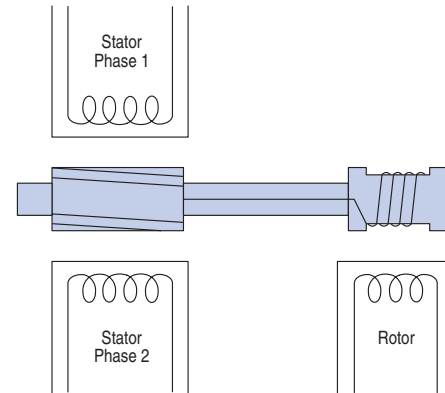


Fig. 5.17 Resolver brushless.

Uma Comparação Entre as Tecnologias de Motor de Passo e Servomotor

Os motores de passo, motores DC com escova e servo motores brushless têm suas vantagens e desvantagens. Nenhuma tecnologia é ideal para todas as aplicações, apesar do que possam alegar alguns fabricantes. Este capítulo analisa os méritos relativos de cada tecnologia e lista as aplicações mais apropriadas para cada uma delas.

Vantagens do Motor de Passo

Solução de Custo mais Baixo

Um motor de passo será sempre a solução mais barata. Se um motor de passo executar o trabalho, fique com ele.

Nenhuma Manutenção

Não há escovas que necessitem de checagem ou substituição periódica.

Poucas Restrições Ambientais

Um motor de passo pode ser usado em praticamente qualquer ambiente, incluindo vácuo. Magnetos especiais podem ser necessários se houver grandes campos magnéticos por perto, como câmaras de evaporação. Observe a dissipação no vácuo (não há resfriamento de convecção).

Livre de Defeitos

Qualquer falha no motor impede o movimento, pois a corrente deve ser continuamente comutada para que haja rotação contínua. Um motor com escovas é comutado internamente e pode operar indefinidamente se corrente contínua for aplicada. Não é facilmente desmagnetizado por excesso de corrente. Devido aos planos perpendiculares de magnetos permanentes e rotas de fluxo alternadas.

Controlador Pode ser Compartilhado

Em sistemas multi-eixos quando somente um motor precisa operar num dado momento. Isso é útil na determinação de tipos de aplicação como máquinas de impressão. Os servo motores precisam de um controlador de posição em tempo integral até mesmo para manter o eixo estacionário.

Estável Quando Parado

Com a corrente contínua fluindo nos enrolamentos o rotor permanece completamente estacionário. Não há tendência de vibração ("jitter") ao redor do encoder ou posição do resolver. Isso é útil em aplicações como estações microscópicas. Pode ser parado indefinidamente sem danos. Não há aumento na corrente do motor como resultado de uma parada brusca, e portanto não há risco para o motor e o risco de danos mecânicos é mínimo.

Alto Torque Contínuo em Relação ao Tamanho

Comparado a um servo motor de mesmo tamanho, um motor de passo pode produzir mais torque contínuo em baixas velocidades.

Somente 4 Contatos são Necessários

Isso minimiza o custo instalado, o que é particularmente importante em aplicações em que as conexões são caras (como em câmaras de vácuo).

Desvantagem do Motor de Passo

Ruído, Ressonância e Baixa Suavidade em Baixas Velocidades

São críticas geralmente dirigidas a motores de passo completo. Esses problemas podem ser quase totalmente resolvidos com o uso de um motor de resolução mais alta.

Perda de Posição não Detectada em Malha Aberta

Isso só deveria ocorrer em situações de sobrecarga e em muitas aplicações os problemas causados são poucos. Quando a perda de posição não puder deixar de ser detectada, um encoder de verificação pode ser acoplado, resultando num sistema muito seguro (o encoder não é necessário para o posicionamento, somente para confirmação).

Consome Corrente Quando Parado

Como é necessária corrente para produzir torque estável, isso aumenta o calor do motor quando parado. Barulhento em altas velocidades - o rotor de 50 pólos tem frequência magnética de 2,5kHz a 3000 rpm. Restrições magnéticas causam um som alto correspondente.

Excessiva perda Eletromagnética em Altas Velocidades

Mais uma vez devido à alta contagem de pólos, perdas de corrente são maiores que num servo motor. Um motor de passo é portanto não recomendável para operação contínua em velocidades superiores a 2000 rpm.

Vantagens dos Motores DC com Escova

Baixo Custo

Os servo motores com escova são bem desenvolvidos e baratos para produzir.

Rotação Suave em Baixas Velocidades

Há motores especialmente projetados para suavidade em baixas velocidades com alto número de segmentos comutadores.

Drive de Baixo Custo

Um drive para motor DC com escova pode ser produzido com custos muito baixos pois somente um único circuito ponte é necessário.

Não Consome Energia Quando Parado

Sem cargas estáticas no motor, não é necessária corrente para a manutenção da posição.

Alto Pico de Torque Disponível

Em aplicações intermitentes, particularmente quando posicionando cargas principalmente inerciais, o motor pode ser levado além de sua faixa contínua.

Curva Chata de Torque-velocidade

Oferece desempenho máximo com aumentos de aceleração lineares gerados facilmente.

Grande Variedade Disponível

Os motores DC são produzidos em vários estilos incluindo tipos com inércia muito baixa para aplicações altamente dinâmicas.

Alta Velocidade

Os motores DC com escova são bons para velocidades de até 5000 rpm.

Desvantagens dos Motores DC com Escovas

Manutenção das Escovas

Não necessariamente um problema se o motor for facilmente acessível, mas complicado se o motor não for acessível.

Problemas em Ambientes de Risco ou Vácuo

Ventilação nas escovas é fundamental para sua operação.

Limitações do Comutador

Ciclos árduos causam desgaste, e a comutação mecânica limita a velocidade. Movimentos repetitivos muito curtos, de menos de uma rotação do motor, podem desgastar parte do comutador.

Baixo Desempenho Térmico

Todo o calor é gerado no rotor, de onde a rota térmica para o revestimento externo é muito ineficiente.

Pode ser Desmagnetizado

Excesso de corrente pode causar a desmagnetização parcial do motor.

Custo Instalado Maior

O custo instalado de um servo sistema é maior que o de um motor de passo devido à necessidade de componentes de feedback.

Benefícios dos Servomotores Brushless

Vantagens de Desempenho

Todas as vantagens listadas para motores DC com escova são aplicáveis aos servomotores brushless.

Nenhuma Manutenção

A ausência de comutador e sistema de escova elimina a necessidade de manutenção periódica.

Bom Desempenho Térmico

Todo o calor é gerado no estator, onde pode ser eficientemente combinado ao revestimento externo.

Possibilidade de Velocidades Muito Altas

Não há comutador mecânico que imponha um limite de velocidade, e motores pequenos são normalmente classificados para velocidades de até 12.000 rpm.

Praticamente Nenhuma Restrição Ambiental

Devido à ausência de engrenagem para escova, um servo motor sem escovas pode ser usado em praticamente qualquer ambiente. Para operação em altas temperaturas, o uso de um resfriador evita danos aos sistemas eletrônicos do motor.

Desvantagens do Servomotor Brushless

Custo Mais Alto do Motor

Deve-se o custo mais alto ao uso de ímãs raros.

Drive Mais Complexo e Caro

Drives trapezoidais não são muito mais caros do que os para motores DC, porém o senoidal é muito mais complexo.

Qual Tecnologia Usar

Este item dá idéia das aplicações que são particularmente apropriadas para cada tipo de motor, e também certas aplicações que é melhor evitar. Deve-se enfatizar que há uma ampla variedade de aplicações que podem ser igualmente atendidas por mais de um tipo de motor, e a escolha será freqüentemente determinada pela preferência, experiência anterior ou compatibilidade com equipamento existente.

Com a crescente demanda por motores inteligentes, o diferencial de custo real entre servo motores com escova e sem escova está diminuindo. Na maioria das novas aplicações a escolha é, portanto, entre o motor de passo e o servo motor brushless.

Para aplicações em que o **custo é fator importante** vale sempre a pena tentar um motor de passo, pois ele geralmente pode ser vencido em termos de custo. Isso é particularmente válido quando as exigências dinâmicas não são severas, como aplicações de "definição", como ajustes periódicos em máquinas de impressão.

Aplicações contínuas de **alto torque e baixa velocidade** são apropriadas para servo motores de acionamento direto (direct drive) e também para motores de passo. Em baixas velocidades o motor de passo é muito eficiente em termos de torque relativo a tamanho e energia de entrada. Um exemplo típico seria uma bomba medidora para controle de fluxo preciso.

Aplicações contínuas de **alto torque e alta velocidade** são adequadas para um servo motor e, na verdade, um motor de passo deve ser evitado em tais aplicações, pois as perdas em altas velocidades podem levar a aquecimento excessivo do motor. Um motor de corrente contínua pode oferecer mais potência contínua do eixo em altas velocidades do que um motor de passo de mesmo tamanho.

Movimentos repetitivos, rápidos e curtos podem exigir o uso de um servo motor se houver exigência de alta dinâmica. Contudo, um motor de passo pode oferecer uma solução mais econômica quando as exigências forem mais modestas.

Aplicações de posicionamento em que a carga é fundamentalmente inercial e não de fricção são adequadamente servidas por um servo motor. A capacidade de fazer um servo motor ir além das definições em trabalho intermitente permite que um motor menor seja usado quando a exigência de torque só ocorre durante aceleração e desaceleração.

Aplicações muito árduas com ciclo de alta dinâmica ou que exijam velocidades muito altas normalmente exigem um servo motor brushless.

Aplicações de baixa velocidade e alta suavidade são adequadas para um sistema de micropasso ou *direct drive*.

Para **aplicações em ambientes de risco** normalmente não se pode usar um motor DC com escovas. Dependendo das exigências de carga, use um motor de passo ou servo motor brushless. Lembre-se de que a dissipação de calor pode ser um problema no vácuo.

Cálculos de Torque e Inércia

O primeiro passo para dimensionar um sistema de posicionamento é calcular as necessidades de torque e velocidade da carga. A velocidade é normalmente determinada pela taxa de produção exigida, embora valha a pena ler as notas neste capítulo sobre a relação entre potência do eixo e o tempo de movimento - mesmo pequenas concessões nos tempos de movimento podem ter efeito significativo na potência necessária do motor. Estabelecer as necessidades de torque normalmente exige alguns cálculos, dependendo da natureza da carga e do movimento necessário. A Parker tem um programa de dimensionamento para essa finalidade que simplifica bastante o processo e faz a recomendação do melhor pacote de motor para uma dada aplicação. Contudo, iremos analisar os princípios básicos do cálculo manual já que ele pode ser aplicado em qualquer situação.

Componentes do Torque de Carga

Num típico sistema de posicionamento, o motor deve desempenhar duas tarefas distintas - acelerar e desacelerar os componentes mecânicos, e superar a fricção no sistema. Ambas as tarefas exigem torque do motor, mas cada uma depende de propriedades mecânicas totalmente diferentes.

Calculando o Momento Inercial

O torque de aceleração/desaceleração depende somente de dois parâmetros - o momento inercial do sistema todo, incluindo o motor, e a taxa de aceleração exigida. Ao passo que a fricção é resistência ao movimento, o momento inercial pode ser descrito como resistência às alterações na velocidade (aceleração ou desaceleração). É uma propriedade de qualquer componente mecânico, e depende principalmente do peso; mas no caso de componentes rotativos depende da forma também. Com partes circulares ou cilíndricas como eixos e polias, o material mais distante do eixo de rotação tem um efeito muito maior na inércia que o material próximo do centro. Um volante, por exemplo, que é deliberadamente projetado para ter alta inércia de forma a minimizar as mudanças de velocidade causadas por flutuações no torque do motor, tem a massa concentrada perto das bordas. Se tivesse espessura uniforme, teria inércia mais baixa para o mesmo peso.

Em sistemas de posicionamento de alta velocidade é essencial manter a inércia total no mínimo. Talvez não seja preciso dizer que deve-se concentrar nos componentes que mais contribuem para a inércia total, mas nem sempre é óbvio quais são esses componentes. Em muitos sistemas de parafuso guia, por exemplo, o próprio parafuso é o componente inercial dominante e não a carga sendo movida (ver exemplo a seguir).

Componentes Rotativos

Para calcular o momento inercial dos componentes rotativos num sistema mecânico, precisamos conhecer seu formato e peso. Felizmente a maioria desses componentes, como eixos, parafusos guia, engates e engrenagens aproximam-se de formas cilíndricas simples. E como são normalmente feitos de aço ou alumínio, podemos usar uma fórmula simples baseada somente nas dimensões. Veja como calcular a inércia desses componentes:

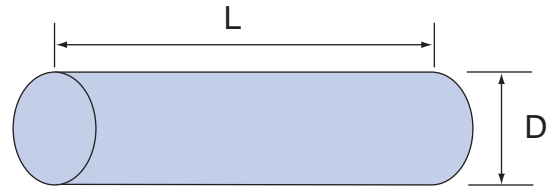


Fig. 7.1 Componentes cilíndricos rotativos.

Quando o componente é feito de aço:

$$J = 761 \times D^4 \times L \quad (J \text{ em Kg.m}^2, D \text{ e } L \text{ em metros})$$

Para alumínio:

$$J = 261 \times D^4 \times L \quad (J \text{ em Kg.m}^2, D \text{ e } L \text{ em metros})$$

Quando o peso é conhecido (ou pode ser calculado):

$$J = WD^2 \div 8 \quad (J \text{ em Kg.m}^2, W \text{ em Kg, } D \text{ em metros})$$

(Observe que quando o comprimento é dobrado, dobra-se a inércia; mas se o diâmetro for dobrado, a inércia aumenta 16 vezes).

Componentes que Movem-se em Linha Reta

Mesas e suportes móveis normalmente são impulsionados por uma correia e sistema de polias ou por parafuso.

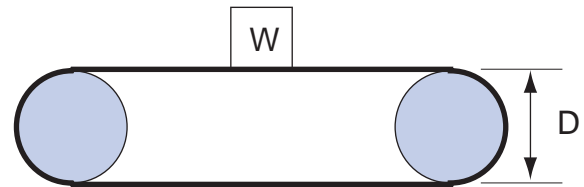


Fig. 7.2 Sistema movido por correia.

Para um sistema movido por correia ou corrente:

Inércia equivalente do peso W:

$$J_w = WD^2 \div 4 \quad (J \text{ em Kg.m}^2, W \text{ em Kg, } D \text{ em metros})$$

Se a correia ou corrente tiver peso significativo, acrescente-o ao da parte móvel antes do cálculo. Lembre-se de somar a inércia de ambas as polias (calcular como cilindro).

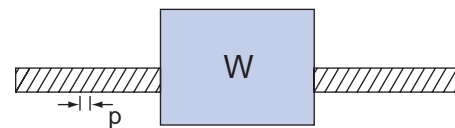


Fig. 7.3 Sistema de parafuso.

Para um sistema de parafuso:

Inércia equivalente do peso W:

$$J_w = Wp^2 \div (4 \times 107) \quad (J \text{ em Kg.m}^2, W \text{ em Kg, } p = \text{distância linear percorrida/ giro em mm})$$

Lembre-se de somar a inércia do parafuso guia, mais uma vez calculada como de cilindro.

Lidando com Torque de Atrito

Diferentemente do torque de aceleração, o torque de fricção é raramente fácil de ser calculado. Ele pode ser extremamente variável, dependendo de fatores como lubrificação e o grau de pré-carga do mancal. Tabelas de posicionamento normalmente têm um torque sem carga ou de liberação especificado que um útil ponto de partida. Com sistemas maiores ou montagens customizadas é bom medir o torque de fricção, deixando uma margem para variações durante a operação e entre um sistema e outro. Use uma chave de torque se possível, ou enrole uma rosca em torno de uma polia ou eixo usando uma mola para medir a força necessária para fazê-lo girar. O torque de fricção é então:

$$T = WD \times 4.9 \quad (T \text{ em Nm, } W \text{ é o contrapeso em Kg, } D \text{ é o diâmetro da polia em metros)}$$

Para um fuso acme, pode-se calcular o torque necessário para superar uma força linear agindo no suporte móvel (pode ser fricção ou outro tipo de carga de impulso).

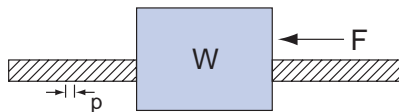


Fig. 7.4 Fuso acme com atrito.

Torque devido à força linear F:

$$T = Fp \div 6284e$$

(T em Nm, F em Newtons, p é a distância linear por volta em mm, e é a eficiência do parafuso, ex: 0,8)

Para um sistema de correia ou corrente, a fórmula equivalente é:

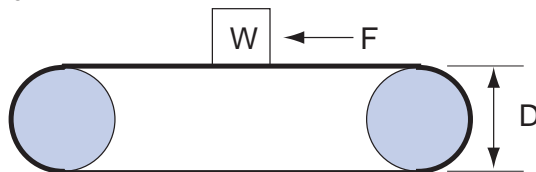


Fig. 7.5 Sistema de correia com atrito.

Torque devido à força linear F:

$$T = FD \div 2 \quad (T \text{ em Nm, } F \text{ em Newtons, } D \text{ em metros)}$$

Se a carga move-se verticalmente, a força linear F devida à gravidade é:

$$F = 9,8W \quad (F \text{ em Newtons, } W \text{ em Kg})$$

O Efeito de Um Sistema de Redução

Introduzir um sistema de redução por engrenagem ou correia dentada entre o motor e a carga pode ser uma técnica útil porque a inércia da carga refletida é reduzida pelo quadrado da razão do fator de redução. Isso pode ajudar a igualar a carga inercial à inércia do motor, e no caso de sistemas de fuso pode às vezes ser usada para melhorar o desempenho dinâmico ou reduzir a necessidade de torque (ver exemplo mais tarde).

Para um sistema de redução com razão N e eficiência e:

$$\text{Torque de saída} = \text{torque de entrada} \times Ne$$

$$\text{Inércia no eixo de entrada} = \text{inércia da carga} \div N^2$$

Cálculo do Torque de Aceleração

Quando a inércia total do sistema tiver sido determinada, o torque de aceleração necessário é o produto da inércia e da taxa de aceleração:

$$T = J \times \text{rot/Seg}^2 \times 2\pi \quad (T \text{ em Nm, } J \text{ em Kg.m}^2)$$

O torque necessário para superar a fricção ou outras cargas estáticas deve ser adicionado para que se obtenha o torque total necessário.

Calculando a Potência do Eixo

Quando um motor adequado tiver sido selecionado, vale a pena calcular o pico de potência exigido pela carga e compará-lo com o pico de potência disponível no motor. Isso confirmará que o dimensionamento é realista e pode ajudar a evitar uma solução ineficiente em que o motor produza somente uma fração de sua potencial potência de saída, normalmente girando em baixas velocidades.

Potência é o produto de torque e velocidade:

Potência do eixo:

$$W = T \times \text{rot/seg} \times 2\pi \quad (W \text{ em watts, } T \text{ em Nm})$$

Usando um perfil de movimento trapezoidal típico, o pico de potência necessário exigido pela carga é o produto de torque e velocidade no final da aceleração ou início da desaceleração. O pico de potência disponível num motor de passo é aproximadamente quando o torque cai para 50% de seu valor de baixa velocidade. O pico de potência dos servo motores fica na quina da curva de pico de torque.

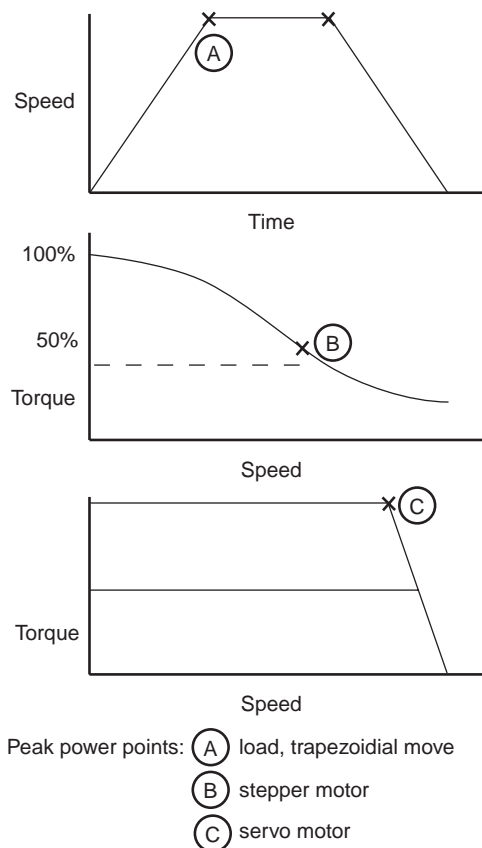


Fig. 7.6 Pontos de pico de potência.

O pico de potência da carga deve sempre ser menor que o pico de potência disponível no motor (não mais que 70% no caso de um motor de passo). O torque e a velocidade podem ser trocados mudando a razão de impulso, mas a potência nunca pode ser aumentada.

Perfis de Movimento

O dimensionamento do motor para aplicações de alta velocidade é frequentemente baseado em perfis trapezoidais de "terços iguais", nos quais a aceleração, movimento de velocidade constante e desaceleração ocupam cada um um terço do tempo de movimento.

Esse perfil exige o pico de potência mais baixo durante o movimento; um perfil triangular, ou um que tenha um segmento de velocidade constante mais longo, exigirá pico de potência do eixo maior para o mesmo tempo de movimento e distância.

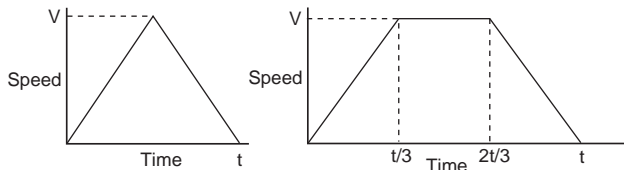


Fig. 7.7 Perfis triangulares e trapezoidais.

É simples calcular esse perfil máximo em que a distância do movimento é fixa, como no indexamento repetitivo de uma máquina embaladora, por exemplo. A exceção é o caso em que isso resultaria numa velocidade máxima excessiva, caso no qual um segmento de velocidade constante mais longo será necessário.

Contudo, em muitas aplicações de posicionamento a distância do movimento é variável, e o perfil só pode ser otimizado para uma distância específica (não é normal mudar a aceleração e a velocidade quando a distância do movimento varia). Movimentos mais curtos que a distância especificada resultam num segmento de velocidade constante mais curto ou perfil triangular; movimentos mais longos simplesmente estendem o segmento de velocidade constante. Em ambos os casos não há aumento no pico de potência se os valores de velocidade e aceleração não forem mudados.

A seguinte comparação mostra a velocidade máxima relativa, taxa de aceleração e pico de potência para perfis triangulares de trapezoidais de terços iguais para um movimento de D rotações no tempo de t segundos.

	Triangular	Trapezoidal	Variação trap/tri.
Velocidade Máxima	2D/t	5D/t	75%
Taxa de Aceleração	4D/t ²	4,5D/t ²	112,5%
Pico de Potência	Jx8D ² /t ³	Jx6,75D ² /t ³	84%

Exemplo de Aplicação

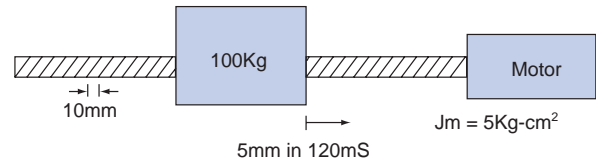


Fig. 7.8 Exemplo de sistema com fuso acme.

Uma mesa que pesa 100Kg é movimentada por um fuso acme de aço de 40mm de diâmetro e um metro de comprimento com passo do fuso de 10mm. A carga precisa mover-se 5mm em 120mS. O motor tem inércia do rotor de 5 Kg-cm², e a fricção é desprezível. Usando um perfil de movimento de terços iguais, quanto torque será necessário?

Inércia refletida da mesa

$$J_w = 100 \times 10^2 \div 4 \times 107 = 250 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2$$

Inércia do parafuso (cilindro de aço)

$$J_s = 761 \times (0,04)^4 \times 1 = 1900 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2$$

Inércia do motor (5 Kg-cm²)

(lembre-se 1 Kg-m² = 10⁴ Kg-cm²)

$$J_m = 500 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2$$

Inércia total

$$J_t = 2650 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2$$

Taxa de aceleração (distância = 0,5 rot.)

$$A = 4,5 \times 0,5 \div 0,12^2 = 156 \text{ rot/Seg}^2$$

Torque de aceleração

$$T = 2650 \times 10^{-6} \times 156 \times 2\pi = 2,6 \text{ Nm}$$

Como o torque seria afetado se a eficiência do fuso for somente 70%?

A eficiência reduzida somente afetará o torque necessário para acelerar a massa da mesa, pois o fuso propriamente dito é diretamente conectado. Contudo, a eficiência reduzida do fuso normalmente implica torque de fricção na porca também.

Proporção de inércia da mesa

$$= 250 \div 2650 = 0,094$$

Torque para acelerar massa da mesa

$$= 2,6 \times 0,094 = 0,24 \text{ Nm}$$

Novo valor com 70% de eficiência

$$= 0,24 \div 0,7 = 0,34 \text{ Nm}$$

Aumento do torque

$$= 0,1 \text{ Nm}$$

Nova demanda de torque total

$$T = 2,7 \text{ Nm}$$

O que acontece se os rolamentos que movem a mesa tiverem coeficiente de atrito de 0,2 (usando o fuso com 70% de eficiência)?

$$\begin{aligned} \text{Força gravitacional devida à massa da mesa} \\ &= 100 \times 9,81 \\ &= 981 \text{ Newtons} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Força de fricção } (\mu = 0,1) \\ \mathbf{F} &= 981 \times 0,2 \\ &= 196 \text{ Newtons} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Torque para superar essa força} \\ \mathbf{T} &= 196 \times 10 \div 6284 \times 0,7 \\ &= 0,44 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nova demanda de torque} \\ \mathbf{T} &= 3,14 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Quais valores de aceleração e velocidade precisariam ser programados?

$$\begin{aligned} \text{Taxa de aceleração (acima)} \\ \mathbf{A} &= 156 \text{ rot/seg}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Velocidade} \\ \mathbf{V} &= 1,5 \times 0,5 \div 0,12 \end{aligned}$$

Voltando ao caso com fuso perfeito e nenhum atrito, qual seria a demanda de pico de potência?

$$\begin{aligned} \text{Pico de potência} \\ \mathbf{W} &= 2,6 \times 6,25 \times 2\pi \\ &= 102 \text{ watts} \end{aligned}$$

Qual o fator de inércia carga/rotor?

$$\begin{aligned} \text{Mesa + inércia do fuso} \\ \mathbf{J}_w + \mathbf{J}_s &= 2150 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inércia do motor} \\ \mathbf{J}_m &= 500 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fator de inércia} \\ &= 2150 \div 500 \\ &= 4,3:1 \end{aligned}$$

Se introduzirmos uma redução de 2:1 e dobrarmos o passo do fuso para 20 mm, o que acontece com a demanda de torque? (ignore a inércia do sistema de redução).

$$\begin{aligned} \text{Inércia refletida da mesa} \\ \mathbf{J}_w &= 100 \times 20^2 \div 4 \times 10^7 \\ &= 1000 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

A inércia do fuso será a mesma de antes. A inércia da mesa mais a do fuso será agora reduzida pelo quadrado da razão de redução.

$$\begin{aligned} \text{Inércia da mesa + fuso} \\ \mathbf{J}_w + \mathbf{J}_s &= 2900 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inércia refletida no motor} \\ &= 2900 \times 10^{-6} (4 \text{ Kg-m}^2) \\ &= 725 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nova inércia total (acrescentada ao motor)} \\ \mathbf{J}^t &= 1225 \times 10^{-6} \text{ Kg-m}^2 \end{aligned}$$

A velocidade máxima, a taxa de aceleração e a distância percorrida pelo motor permanecem as mesmas.

$$\begin{aligned} \text{Nova demanda de torque} \\ \mathbf{T} &= 1225 \times 10^{-6} \times 156 \times 2\pi \\ &= 1,23 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Qual é o novo fator de inércia carga/rotor?

$$\begin{aligned} \text{Novo fator de inércia} \\ &= 725 \div 500 \\ &= 1,45:1 \end{aligned}$$

Como o pico de potência é afetado?

$$\begin{aligned} \text{Novo pico de potência} \\ \mathbf{W} &= 1,23 \times 6,25 \times 2\pi \\ &= 48 \text{ watts} \end{aligned}$$

Esta é uma situação em que aumentando-se o passo do fuso e a introdução de um redutor resultaram em melhoria significativa. O fuso somente gira na metade de sua velocidade anterior devido ao aumento do passo, e o efeito de sua inércia é reduzido na razão da redução. O torque e potência do motor necessários foram ambos reduzidos em 50%, e o fator de inércia carga/motor é mais favorável.

Como a demanda de torque é então cerca de metade do que era antes, usando o mesmo motor podemos dobrar a taxa de aceleração e reduzir o tempo geral de movimento em 30%. Na prática, os componentes de redução também introduzem alguma inércia e atrito adicional.

Relação entre Potência do Eixo, Distância de Movimento e Tempo de Movimento

As expressões no item anterior mostraram que a velocidade máxima é proporcional a D/t , e a taxa de aceleração (portanto o torque) é proporcional a D/t^2 . A potência é o produto do torque e velocidade, e é portanto proporcional a D^2 e a $1/t^3$. Podemos concluir que movimentar duas vezes a distância no mesmo tempo exigiria 4 vezes a mesma potência do eixo, e movimentar a mesma distância na metade do tempo exigiria 8 vezes mais potência.

A potência máxima de um motor está relacionada a seu tamanho, e um motor capaz de oferecer 8 vezes a potência será muito maior. Ele terá também muito mais inércia, o que aumentará ainda mais a demanda de torque. Assim, na prática a potência adicional exigida para reduzir pela metade o tempo de movimentação pode ser até 50 vezes maior. Há duas importantes conclusões:

1. O tempo de movimento é um fator crítico na necessidade de potência do sistema. Economia significativa pode ser obtida reduzindo a exigência de tempo de movimento quando possível, e é sempre bom observar outros aspectos do ciclo de uma máquina para checar se outras economias podem ser obtidas.
2. Um sistema de posicionamento bem projetado não pode operar significativamente mais rapidamente que sua velocidade de projeto. Por exemplo, com um sistema que tenha margem de potência de 20%, só se pode esperar um corte de até 5% no tempo de movimento e fazendo com que tudo funcione no limite.

Cálculo de Torque RMS

Quando um servo motor é usado em aplicações intermitentes, é possível operar o motor em excesso em parte do ciclo operacional contanto que ele tenha tempo para esfriar depois. Uma taxa de intermitência típica é de até quatro vezes o torque contínuo e é normalmente limitada somente pela corrente disponível no drive. Contanto que o calor total produzido durante um ciclo de operação não seja maior que o produzido quando o motor opera de forma contínua em seu torque especificado, é seguro concluir que o motor não se superaquecerá.

A principal fonte de calor é a perda resistiva nos enrolamentos do motor, que é proporcional ao quadrado da corrente (lembre-se que $W = RI^2$). Como a corrente e o torque são diretamente relacionados (Constante de Torque), o calor gerado também é proporcional ao quadrado do torque. Por exemplo, com o dobro do torque haverá quatro vezes mais calor produzido. Portanto, não podemos calcular uma simples média aritmética do torque para calcular o calor total produzido durante o ciclo. Precisamos usar uma média da raiz quadrada (RMS-root-mean-square). A fórmula seria assim:

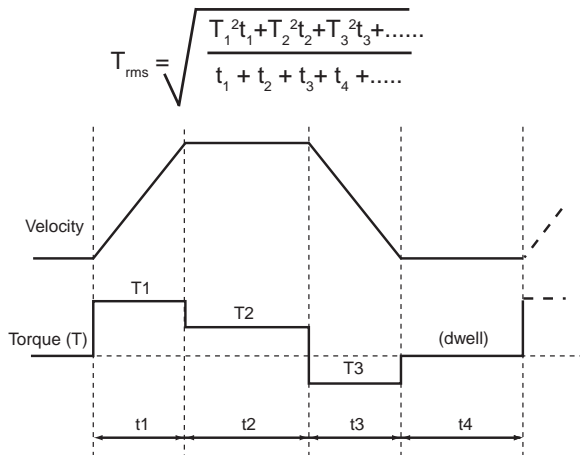


Fig. 7.9 Ciclo simples de máquina.

Tudo que fizemos aqui foi adicionar o calor produzido durante cada parte do ciclo, dividi-lo pelo tempo total e tirar a raiz quadrada para chegar a um torque contínuo equivalente.

O Que Acontece em Ciclos de Operação Muito Longos?

Se o torque exceder a taxa contínua por um período longo, é obviamente possível que o motor superaqueça durante esse tempo embora o torque RMS seja aceitável. Por exemplo, com o dobro do torque contínuo ficamos restritos a 25% do ciclo (quatro vezes mais calor em um quarto do tempo) Se for necessário torque por 1 segundo num ciclo de 4 segundos tudo fica bem - mas por uma hora em ciclos de quatro horas não é uma boa perspectiva, mesmo estando em 25% do ciclo. Então qual é o limite?

O limite se resume à Constante de Tempo Térmica do motor. Quando a corrente passa pelo motor, a temperatura aumenta exponencialmente. Quanto maior o motor mais lentamente a temperatura sobe. A constante de tempo térmica

é o tempo que se leva para atingir 63% da temperatura final; são necessárias três constantes para atingir aproximadamente 95% da temperatura final, e depois disso as coisas mudam bem lentamente. Para que nossos cálculos de calor RMS sejam válidos, é importante que o ciclo operacional completo seja curto em comparação com a constante de tempo térmica do motor - 10% é um bom número. Pode-se normalmente encontrar a constante de tempo térmica nos dados do motor, e ela normalmente varia de 30 minutos para um motor pequeno a 90 minutos para um grande. Um ciclo operacional de até 3 minutos é portanto aceitável na maioria dos casos. Na prática ele é um ciclo bastante longo, e isso não é um problema na maioria das aplicações.

Dimensionando Transformadores para Sistemas de Posicionamento

Motores de passo e servo motores alimentados por um transformador são normalmente especificados com um transformador padrão que será adequado para todas as aplicações práticas. Na verdade, isso significa que o transformador é sobre-especificado na maioria dos casos. Embora as quantidades envolvidas sejam pequenas, é melhor ter uma solução garantida que fazer grandes esforços de engenharia otimizando o projeto do transformador para economizar uma quantidade relativamente pequena de dinheiro.

Quando quantidades maiores estão envolvidas ou quando espaço é um fator a considerar, um projeto otimizado pode ser justificável. Mas a maioria dos sistemas de posicionamento envolvendo movimentos ponto-a-ponto podem ser difíceis de dimensionar porque a energia muda significativamente durante o ciclo operacional.

As exigências básicas para o transformador são:

1. Fornecer a energia média a longo prazo sem superaquecimento.
2. Fornecer o pico de demanda no curto prazo sem queda excessiva de tensão.

A demanda de energia média de longo prazo pode ser estimada quando os cálculos de torque RMS tiverem sido feitos.

Quando o transformador estiver fornecendo picos de energia maiores que a taxa contínua para períodos curtos (como 2 segundos ou menos), uma boa medida da taxa VA necessária será maior que o seguinte:

1. Pico de carga x $\sqrt{\text{duração do pico de carga/tempo total do ciclo}}$.
2. 70% do pico de carga.

Por exemplo, um pico de carga de 1000 VA para um total de 400ms a cada 1,2 segundos exigiria uma taxa do transformador de $1000 \times \sqrt{0,4/1,2} = 577VA$ (70% do pico de carga). Uma queda na tensão do barramento de corrente contínua causada pela regulação do transformador afetará o desempenho em alta velocidade. A maior queda

ocorrerá quando o sistema estiver fornecendo o máximo de energia, que coincide com a quina da curva de pico de torque. Isso tem o efeito de arredondar a curva de torque-velocidade de forma que fica impossível operar no ponto de quina. A maioria dos transformadores tem uma taxa de tensão secundária que é especificada na corrente com carga total. Isso pode resultar numa tensão sem carga inaceitavelmente alta num transformador com regulagem deficiente. Em transformadores da Parker a tensão secundária é especificada como valor de circuito aberto, garantindo que a tensão de barramento de corrente contínua sem carga não suba até um nível que possa danificar o motor. Uma redução na tensão do barramento com carga total afetará o desempenho em alta velocidade mas não representa ameaça ao motor.

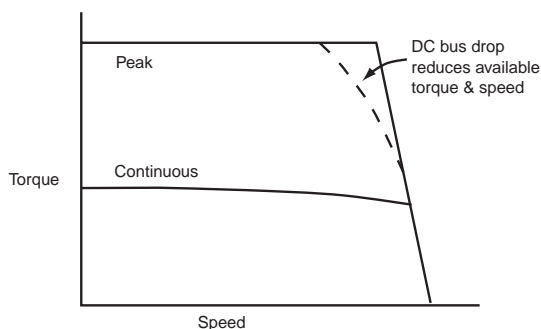


Fig. 7.10 Efeito da regulagem do transformador no desempenho de servo motores.

A regulagem típica de um transformador depende da taxa VA, mas a tabela abaixo pode ser um guia útil:

Taxa VA	Regulagem Típica
100 - 500	8%
500 - 1000	6%
1000 - 1500	4 - 5%
1500 - 2000	3 - 4%
>2000	2 - 2,5%

Freio Dinâmico de Servomotores

Numa situação de emergência, quando o motor precisa ser parado após uma falha ou perda de energia, um freio dinâmico pode ser usado para minimizar o tempo de desaceleração. Consegue-se isso conectando uma carga resistiva aos terminais do motor, forçando este último a funcionar como gerador e produzir torque de frenagem. Esse torque varia com a velocidade do motor, e inevitavelmente cairá quando o motor evoluir para velocidades baixas. A maneira como o torque varia com a velocidade é mostrada na Fig. 7.11 - ele atinge o máximo a uma velocidade chamada de "velocidade central".

O torque de frenagem máximo depende somente do motor, enquanto que a velocidade na qual o torque máximo é produzido depende do valor do resistor de parada. Para desacelerar o motor o mais rapidamente possível, o valor do resistor deve ser escolhido de forma a gerar o maior torque na faixa de velocidade mais ampla possível. Isso exige conhecimento da velocidade operacional máxima e de certos parâmetros do motor.

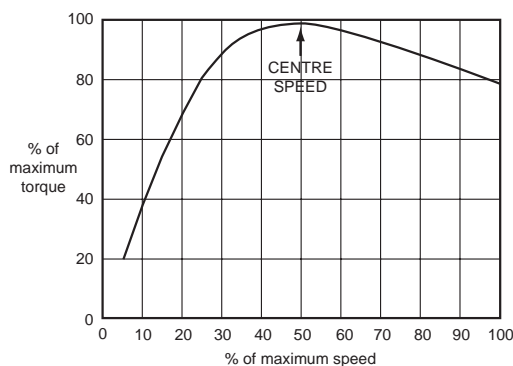


Fig. 7.11 Variação do torque de frenagem dinâmico com velocidade.

Na prática, o valor do resistor de carga é normalmente escolhido de forma a gerar torque máximo com a metade da velocidade operacional máxima. O resultado é um torque de frenagem de mais de 80% do máximo sobre o limite de 75% da faixa de velocidade.

Cálculo do Valor da Resistência

A resistência de carga exigida por fase para produzir torque de frenagem otimizado pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$\text{Resistência da carga} = 0,013 \times \text{Indutância} \times \text{N}^\circ \text{ de pólos do motor} \times \text{Velocidade máxima em rpm}$$

A indutância é o valor linha-a-linha medido em Henrys, e a resistência de carga calculada será a resistência total do circuito em ohms incluindo a resistência do motor. Exemplo: motor MB 145 30 28 operando em velocidade máxima de 3000 rpm.

Dos dados do motor:

$$\text{Indutância linha-a-linha} = 2,4\text{mH (indutância de fase} = 1,2\text{mH)}$$

$$\text{Resistência linha-a-linha} = 0,31 \text{ ohm (resistência de fase} = 0,155 \text{ ohm)}$$

Nº de pólos = 8

O cálculo dá uma resistência total de carga por fase de 0,75 ohm. Isso inclui a resistência de fase do motor de 0,155 ohm, portanto a resistência externa necessária será de 0,595 ohm.

Especificação de Energia do Resistor

Para uma primeira aproximação, a energia necessária para os resistores de carga podem ser estimadas a partir da energia cinética armazenada no sistema. Por exemplo, considerando uma condição relativamente severa em que a carga tem inércia de dez vezes a inércia do motor:

Para o MB 145 30 28 a inércia do motor é de 0,00115 kgm²

$$\text{Inércia total} = 0,0270 \text{ kgm}^2$$

Energia total armazenada no sistema a 3000 rpm
 = 0,5 Jw²
 = 1331 watt-segundos

O tempo necessário para que o motor desacelere dependerá da velocidade máxima, da inércia do sistema e do torque de frenagem disponível.

O torque máximo na velocidade central é dado por
 $T = 3Kt^2 (L \times N^{\circ} \text{ de pólos})$

onde Kt = constante de torque por fase (rms)
 L = indutância de fase

O tempo aproximado necessário para reduzir para 5% da velocidade máxima é dado por:

$$t = 0,27 \times \text{Velocidade máxima em rpm} \times \text{inércia do sistema} \div \text{torque de frenagem máximo}$$

Para o MB 145 30 28, K_t = 1,77 e o torque máximo (da equação acima) é 19 Nm (isso significa que o torque de desaceleração tem excesso de 15 Nm entre 3000 rpm e 750 rpm). O cálculo mostra que o motor deve parar em aproximadamente 1,15s.

Geralmente, os resistores de potência tem uma taxa de sobrecarga de cinco vezes a potência normal num período de 5 segundos.

Como o tempo que o motor leva para parar é de menos de 2 segundos e a energia a ser dissipada em 5 segundos é 622/5 = 125 watts, um resistor de 50 watts será adequado.

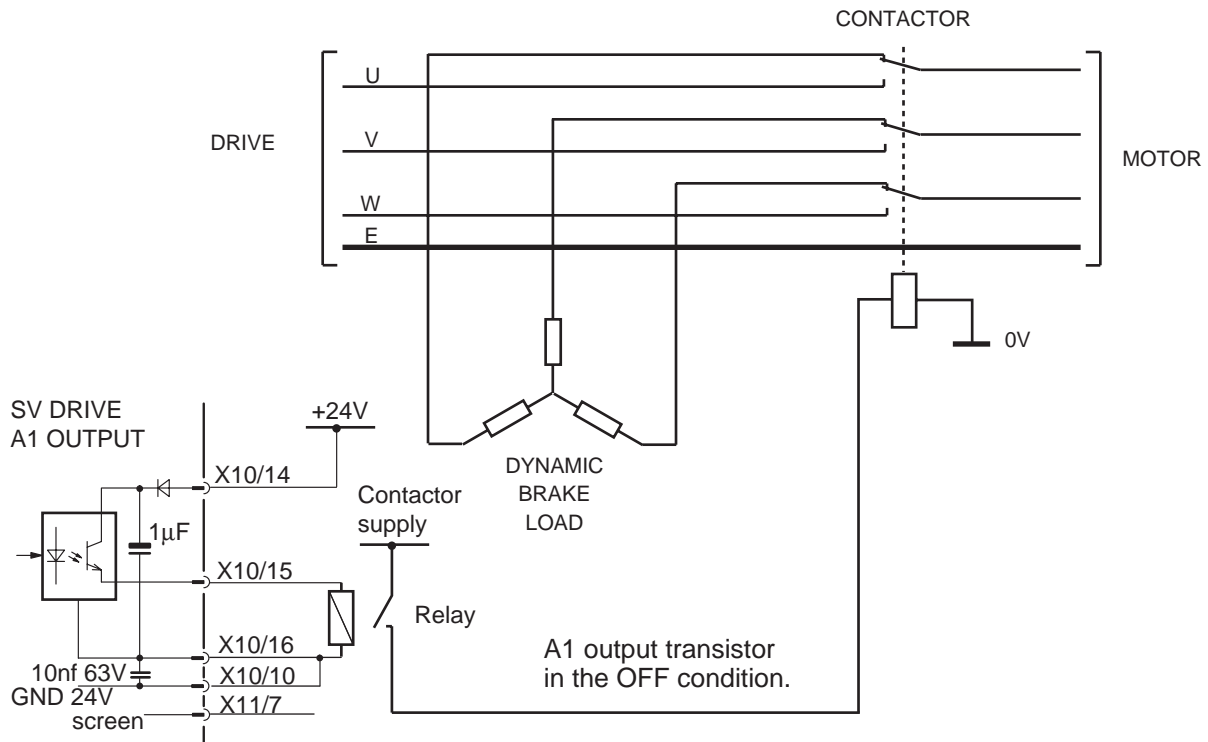


Fig. 7.12 Circuito dinâmico de frenagem típico.

Uma Introdução à Programação de Código X

O código X é uma linguagem de comando criado pela Parker especificamente para controle de movimento. É usado tanto em controladores avulsos como em produtos com controladores combinados. O Código X é direto e simples de ser aprendido; a maioria dos comandos usa a letra inicial ou letras do nome de sua função, por exemplo A para aceleração e V para velocidade. Embora muitos produtos com Código X ofereçam mais de 150 comandos, a maioria das aplicações somente usa uma parte deles. A maioria dos usuários, portanto, começa aprendendo somente os comandos básicos de movimento, juntamente com comandos adicionais específicos à sua aplicação em particular.

Uma Instalação Típica

Além da alimentação CA e cabos do motor, a única conexão adicional exigida para uma instalação básica de drive indexador (ou drive controlador) é um cabo RS232 de três condutores do drive para um PC.

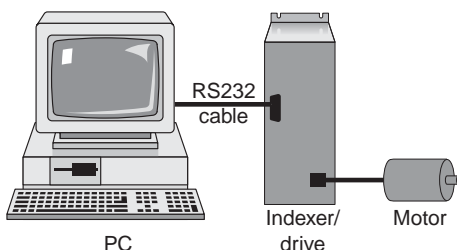


Fig. 8.1 Conexão RS232 de eixo único.

O PC pode ser configurado como um simples terminal com o uso do X-Ware, um software fornecido juntamente com o Código X que também incorpora armazenagem de programa um editor de programa. Os comandos do Código X são simplesmente digitados no teclado do PC e transmitidos ao controlador como caracteres ASCII. Algumas observações sobre a configuração e a solução de problemas para comunicações RS232 podem ser encontradas no final deste capítulo.

Sistemas Multi-eixos

O Código X pode ser usado onde houver dois ou mais controladores conectados ao PC. A conexão RS232 é feita com o uso de uma "cadeia daisy" para que o sinal seja passado de um controlador para o próximo e finalmente volte ao PC. Nesse arranjo, cada controlador tem um "endereço" diferente para distingui-lo dos outros. O endereço é simplesmente um número (normalmente começando com 1) que é setado nas dip-switchs, jumper links ou via softwares. Dessa forma, os comandos que incorporam um endereço específico só serão aceitos pelo controlador correspondente.

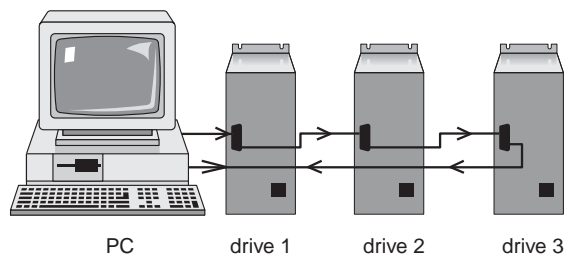


Fig. 8.2 RS 232 Cadeia daisy.

Todos os produtos com Código X podem armazenar programas de movimento completos numa memória não volátil, ou como função opcional. Uma vez programados é portanto possível remover a conexão RS232. Um programa armazenado pode então ser selecionado e inicializado por sinais externos ou sinais de entrada, ou pode ser configurado para rodar automaticamente quando o equipamento é ligado. O indexador também pode aceitar comandos de Código X em tempo real via RS232 de um controlador host, como um PLC ou PC industrial.

Comando de Movimentos Básicos

Os seguintes comandos serão comuns a todas às aplicações. Eles definem os parâmetros básicos associados a um movimento; em muitas aplicações de posicionamento, a aceleração e a velocidade aplicam-se a todos os movimentos e são definidas somente no início do programa. O controlador sempre usa o último valor especificado para qualquer parâmetro até que ele seja re-escrito.

- V - Velocidade, rot/Seg
- A - Taxa de aceleração, rot/seg²
- D - Distância, passos de motor/usuário
- G - Ir

Exemplo:

- V10 - velocidade definida para 10 rot/seg
- A150 - aceleração definida para 150 rot/seg²
- D4000 - distância definida para 4000 passos do motor
- G - ir (iniciar o movimento)

Formato do Comando

Todos os comandos do Código X consistem de caracteres maiúsculos distribuídos como segue:
[endereço do equipamento] [comando] [valor numérico] [delimitador]

O endereço do equipamento nem sempre é necessário (ver abaixo). O delimitador marca o final do comando e pode ser um espaço (barra de espaço) ou retorno do cursor.

Exemplo:

2V10<espaço>

Tipos de Comando

Os comandos podem ser agrupados em tipos diferentes dependendo se vão entrar em uma fila de execução ou executados imediatamente, e também aplicam-se a somente um controlador ou a todos os controladores do sistema.

Comandos IMEDIATOS são executados assim que são recebidos, independentemente do que estiver acontecendo no momento. Um exemplo é o comando S para parar. Poucos comandos entram nessa categoria.

Comandos BUFFERED entram num buffer tipo primeiro-que-entra-primeiro-que-sai (FIFO) e são executados na ordem em que são recebidos. Cada comando será completado antes que o próximo seja inicializado. Isso significa que uma fila de comandos pode ser baixada do PC host sem que seja preciso esperar que cada um termine. Há um limite para o número de comandos que podem ser armazenados, normalmente cerca de 2000 caracteres. Exemplos de comandos buffered são V para Velocidade e G para Ir. A maioria dos comandos pode ser armazenada na memória para execução em seqüência.

Comandos ESPECÍFICOS DE EQUIPAMENTO são executados por um controlador ou “equipamento” somente, conforme especificado pelo endereço. Os comandos dessa categoria devem incluir um endereço, e são principalmente comandos que exigem informação de volta, como se o motor está pronto para um novo comando ou se está ocupado, portanto é essencial que somente o eixo correto responda. Os comandos definidos no manual como “específicos de equipamento” não serão acionados sem um endereço. Um exemplo é o R de reportar status - ele teria que ser enviado como 1R para o eixo 1.

Comandos UNIVERSAIS são executados por todos os equipamentos em cadeia. Nesse caso não há endereço incluído, e o comando pode ser aceito por todos os eixos. Um exemplo seria o V10 que determinaria a velocidade de todos os eixos como 10 rot/seg. A maioria dos comandos universais pode ser convertida para específica de equipamento com a inclusão do endereço, por exemplo 3V10 definiria a velocidade no eixo 3 somente para 10 rot/seg.

Modos de Operação

Todos os controladores de Código X podem operar em um ou dois modos básicos - pré-definido (normal) ou contínuo.

MODO NORMAL (MN) - a distância do movimento é pré-determinada usando o comando D (distância). Esse modo é usado em todas as operações de posicionamento ponto-a-ponto normais.

MODO CONTÍNUO (MC) - nesse modo o motor opera de forma contínua na velocidade especificada até parar ou até que um novo comando de velocidade seja dado. Os dados de distância definidos pelo comando D são ignorados. Dentro do modo normal (MN) há duas outras opções:

MODO PRÉ-DEFINIDO INCREMENTAL (MPI) - cada movimento é executado como incremento, com a distância determinada pelo comando D. Em outras palavras, a distância percorrida é relativa à posição atual.

MODO PRÉ-DEFINIDO ABSOLUTO (MPA) - nesse modo o dado D ou distância é interpretado como posição absoluta relativa à posição zero. Portanto, cada movimento será relativo a uma posição absoluta definida, independentemente da posição atual. O controlador calcula a distância necessária e a direção do movimento para chegar à nova posição. É possível alternar livremente entre o modo absoluto e o incremental pois o controlador sempre armazena sua posição absoluta atual.

Comandos Básicos Adicionais

Controle de Direção

No modo incremental normal o usuário determina a direção de rotação do eixo pelo sinal de valor de distância. Assim, D4000 irá determinar um movimento de 4000 passos no sentido horário, e D-6000 determinará 6000 passos no sentido anti-horário. A direção presumida é o sentido horário, a menos que um sinal de menos seja incluído, embora seja possível incluir um sinal de mais para o sentido horário se assim se desejar.

Pode-se também controlar a direção usando os comandos

H. Um comando H permite definir ou mudar a direção sem re-especificar a distância, e também pode ser usado no modo contínuo (quando os valores de D são ignorados).

H+ define a direção no sentido horário

H- define a direção no sentido anti-horário

H (sem sinal) reverte a direção qualquer que ela seja.

Exemplo: **D25000 G H- G**

O motor opera em 25000 passos no sentido horário e então 25000 passos no sentido anti-horário.

Criando Loops

Quando um grupo de comandos tiver que ser repetido um determinado número de matrizes, ou mesmo repetido continuamente, pode-se fazer isso simplesmente encerrando os comandos num loop. O comando de loop L marca o início do loop, seguido pelo número de vezes que você quer repeti-lo, como L6 por exemplo. O final do loop é marcado pelo comando final N.

Exemplo: **L20 D500 G N**

O motor fará 20 movimentos de 500 passos cada.

Se não houver número incluído depois de comando L, o loop irá se repetir continuamente. Ele pode ser interrompido ou com o comando **S** (Parar), que aborta qualquer movimento em andamento, ou com o **Y** que interrompe o ciclo no final do loop em andamento.

Com a maioria dos controladores é possível colocar os loops juntos, ou seja, é possível ter um ou mais loops dentro de outro loop maior. Mas é importante que o número de comandos N seja igual ao de comandos L, mesmo se estiverem todos juntos.

Exemplo: **L5 D1000 G L10 D200 G N N**

Aqui cada um dos cinco movimentos de 1000 passos será seguido pelo loop de 10 movimentos de 200 passos.

Acrescentando Temporizadores

É comum querer incluir um temporizador entre os movimentos, por exemplo para permitir que uma operação externa seja finalizada. Isso é possível com o comando T (temporizador) seguido pelo tempo em segundos.

Exemplos: **T2** resulta num temporizador de 2 segundos

T0,05 resulta num temporizador de 50ms

L20 D500 G T0,5 N

No último exemplo o comando T acrescenta um tempo de espera de meio segundo entre cada movimento do loop.

Usando Gatilhos

O comando gatilho **TR** permite especificar um padrão nos sinais de entrada do controlador que passarão para ou desencadearão o próximo comando. O sinal poderia vir, por exemplo, de um botão ou comutador. As opções nos sinais de entrada são:

1 = alto sinal de entrada

0 = baixo sinal de entrada

X = indiferente (sinal de entrada pode ser alto ou baixo)

O padrão de sinal de entrada é especificado na ordem numérica dos sinais de entrada. Por exemplo: TR01X - continuar para o próximo comando quando o sinal de entrada 1 for baixo e o sinal de entrada 2 for alto. Ignorar o que estiver acontecendo no sinal de entrada 3. Na verdade, pode-se ignorar qualquer rota X valores, e neste caso o TR01 funcionaria bem também. Alguns controladores oferecem a opção de versões alternativas do comando gatilho, como:

TRE - dispara o gatilho quando os sinais de entrada são iguais aos padrões especificados (equivalentes ao TR)

TRN - dispara o gatilho quando os sinais de entrada não são iguais ao padrão especificado

Usando Sinais de Saída Programáveis

O comando O (output) é usado para ligar e desligar sinais de saída programáveis. Ele opera de forma similar ao comando de gatilho de sinal de entrada pois um padrão necessário é especificado para os sinais de saída. As opções são:

- 1 = output ligado
- 0 = output desligado
- X = deixar inalterado

Exemplo: **2O1X1** - para endereço de eixo 2, ligar sinais de saída 1 e 3, mas deixar o output 2 inalterado. Mais uma vez a rota X pode ser ignorada.

Indo para a Posição de Origem

A maioria dos sistemas de posicionamento sem alguma forma de dispositivo de posicionamento absoluto deve usar uma referência mecânica ou posição de origem quando são ligados. Isso estabelece onde a referência mecânica está e todos os movimentos subseqüentes serão relativos à posição de origem. Essa posição é normalmente determinada por um comutador ou sensor de proximidade. O comando Ir para Posição de Origem (**GH**) inicia o retorno automático à essa posição, começando rapidamente e seguindo-se de uma lenta busca pelo ponto de operação do sensor. O número que segue-se ao comando representa a velocidade de início rápido.

Exemplo: **GH5** - voltar para posição de origem a 5 rot/seg (um sinal de direção pode ser incluído)

O padrão do início parecerá com a Fig. 8.3. Durante a fase final do início rápido, o contador de posição absoluta é resetado para zero quando a borda sinal é detectada. Dependendo do tipo de controlador, o sistema não necessariamente pára na posição de origem - pode ser necessário tempo para a desaceleração. Contudo, a posição foi capturada quando a borda do sinal foi ultrapassada e um posicionamento preciso foi estabelecido.

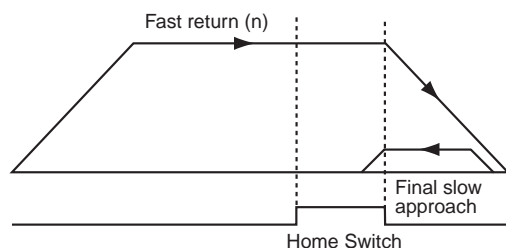


Fig. 8.3 Típico padrão de movimentação em direção à posição de origem.

Há várias opções disponíveis em conjunto com a rotina de posição de origem, que varia de acordo com o tipo de controlador. Eles possibilitam a escolha da velocidade de chegada ao ponto final e podem selecionar qual borda do sinal de origem é considerada como posição de parada.

Programando Seqüências de Movimentação Completa

Uma seqüência é uma série de comandos que serão executados na ordem programada. A seqüência pode ser iniciada por um comando único, tornando mais fácil programar operações repetidas. As seqüências podem ser armazenadas em memória não volátil, selecionadas e inicializadas por sinais de entrada gatilho sem a necessidade de uma conexão RS232. Esse estilo de operação é particularmente útil quando o controle geral da máquina é feito via PLC.

Observe que somente comandos *buffered* podem ser usados e armazenados em seqüência e, por definição, comandos imediatos serão executados assim que forem recebidos e não serão armazenados no *buffer* de comando.

Todos os comandos em seqüência começam com X.

XDn inicia a definição de uma seqüência. Por exemplo, XD1 marca o início da seqüência 1.

XT encerra a seqüência. Veja um exemplo de seqüência única:

XD1 A2 V10 D2000 G H- G XT

XRn opera a seqüência, assim XR1 opera seqüência 1. Pode-se usar o comando XR para operar uma seqüência de dentro de outra seqüência, como uma subrotina, por exemplo:

XD2 A2 V10 D2000 G XR1 XT

Nesse caso a seqüência 2 incorpora a seqüência 1. (Com certos tipos de controladores, XR age como um GoTo ao invés de um GoSub, caso no qual não voltará à seqüência primária. Veja no Guia do Usuário quando embutir XR's numa seqüência). Para mudar a seqüência, a antiga deve primeiro ser deletada. Essa é uma função de segurança que minimiza a possibilidade de re-escrever uma seqüência por engano.

XEn deleta uma seqüência, por exemplo XE2 deleta a seqüência 2. Para verificar o que está programado numa seqüência, pode-se voltar ao terminal.

aXUn carrega uma seqüência (é um comando específico de equipamento e deve sempre incluir endereço). Por exemplo, 1XU3 retorna a seqüência 3 para o controlador do equipamento número 1.

Para Mais Informações

Esta é somente uma breve introdução ao Código X, mas ilustra a natureza simples da linguagem e a facilidade com que o controle de movimento pode ser programado. Guias de Usuário dos produtos oferecem informações abrangentes sobre todos os comandos disponíveis e maneiras de usá-los. Se estiver considerando o uso de um produto com Código X, você pode solicitar uma cópia do Guia de Usuário.

Linguagem de Programação Alternativa

Linguagem 6000

A linguagem 6000 da Parker foi desenvolvida a partir do Código X para possibilitar uma programação conveniente de controladores multi-eixos. Enquanto o Código X é ideal para sistemas avulsos de 1 eixo, e pode dirigir-se a múltiplas unidades via uma cadeia *daisy*, a linguagem 6000 simplifica o processo de programação com controladores de dois ou mais eixos. A linguagem 6000 geralmente usa mnemônica mais longa que o Código X, o que permite a ela ser mais descritiva. Além disso, a 6000 oferece funções mais avançadas que as disponíveis no Código X, muitas das quais estão relacionadas a sistemas de controle multi-eixos. Esses incluem contorno, funções cam, controle de joystick, operações de “ensino” e captura de dados em tempo real. A programação de erro altamente funcional da 6000 permite a recuperação mais eficiente de condições de erro.

A 6000 é uma linguagem muito versátil e universal que pode ser usada numa ampla variedade de aplicações. As capacidades extras dessa linguagem naturalmente exigem mais capacidade de processamento, e portanto o Código X é mais apropriado para sistemas de baixo custo com necessidades limitadas de funções.

Linguagem de Controle COMPAX

O Compax é um servo controlador totalmente digital que inclui gerador de energia. Ele usa sua própria linguagem de programação que tem comandos muito parecidos com os da linguagem BASIC. Diferentemente de outros controladores na linha da Parker, o Compax pode ser equipado com equipamento específico da aplicação, o que simplifica a programação de uma variedade de funções avançadas de máquina. Entre essas funções incluem-se perfil de velocidade baseado em tempo, geração de came, acompanhamento, engrenagem eletrônica e aplicações de registro. Usando uma estrutura exclusiva, programar essas funções envolve somente a entrada de alguns parâmetros. A função de geração de cam é particularmente importante, com um software dedicado para simplificar a geração de perfis. Há uma opção para entrar ou sair do perfil cam em qualquer estágio para operações de máquina complexas.

Embora menos flexíveis que os produtos que usam a linguagem 6000, os sistemas com o Compax são muito mais simples de implementar quando uma opção de estrutura for compatível com a aplicação. A programação “direcionada para evento” não somente simplifica e reduz o tempo de programação, mas também minimiza a quantidade de dados que precisam ser transferidos. Isso significa que o Compax é particularmente adequado para sistemas que usam comunicação Fieldbus. Além do padrão Fieldbus RS485, ele oferece a opção de Profibus e CANbus. Ele também é equipado com o HEDA (Acesso a Dados de Alta Eficiência) bus da Parker, que oferece sincronização de tempo muito precisa entre todos os eixos num sistema. Isso combinado ao sofisticado algoritmo oferece desempenho extremamente dinâmico.

Solução de Problemas com o RS232

Checando o Terminal

Desconecte o cabo RS232 do terminal ou computador. Identifique os pinos 2 e 3 na porta serial - a Fig. 8.4 mostra o layout dos pinos para os conectores de 9 vias e de 25 vias. Coloque os pinos 2 e 3 juntos em curto. Se o conector serial for fêmea, use um clip de papel para colocar os pinos em curto. Se for macho, a lâmina de uma pequena chaveta de fenda pode ser usada para conectar os pinos. Digite alguns caracteres no teclado. Se nada aparecer na tela, você pode estar se comunicando com a porta errada. Use seu software de comunicações para mudar a porta COM e tente novamente. Se os caracteres aparecerem ou se aparecerem duplos, remova o curto circuito entre os pinos 2 e 3 e digite mais. Se os caracteres continuarem a aparecer, ou você está se comunicando com outro equipamento ou a porta COM (como um mouse ou placa de rede) ou o eco local estão ligados. Use seu software de comunicações para verificar se o eco local está desligado e se estiver, tente mudar as portas COM. Quando o terminal estiver operando corretamente, caracteres únicos devem aparecer com os pinos 2 e 3 em curto, e não devem aparecer quando o curto é removido.

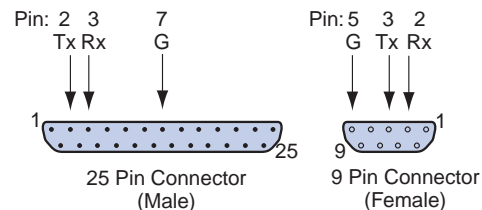


Fig. 8.4 Conectores RS232 de 9 e 25 vias.

Checando o Cabo RS232

Reconecte o cabo RS232 ao terminal e deixe a outra extremidade livre. Repita o último exercício colocando os pinos em curto na extremidade remota do cabo. Se nenhum caractere aparecer, há um problema no cabo. Se os caracteres aparecerem, reconecte o cabo ao dispositivo sendo controlado e tente novamente.

Se não houver resposta, verifique se o eco de retorno está ligado no equipamento. Se ainda não houver resposta, tente trocar as conexões Rx e Tx, e tente novamente. Verifique também a conexão terra entre o terminal e o equipamento (pino 5 num conector de 9 vias, e pino 7 num de 25 vias). Se chegou até aqui sem sucesso, verifique os Manuais do Fabricante sobre comunicação RS232 para tentar obter mais instruções. Como último recurso, entre em contato com o fabricante e peça assistência.

Verificando a Comunicação Correta

Quando tiver confirmado que os caracteres estão ecoando, tente enviar um comando que produza uma resposta. Exemplos típicos são **1R** para Código X e **!TAS** para a série 6000. Se não houver resposta, verifique se o endereço correto está sendo usado (tente 2R, 3R, etc). Observe que em certos produtos o endereço pode ser selecionado por software. Também é bom checar se a comunicação não foi desligada no equipamento - envie o comando E para religá-la.

Princípios de Instalação EMC

EMC, ou compatibilidade eletromagnética, já foi definida de várias formas. EMC significa que uma parte de um equipamento nem gera excessivo ruído elétrico tampouco é indevidamente sensível a ruído externo. A intenção básica da diretiva europeia para EMC é garantir que itens de equipamentos elétricos e eletrônicos operem no mesmo ambiente sem interferir um com o outro. Também ajuda a restringir o aumento na interferência gerada pelo aumento no uso de controles eletrônicos.

As exigências de instalação para compatibilidade com EMC variam com o produto. Equipamentos marcados com CE e certificados quanto à conformidade com EMC podem ser instalados em qualquer local, contanto que as instruções de instalação sejam seguidas. Outros equipamentos para uso por fabricantes de sistemas qualificados exigem medidas adicionais para garantir a conformidade com EMC e os princípios gerais são descritos abaixo.

Proteção Externa

Para controlar as emissões, todos os equipamentos de controle e motor devem ser instalados numa cabina de metal que forneça isolamento adequado.

Filtragem

Instalar um filtro de fonte de corrente alternada no cabo de energia da unidade para eliminar qualquer interferência. Monte o filtro a 50mm do motor ou transformador, e passe o cabo e qualquer fio terra perto do painel. Tente arranjar o *layout* do motor e do filtro para que o cabo de corrente alternada seja mantido longe dos condutores de saída do filtro.

Supressão

Dispositivos de supressão de interferência eletromagnética externa, como absorvedores de ferrite, devem ser instalados nos cabos de Sinal e Controle o mais perto possível da unidade.

Pares Trançados

No caso de motores que têm sinais de entrada diferenciais, é preferível usar um cabo com pares trançados para minimizar a combinação magnética. Isso aplica-se a sinais analógicos e digitais.

Malha

Use cabos com malha de alta qualidade para todos os sinais de entrada de Sinal e Controle. A conexão da malha deve ser a mais curta possível. O ponto de conexão para a malha depende da aplicação. Alguns dos métodos recomendados de conexão da malha, por ordem de eficiência, são:

- a) Conectar a malha somente ao painel onde a unidade estiver montada para aterramento (aterramento de proteção). O uso deste método reduzirá a área de loop, e oferecerá maior proteção.
- b) Conectar a malha ao aterramento em ambas as extremidades do cabo, normalmente quando a frequência da fonte de ruído é maior que 1 MHz.
- c) Conectar a malha à unidade e deixar a outra extremidade da malha desconectada e isolada do aterramento.

Separação

Nunca passe os cabos de Sinal ou Controle no mesmo conduit que linhas de corrente alternada, condutores que alimentam motores, solenóides, etc. Os cabos devem ser passados em conduits de metal que sejam adequadamente aterrados. Os cabos de Sinal e Controle dentro de uma cabina também devem passar o mais longe possível de contatores, *Reles* de controle, transformadores, e outros componentes geradores de ruído.

Instalação P-Clip

A função do clip P é oferecer contato metálico de 360 graus e um meio conveniente de garantir aterramento adequado. Instalar o mais perto possível da extremidade do cabo, contanto que um aterramento, contraplano ou pino terra estejam acessíveis. O uso de um clip P de latão ou outro metal condutor inerte é recomendável.

Supressão de Surtos

Instale componentes de supressão de surtos, como filtros de resistores/capacitores ou diodos de fixação, em todas as bobinas elétricas, como contatores.

Opto-isolamento

O isolamento de sinais remotos com o uso de *Reles* em estado sólido ou opto-isoladores é recomendado.

Motores, Instalação Elétrica

Embora haja princípios gerais bem aceitos, a instalação elétrica tende a ser específica a um tipo de motor em particular. Os comentários que seguem aplicam-se principalmente aos servomotores da Parker, embora muitos pontos sejam relevantes para outros tipos de motor também.

Colocando os Cabos nos Conduits

A razão mais comum para falha de encoder é a religação incorreta depois que um cabo tenha sido removido, normalmente quando é passado por um conduit.

Antes de desconectar qualquer cabo, faça um desenho preciso das conexões a quaisquer cabos do terminal ou conectores de várias vias. Se um cabo de par trançado for usado, preste atenção a como os cabos são combinados. Como muitos pares têm um cabo preto, marcar o cabo no desenho como "preto" não é identificação suficiente. É uma boa idéia colocar uma pequena luva nos pares à medida que são desconectados - isso mantém os dois cabos juntos.

Quando preparar e desconectar um cabo de par trançado, sempre remova o suficiente da malha externa (no mínimo 100mm) para garantir que os pares corretos estão trançados juntos. Então, coloque uma pequena luva nos dois antes de cortar na extensão necessária.

Quando estiver passando um cabo de um motor ML por um conduit, é mais fácil desconectar o cabo na extremidade do motor. Primeiro remova a caixa do terminal e desenhe as conexões como descrito acima. Pode-se então desparafusar os terminais e soltar o cabo da porca.

Conexões de Um Motor de Passo

A maioria dos motores de passo é fornecida com condutores curtos, ou no caso de motores maiores, com um terminal de conexão. Como eles são remontados ao motor, depende muito da aplicação e da distância envolvida. Se a máquina estiver a 3 m do motor, o tipo de cabo usado não é um fator crítico, contanto que possa transportar a corrente necessária sem se superaquecer.

Se a distância for maior que isso ou o ambiente for eletricamente ruidoso, pode ser melhor usar um cabo protegido. O ruído capturado pelo cabo do motor não deve afetar o motor diretamente, mas será reconduzido ao motor e poderá causar problemas nos sinais de entrada. Cabos protegidos serão também necessários quando for exigida conformidade com EMC.

Motores, Instalação Mecânica

Montando o Motor - Registro Piloto

Muitas pessoas pensam que um guia piloto na frente de um motor atrapalha. Ele significa que se você tentar montar o motor numa placa plana, será necessário colocar buchas entre o flange do motor e a placa, para evitar que o flange entorte.

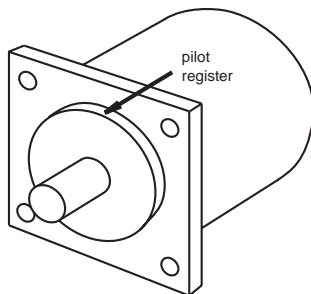


Fig. 9.1 Guia piloto do motor.

O guia piloto é fornecido para que o motor possa ser colocado concentricamente à carga. Isso é particularmente importante quando o motor é acoplado a um redutor planetário ou mesa X-Y. O guia deve encaixar-se num assento amortecido na placa de suporte - é isso que coloca o motor num lugar não os pinos de apoio. O guia piloto é usinado com uma tolerância pequena, normalmente $\pm 0,05\text{mm}$.

Quando especificar o assento amortecido, especifique a menor tolerância do assento como igual à maior tolerância do guia. Em outras palavras, o guia maior deve encaixar no menor assento. Isso garante a melhor localização e o encaixe em qualquer circunstância. A profundidade do assento deve ser sempre maior que a espessura do guia piloto para que o guia possa ir até o fundo do assento.

Se for preciso montar o motor numa placa plana e a concentricidade não for importante, o melhor é usar um espaçador usinado que acomode o guia. Como nesse caso, não será usado o guia para assentar o motor, a tolerância no assento usinado no espaçador não é crítica.

Acoplando Motor e Carga

Por que usar um acoplamento caro quando é possível usar uma simples camisa de aço? Não há razão, contanto que se possa garantir que o eixo do motor e o eixo da carga estejam perfeitamente alinhados, e que sua luva de aço se ajuste perfeitamente. Na prática, raramente atingimos a perfeição, então o engate deve ter conformidade suficiente, ou flexibilidade para acomodar qualquer desalinhamento sem sobrecarregar o mancal do motor.

Há dois tipos de desalinhamento que qualquer acoplamento encontrará em maior ou menor grau. Um é o desalinhamento angular, que ocorre quando os dois eixos estão num leve ângulo em relação um ao outro. O outro é o desalinhamento radial, no qual os eixos são paralelos mas não concêntricos - seus eixos são deslocados. O acoplamento também pode ter que lidar com movimento axial devido, por exemplo, à expansão térmica.

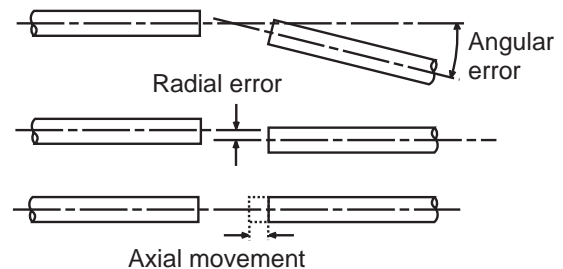


Fig. 9.2 Desalinhamento angular e radial.

Um acoplamento projetado para aplicações com motor de passo e servo motor deve acomodar qualquer desalinhamento sem que haja folga (movimento perdido quando a direção é mudada) ou conformidade tensional (o acoplamento pode ser torcido com facilidade). A folga e conformidade tensional excessiva podem levar à instabilidade, tornando o giro do servo motor extremamente difícil e impondo um severo limite ao desempenho.

O número de designs de acoplamento disponível hoje parece infinito, portanto o próximo problema é decidir que tipo usar. Vamos nos concentrar em dois designs que são adequados para uma ampla variedade de aplicações, o acoplamento membrana e o acoplamento Oldham. Esses acoplamentos irão acomodar ambos os tipos de desalinhamento e tem pouca conformidade tensional e causam pouca folga.



Diagram by courtesy of Huco Engineering Ltd.

Fig. 9.3 Acoplamento membrana típico.

Os acoplamentos membrana normalmente têm dois discos, como mostrado. Uma versão de disco único existe mas não tolera nenhum desalinhamento radial. Acoplamentos de disco único são normalmente usados em pares com um eixo flutuante entre eles. Uma montagem completa consistindo de dois acoplamentos de disco único mais um eixo de ligação é conhecida como Cardan; ele opera da mesma forma que um acoplamento de dois discos, exceto pelo fato de que quanto maior o eixo de ligação, maior o desalinhamento radial que pode ser acomodado. Os três elementos do Cardan podem normalmente ser montados no local.



Fig.9.4 Um eixo sem suporte (flutuante).

Os acoplamentos de membrana podem operar em altas velocidades, tipicamente de até 25000 rpm, e tem longa vida útil pois não há partes deslizantes. Contudo, são mais caros que a maioria dos outros tipos de acoplamento.



Diagram by courtesy of Huco Engineering Ltd.

Fig. 9.5 Um típico acoplamento Oldham.

Como o acoplamento Oldham tem três elementos separados, as duas peças podem ser colocadas soltas em relação aos eixos antes da montagem e o disco central colocado depois que o eixo do motor e da carga tiverem sido instalados. Isso pode ser útil em situações de difícil acesso. Da mesma forma, os eixos podem ser desacoplados simplesmente soltando uma das peças. O disco central existe em diferentes materiais para oferecer as propriedades desejadas. Por exemplo, o acetato dá longa vida útil e boa rigidez à torsão; o nylon dá boa absorção à vibração e operação silenciosa. Como o disco desliza de forma contínua, ele gradualmente se desgasta e provoca folga, e deve ser substituído. Os acoplamentos Oldham não podem ser usados em eixos sem suporte. São um dos tipos mais baratos de acoplamento, mas só são adequados para velocidades de até 3000 rpm.

Seguem alguns números típicos que mostram o quanto cada um dos acoplamentos pode acomodar desalinhamento. Outros tipos de acoplamento que são às vezes usados em aplicações de baixo consumo de energia são os acoplamentos sanfona e os de feixe helicoidal. Acoplamentos sanfona

	Membrana	Oldham
Desalinhamento Angular Máximo	4°	1°
Desalinhamento Radial Máximo	0,4 mm	11% do Ø do Acoplamento
Movimento Axial Máximo	0,2 mm	0,3 mm

são particularmente bons na acomodação de movimento axial e oferecem rigidez torcional extremamente alta. O acoplamento de feixe helicoidal tem a vantagem de ser de baixo custo, mas tem rigidez torsional relativamente baixa e gera altas cargas no mancal quando há desalinhamento. Ambos os tipos de acoplamento são mais propensos a falhas a menos que bem utilizados dentro de suas especificações.

Instalando o Acoplamento - Métodos de Fixação com Grampos

Quando o acoplamento tiver sido selecionado, o próximo passo é decidir como fixá-lo ao eixo do motor e carga. Uma bucha bi-cônica ou "taper lock", usada junto com uma chaveta, é o método preferido. Ele mantém a concentricidade e prende o eixo numa área extensa, o que é muito desejável onde há torques e rápidas reversões. Nessa situação, a chaveta é usada primariamente como dispositivo de segurança para evitar que algo escorregue no caso de sobrecarga. Ela não é usada para transmitir torque. Infelizmente, muitos acoplamentos são muito pequenos para acomodar esse tipo de bucha.

Os grampos são provavelmente a fixação mais comum para acoplamentos pequenos e são geralmente confiáveis se usarmos um veda rosca nos parafusos. Ele vai agir como lubrificante antes de assentar, reduzindo as perdas friccionais e maximizando a força de retenção - mas não permaneça apertando os parafusos por muito tempo! Use buchas sob as cabeças dos parafusos sempre que possível.

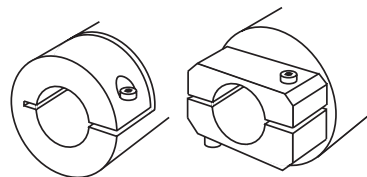


Fig. 9.6 Um grampo folha e um grampo de aperto.

Colocação dos Parafusos

A colocação de parafusos é outro método comum, mas só deve ser usado para aplicações de baixo torque. Não aperte o parafuso na rota da chaveta - você pode usinar um furo ou achatamento no eixo, a menos que se tome as mesmas precauções tomadas para encurtar o eixo, descritas mais tarde. Uma desvantagem do parafuso é que, diferentemente do grampo, ele cria uma pequena depressão no eixo e pequenos ajustes tornam-se praticamente impossíveis.

É essencial que o diâmetro do acoplamento e do eixo sejam próximos quando parafusos são usados - a área livre não deve ser maior que 0,025mm. Isso é importante porque o parafuso sempre força o eixo para um lado do diâmetro do acoplamento, e uma área livre maior pode levar o acoplamento a pivotar em torno do parafuso, levando a um rápido desgaste. Dois parafusos, distantes entre si 90°, são uma melhoria significativa e dobram o torque que pode ser transmitido (ver tabela na página 49). Forçando o eixo para um dos lados do diâmetro, também cria-se excentricidade, e deve-se usar um acoplamento que possa acomodar essa excentricidade. Sempre tente colocar o parafuso o mais centralmente possível ao longo do acoplamento ou extensão da polia.

A tabela abaixo é uma guia de torque máximo recomendável com o uso de acoplamentos ou polias acopladas por parafusos. Os números referem-se a um único parafuso e podem ser dobrados se dois parafusos distantes 90° forem usados.

Ø Eixo (mm)	Tamanho do Parafuso	Torque Máximo (Nm)
6	M2	0.1
6	M3	0.2
11	M3	0.4
11	M4	0.8
15	M3	0.5
15	M4	1
15	M5	2

Pinos

Furar e usar pinos no eixo é um método que é ocasionalmente usado, mas só é adequado para aplicações de baixo torque. O furo reduz consideravelmente a área de corte transversal do eixo e, como consequência, o torque que ele pode transmitir. Se o eixo já tiver uma passagem de chaveta, a situação fica ainda pior. Deve-se lembrar que a força de um pino de 3mm é só 20-30% daquela de uma chaveta de 3mm. Se essa opção de fixação for escolhida, deve-se tomar as mesmas precauções na furação do eixo que as tomadas para encurtá-lo, que serão descritas mais tarde. Os comentários sobre tolerância do eixo/acoplamento feitos para a fixação por parafuso também aplicam-se à fixação por pino.

Uso de Adesivos

O uso de adesivos anaeróbicos, como Loctite, entre o eixo e o acoplamento, é freqüentemente benéfico. Esse tipo de adesivo endurece na ausência de ar. Adesivos só devem ser usados juntamente com um dos métodos de fixação descritos acima. Se um adesivo viscoso de alta resistência for usado ele deve ser espalhado no eixo antes da montagem, enquanto que um adesivo mais fino pode ser aplicado no vão depois de instalado o acoplamento. Se um adesivo for usado, será quase impossível remover o acoplamento sem danificar o motor, a menos que tenha sido deixado bastante espaço entre o acoplamento e o motor para inserir um instrumento extrator. Outro ponto a considerar é que no caso de falha, não será possível reparar o motor sem um trabalho de reconstrução caro.

Chavetas e Passagens de Chaveta

“Você nos mandou a chaveta errada - ela não entra na passagem”. É uma reclamação comum entre os novatos na instalação de motores.

Uma chaveta padrão de 3mm, por exemplo, é cerca de 0,04mm mais larga que a passagem de chaveta no eixo e a intenção é que ela seja lixada para que o encaixe seja justo. E por que o fabricante não faz a chaveta com a largura correta? É uma questão de tolerância - a chaveta deve ficar bem justa na passagem de chaveta do eixo porque a passagem do acoplamento é cerca de 0,025mm maior que a do eixo. Isso garante que uma vez que a chaveta tenha sido lixada para a passagem de chaveta do eixo, o espaço resul-

tante permitirá que o acoplamento deslize facilmente no eixo. Mas esse pequeno espaço irá inevitavelmente levar a alguma folga (as passagens tanto no eixo quanto na polia devem ser profundas o bastante para garantir um espaço adequado para a chaveta).

A melhor maneira de solucionar o problema é ter um parafuso no acoplamento que cause um pequeno achatamento no topo da chaveta. Outra solução é usinar a chaveta com um passo para que ela se ajuste em ambas as passagens, mas como isso evita que o acoplamento deslize facilmente no eixo, deve-se tomar cuidado para não danificar os mancais do motor. Aplicar uma grande carga axial (por exemplo com uma prensa de alavanca) e martelar o acoplamento no eixo são as causas mais comuns de danos ao mancal que levam a falhas prematuras. Se uma bucha “taper lock” for usada, esses problemas não aparecem porque a bucha desliza no eixo com facilidade e não há folga, pois a bucha fixa-se firmemente ao eixo.

Lembre-se que uma chaveta de 5mm num eixo de 15mm transmitindo torque de 10Nm está sujeita à força de ruptura de 30 MegaNewtons/m². Uma chaveta mal colocada irá chacoalhar quando o motor mudar de direção e sob esse tipo de força, não seria inédito a chaveta se desgastar e se transformar num perfeito cilindro que se reduz em diâmetro até o sistema falhar.

Tolerâncias do Eixo

Há uma teoria popular de que o acoplamento deve ser bem justo no eixo e ser instalado cuidadosamente com o martelo mais longo que houver. É verdade que se o acoplamento estiver muito solto, um leve movimento entre o eixo e o acoplamento faria com que ambos se desgastassem e falhassem. Mas os mancais são relativamente frágeis e a força usada para instalar o acoplamento não deve exceder a força axial máxima, como mostra a Fig. 9.10. Normalmente a tolerância mais alta do eixo será igual à tolerância mais baixa do diâmetro do acoplamento, e deve haver sempre um pequeno espaço entre os dois.

Se você tiver um eixo na tolerância máxima e um acoplamento na mínima, será muito difícil fazer o deslize. A solução mais simples é colocar um anel de papelão ou plástico fino no eixo, para evitar que poeira entre no mancal, e fazer o motor funcionar enquanto segura-se um pedaço de papel carborundo em torno do eixo. Teste sempre o tamanho do eixo para garantir que não se elimine demais.

Encurtando o Eixo

É surpreendente a freqüência com que os usuários acham necessário encurtar o eixo de um motor. O problema pode ser evitado se for dada um pouco mais de atenção ao projeto. Se o encurtamento for inevitável, é essencial que o eixo seja apoiado de forma que o mancal do motor não seja submetido a choques ou esforço. Não deve haver risco de que detritos ou óleo refrigerante entrem no mancal. Não permita que o eixo esquente muito - se ele chegar a mais de 120° há o risco de desmagnetização parcial do motor. Apoie o eixo no lado do motor do corte, o mais perto possível do corte, usando um bloco em V ou grampo. O motor deve

ser frouxamente apoiado para evitar esforço do mancal. Use um anel de fita adesiva ou composto adesivo moldável (como Blue-Tack) para evitar que o óleo refrigerante ou detritos entrem no mancal. Lembre-se de qualquer forma de modificação do eixo feita após despacho da Parker invalida a garantia do eixo, mancal, encoder ou resolver.

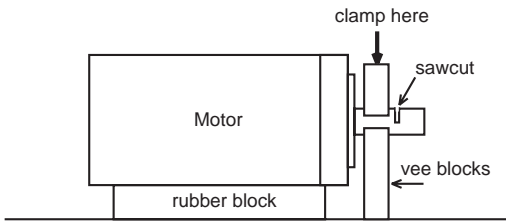


Fig. 9.7 Um eixo de motor apoiado para corte.

Carga Radial do Mancal

Não é incomum que um motor seja devolvido com o eixo rompido na frente ou atrás do mancal frontal. Os motores também são devolvidos com mancais que falharam depois de apenas alguns meses. Em quase todos os casos de falha do eixo, e na maioria das falhas de mancal, a causa é a mesma - carga radial muito alta agindo muito perto do final do eixo. A causa mais freqüente disso é uma correia super-tensionada, normalmente numa polia que fica acima da extremidade do eixo porque a placa de suporte do motor é muito espessa.

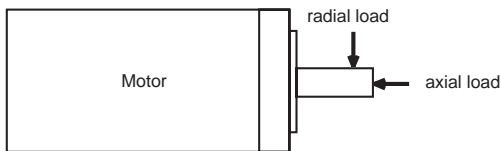


Fig. 9.8 Carga radial e axial.

Altas cargas radiais aplicadas ao eixo do motor afetarão tanto a vida útil do mancal quanto a probabilidade de falha do eixo.

Vida Útil do Mancal

Se houver uma grande força radial na calha interna do mancal, isso pode esmagar as esferas entre as duas calhas. Isso resulta em arranhões das calhas, levando a um funcionamento desequilibrado e desgaste excessivo. A Fig. 9.9 é um gráfico da vida útil do mancal comparada à carga radial num servo motor típico, presumindo que a carga aja até a metade da extensão do eixo.

Os tempos de vida útil são dados para velocidades de operação constantes específicas, e pode-se usar as curvas como guias para estimar a vida útil em velocidades intermediárias. Se o motor estiver acelerando ou desacelerando numa proporção significativa do tempo, estime a velocidade média em todo o ciclo operacional e use esse número. (Uma média simples é boa o suficiente aqui - a vida útil do mancal depende menos da velocidade absoluta que do número total de rotações). Se a carga for ativa na extremidade do eixo, pode-se esperar que a vida útil seja reduzida em cerca de 15%. Esses gráficos presumem que uma carga axial seja menor que 30% da carga radial.

Fadiga do Eixo

Fica claro que qualquer carga radial irá comprimir um lado do eixo e criar tensão no outro. À medida que o eixo gira, cada elemento individual do eixo passa por alternância entre tensão e compressão, o que pode causar fadiga do metal. A linha vertical na Fig. 9.9 representa a carga radial máxima que pode ser aplicada na metade do eixo sem risco de que haja falha devido à fadiga do metal. Será necessário reduzir esse número pela metade se a carga for aplicada na extremidade do eixo.

Carga Axial do Mancal

Os motores são normalmente equipados com buchas de mola que aplicam uma pequena carga axial aos mancais o tempo todo. Isso toma qualquer espaço entre as esferas e as calhas para evitar que as esferas chacoalhem, o que causaria desgaste. Uma pequena quantidade de carga axial adicional não causa danos, mas quando a carga atinge um nível em que as esferas são forçadas para dentro das calhas, o mancal se desgasta rapidamente.

A Fig. 9.10 mostra como a carga radial deve ser reduzida à medida que a carga axial aumenta. Tanto a carga radial quanto a axial são expressas como porcentagem da carga radial Fr, que é o valor da Fig. 9.9 para a velocidade média apropriada e vida do mancal exigida.

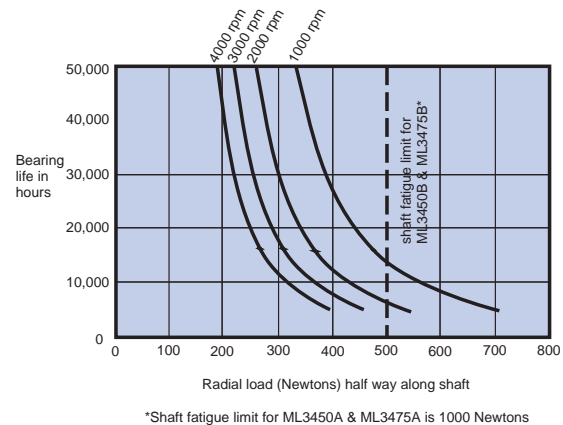


Fig. 9.9 Curvas típicas de vida útil do mancal (servo motores Parker ML34).

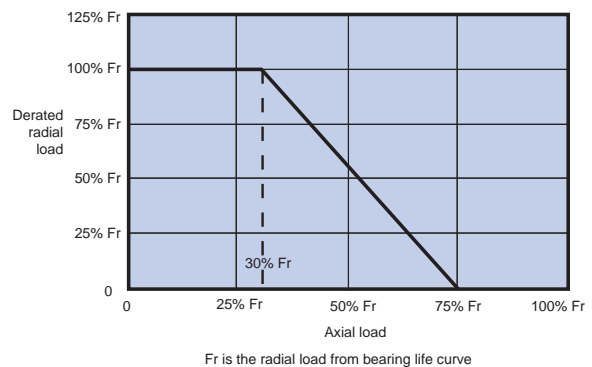


Fig. 9.10 Carga radial permitida x carga axial (servo motores Parker ML34).

Correias

O ato de tensionar uma correia pode ser considerado uma arte e não uma ciência, em parte porque não há diretrizes simples que possam ser aplicadas. Como resultado, a tendência é tensionar a correia o máximo possível presumindo-se que seja a única maneira de eliminar a folga. A consequência é o rápido desgaste da correia, redução da vida útil do mancal e até falha do eixo. Mas há uma abordagem mais científica recomendada.

Para estimar a tensão correta da correia, é preciso saber a força periférica na polia do motor (F_p) quando o motor está produzindo o máximo de torque. Pode-se calcular essa força dividindo o torque máximo em Nm pelo raio da polia do motor em metros (lembre-se de dividir pelo raio não pelo diâmetro). Uma tensão de correia entre 30% e 50% de F_p é normalmente usada para correias curtas ou resistentes (não elásticas), e altas tensões (50-65% de F_p) são usadas para correias longas ou elásticas. Deve-se usar a tensão mais baixa que garanta que a correia nunca fique completamente frouxa. Se isso acontecer, os dentes da correia podem começar a encavalar com os dentes da polia e isso acelera o desgaste. A forma mais simples de tensionar uma correia, presumindo que o eixo possa ser movido livremente, é usar uma mola para aplicar força igual a duas vezes à tensão de correia exigida naquele eixo.

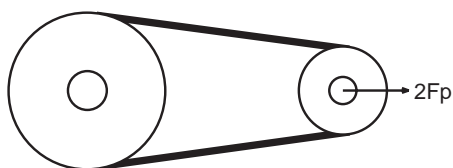


Fig. 9.11 Tensionando uma correia.

Outro método é medir a força necessária para produzir uma deflexão conhecida no centro da extensão da correia. Diretrizes gerais não podem ser dadas aqui porque a deflexão depende de um fator de alongamento determinado pelo material e construção da correia, e esse fator pode variar em 10:1 ou mais. Contudo, o fabricante da correia normalmente fornece uma fórmula para essa deflexão. Quando instalar um sistema de correia, sempre monte a polia o mais perto possível do motor para evitar momento de curvatura excessivo no eixo.

Vibração

A maioria dos problemas causados por vibração excessiva serão bastante óbvios, como parafusos soltos. Um que não é tão óbvio é o dano que a vibração pode causar a um mancal estacionário. Se um motor for submetido à vibração prolongada, ou no armazenamento ou montado na máquina sendo raramente usado, as esferas irão aos poucos causar pequenos amassos em seus pontos de contato com a calha. Isso fará com que o mancal torne-se barulhento e aumentará o desgaste.

Taxas IP (Proteção)

As taxas IP são listadas na tabela ao lado. Os primeiros números IP referem-se à proteção contra objetos sólidos, e o segundo número à proteção contra líquidos.

A maioria dos motores de passo e servo motores sem escova são classificados como IP54, embora para maior precisão isso aplique-se somente do flange para trás. Em outras palavras, o corpo do motor é razoavelmente bem vedado mas não há vedação positiva no mancal frontal. Na maioria das aplicações a superfície de apoio dá um grau de proteção ao mancal, e para fins práticos uma classificação geral de IP 54 é aplicável. Contudo, se o motor for montado verticalmente com o eixo para cima, a condensação excessiva pode formar uma poça na caixa do mancal e entrar no motor. Nessas situações será necessária a proteção adicional de uma vedação de eixo.

Para melhorar a classificação para IP65, um vedante do eixo é acrescentado, e todas as juntas metal-metal recebem gaxetas. Todas as vedações do eixo exercem força de fricção sobre o eixo e irão se desgastar. Contudo, a maioria dos motores IP65 tem eixos de aço (exceto para motores de passo que sempre têm eixo de aço inoxidável) e irão sofrer corrosão em condições de umidade. Isso acelera consideravelmente a taxa de desgaste. Portanto, quaisquer esforços para manter umidade, óleo refrigerante, poeira fina, vapores corrosivos, etc. longe do motor valem a pena.

Tabela de Taxas para 1º e 2º números IP

1º: Proteção contra

- 0 Nenhuma proteção.
- 1 Objetos de mais de 50mm, como toque acidental da mão.
- 2 Objetos de mais de 12 mm, como dedos.
- 3 Objetos de mais de 2,5mm, como ferramentas e fios.
- 4 Objetos de mais de 1mm, como pequenos fios e ferramentas.
- 5 Poeira, entrada limitada permitida (nenhum depósito prejudicial).
- 6 Proteção total contra poeira.

2º: Proteção contra

1. Água caindo verticalmente, como condensação.
2. Sprays diretos de água de até 15° da vertical.
3. Sprays diretos de água de até 60° da vertical.
4. Spray de água de todas as direções, ingresso limitado permitido.
5. Jatos de água de baixa pressão de todas as direções, ingresso limitado permitido.
6. Fortes jatos de água, ingresso limitado (como em decks de navios)
7. Imersão entre 15cm e 1m.
8. Longos períodos de imersão sob pressão.

Considerações Térmicas

O torque contínuo (ou torque estático) é o torque constante que o motor pode produzir sem superaquecimento. Esse torque pode ser estimado com o motor montado em três posições - num tanque de calor infinito, num tanque de calor "padrão", normalmente com resistência térmica de cerca de 0,5°C por watt e não montado em nenhuma forma de tanque de calor. O valor mais útil é o obtido no tanque de calor padrão, pois é uma boa aproximação de uma montagem típica. Um suporte muito espesso pode permitir o aumento do torque contínuo em até 20%, a montagem numa placa fina pode implicar num erro de classificação de 20%.

Os torques estimados em outras bases têm valor prático limitado. Um bom fluxo de ar vertical não obstruído, ou o esfriamento forçado, ajudará a aumentar a classificação do torque contínuo.

Paradas em Emergência

Por razões de segurança, é normalmente necessário incorporar algum sistema de parada de emergência nas máquinas com motor de passo e servo motores. Pode haver várias razões para que seja necessária uma parada rápida, sendo as mais óbvias:

- n Evitar danos ao operador se ele errar ou operar a máquina incorretamente.
- n Evitar danos à máquina ou ao produto devido a atolamento.
- n Evitar as conseqüências de falha da máquina.

É necessário considerar as possíveis razões de parada para garantir que sejam adequadamente cobertas.

Métodos de Parada do Motor

Há várias formas de fazer um motor parar rapidamente. A escolha depende da importância de parar no tempo mais curto possível ou de parar em qualquer circunstância. Por exemplo, parar o mais rapidamente possível normalmente significa usar o poder de desaceleração do servo sistema. Mas se o servo motor falhou ou o controle foi perdido, essa não é uma opção. Nesse caso interromper a energia garantirá a parada do motor, mas se a carga tiver alta inércia o tempo para parada pode ser inaceitavelmente longo. Se a carga estiver se movendo verticalmente e puder reverter o motor, há ainda mais complicações. Em casos extremos onde a segurança pessoal estiver em risco, pode ser necessário travar mecanicamente o sistema mesmo que haja risco de dano para a máquina. Os padrões europeus descrevem duas categorias de parada de emergência:

A Categoria 0 envolve parar através da interrupção imediata da energia usando somente componentes eletromecânicos com cabos. Essa deve ser a opção quando somente a interrupção de energia pode garantir uma parada rápida e segura.

A Categoria 1 refere-se a uma parada controlada com a energia mantida para que o motor pare rapidamente seguido pela remoção da energia até que a parada seja alcançada. Nas aplicações de Categoria 0 a situação é bem simples - o circuito de parada de emergência simplesmente interrompe o fornecimento de corrente alternada para o motor. Em motores que incorporam um circuito de depósito de energia, um grau de parada dinâmica pode ser fornecido depois que a energia é interrompida. Mas os capacitores de energia podem levar algum tempo para baixar e isso pode aumentar a distância de parada. Uma alternativa possível é desconectar o motor e remover a fonte de corrente alternada, mas isso não é recomendável. Não somente o tempo de parada depende somente da carga inercial e fricção, como também pode-se danificar certos tipos de motor desconectando-o sem cortar a energia.

A parada de emergência por corte da corrente alternada só deve ser considerada quando sozinha ela garantir a rápida parada. Para aplicações de Categoria 1 precisamos considerar o melhor método para atingir uma parada controlada antes do corte de energia.

Usando Parada Controlada de Torque Total

Aterrar o sinal de entrada a um servo amplificador operando em modo de velocidade fará com que ele desacelere no limite de corrente, ou seja, usando o máximo de torque. Isso cria a desaceleração mais rápida possível, mas só pode ser usado com servo motor de velocidade - a mesma técnica não pode ser usada com amplificador de torque, pois aterrar o sinal de entrada simplesmente produzirá torque zero. No último caso normalmente será necessário confiar numa função do controlador para atingir uma parada rápida. Se estiver usando um servo motor digital com sinais de entrada direcionais e de passo, cortar os pulsos de passo também provocará a rápida desaceleração, mas veja a advertência no final deste capítulo.

A situação é diferente para um motor de passo de loop aberto. Será necessário diminuir a frequência de pulso de passo para zero, para utilizar o torque disponível. Simplesmente cortar os pulsos de passo em velocidades acima da taxa de início-parada irá dessincronizar o motor e o torque de desaceleração não estará mais disponível. Muitos controladores de passo e servo controladores podem gerar rápida desaceleração independentemente da taxa normal programada, a ser usada somente para superar o limite de distância percorrida e em funções de parada de emergência. Essa desaceleração deve ser definida como a mais alta que o sistema pode manipular com segurança.

Usando a Parada Dinâmica

Os servo motores convencionais se comportarão como geradores quando operados mecanicamente. Aplicando uma carga resistiva ao motor, um efeito de parada é produzido e é dependente da velocidade. A desaceleração portanto tende a ser rápida em altas velocidades, mas cai quando o motor se desacelera. Escolhendo cuidadosamente um resistor de carga em relação à velocidade operacional máxima, o motor pode produzir torque de frenagem substancial numa ampla área da faixa de velocidade. Um contador de mudança pode comutar as conexões do motor para carga resistiva, e pode ser à prova de falhas garantindo-se que a parada ocorra se a interrupção de energia falhar.

Mais informações sobre a parada dinâmica podem ser obtidas, incluindo cálculo da resistência de frenagem ótima, num capítulo anterior deste manual.

Usando Parada Mecânica

É freqüentemente possível instalar um freio mecânico ou diretamente no motor ou em outra parte do mecanismo. Contudo, tais freios são normalmente projetados para evitar o movimento com o equipamento desligado e são raramente adequados para fazer o sistema parar rapidamente, particularmente se o motor estiver fornecendo corrente plena no momento.

Freios podem causar fricção mesmo quando soltos, e acrescentar inércia ao sistema - ambos efeitos que aumentam as necessidades de potência. Mas se um freio mecânico for necessário por outras razões, como por exemplo evitar que um eixo vertical caia ou trave o sistema enquanto parado, faz sentido usá-lo como parte da rotina de parada de emergência.

Controle de Parada de Emergência

Reles eletromecânicos convencionais são geralmente o ponto fraco de circuitos de segurança. Seu modo de falha é indeterminado, mas é frequentemente relacionada aos contatos soldados. Os Reles projetados para uso em paradas de emergência têm abrangente proteção contra falha devido à redundância (um relay duplicado que irá operar se o relay primário falhar), e monitoramento cruzado (contatos adicionais que evitam a ressetagem se um relay falhar). Eles também incorporam “diretrizes positivas”, que garantem que contatos normalmente abertos não possam fechar antes que contatos normalmente fechados tenham se aberto.

Para atender às exigências de Categoria 1, uma operação em dois estágios é necessária, na qual uma parada controlada é seguida pelo corte da corrente alternada. O primeiro estágio da parada controlada pode depender de software e do uso de lógica eletrônica. O segundo estágio pode garantir o corte de corrente alternada através de componentes eletromecânicos. A parada dinâmica também pode ser introduzida nesse ponto para auxiliar a rápida parada no caso de falha do controlador.

Os Reles de parada de emergência, projetados para Categoria 1, incorporam contatos de “atraso por desenergização” que são inerentemente à prova de falhas (ver Fig.10.1). Os timers de atraso convencionais não podem ser usados, pois não têm a redundância à prova de falhas necessária.

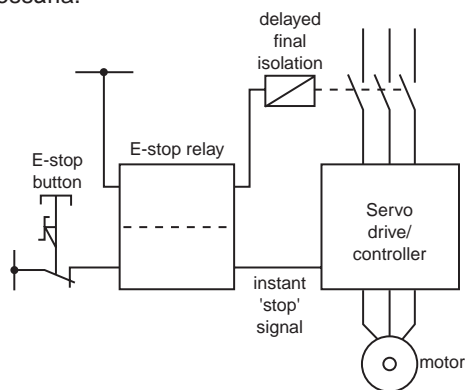


Fig. 10.1 Circuito de parada de emergência de dois estágios.

ADVERTÊNCIA - deve-se garantir que a taxa de desaceleração usada nas condições de parada de emergência possa ser manipulada com segurança pela mecânica do sistema. Se o pico de torque disponível no servo motor for bem maior que o normalmente usado, pode haver risco de dano mecânico quando desacelerando no limite de corrente total. Isso é particularmente válido se uma engrenagem de alta razão estiver sendo usada.

Mais Informações

Um folheto com mais detalhes sobre muitos aspectos de segurança de máquina foi publicado pela Pilz UK. Ele inclui capítulos sobre padrões europeus, avaliação de risco, componentes e diagramas de fiação para muitos tipos de circuitos de segurança. Agradecemos à permissão da Pilz UK para utilizar essa informação na confecção deste manual.

Aterramento de Segurança

Todo equipamento mantido dentro de uma cabina de metal e que transporta corrente alternada deve ter um aterramento de proteção. Em condições de falha, essa conexão deve ser capaz de lidar com qualquer falha de corrente até que a proteção corte o suprimento. Na prática, isso significa que o cabo usado para o aterramento de proteção deve ser no mínimo equivalente em capacidade de transporte de corrente para os cabos.

O aterramento de proteção pode ser feito com condutores de cobre ou partes estruturais eletricamente conectadas. Se a conexão de aterramento for formada por componentes estruturais, eles devem ter uma área transversal no mínimo equivalente ao condutor de cobre necessário para a mesma tarefa.

Não é necessário que os condutores do aterramento de proteção dentro da cabina sejam isolados; se forem o isolamento deve ser verde/amarelo. Os condutores de proteção internos em conjuntos como cabos fita e cabos flexíveis estão isentos dessa obrigatoriedade.

O terminal para conexão de aterramento de proteção externo com a máquina devem ser identificados com as letras PE (ver Fig. 10.2). Não use a identificação PE para quaisquer outros terminais no sistema - as conexões de aterramento de proteção de outros componentes como motores devem ser identificadas com os símbolos mostrados no diagrama ou a cor verde/amarela. Não use o terminal PE para qualquer outro fim, como conexão 0v.

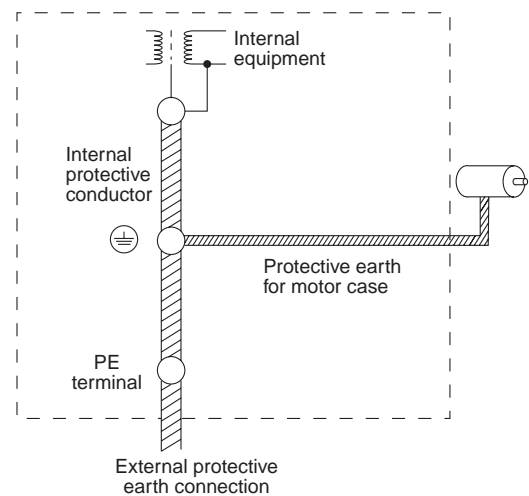


Fig. 10.2 Conexões e símbolos do aterramento de segurança.

Observe se não há conexões ou combinações de plugs-socketes que possam interromper a união de proteção. O circuito condutor de proteção só deve ser cortado depois que um circuito condutor vivo for quebrado, e deve ser re-estabelecido antes que o circuito vivo seja restaurado.

Mais informações sobre a segurança do aterramento pode ser encontrada na Norma de Segurança de Máquina BS EN60204-1 Parte 1.

Sensores de Limite em Aplicações de Segurança Crítica

Em muitas aplicações de baixo consumo de energia, a provisão para os sensores de limite de distância percorrida é uma questão de conveniência operacional ou um meio de evitar danos mecânicos. Em um caso ou outro, há normalmente uma escolha entre os tipos de sensores adequados, dependendo de fatores como espaço disponível e facilidade de incorporação de um atuador apropriado. Mas em situações em que a segurança for o mais importante, como quando a falha em parar pode causar danos pessoais, é essencial usar o tipo correto de sensor e instalá-lo de maneira intrinsecamente segura.

Podemos dividir os sensores de limite de máquina em duas categorias - de contato e de não-contato. Os sensores de contato são normalmente microchaves convencionais; os tipos de não-contato incluem detetores de proximidade (capacitivos, indutivos ou óticos) bem como sensores *reed*. Todos os tipos podem ser usados em aplicações não críticas, mas microchaves rolantes mecanicamente operados são inerentemente muito mais seguros que os tipos de não contato. Aplicações em que a segurança é crítica exigem que os sensores de limite sejam dispositivos de “acionamento positivo”. Isso significa que os sensores de contato são diretamente combinados ao atuador via um componente não resiliente que garante que os contatos sejam abertos mesmo quando há solda, não se pode contar com as molas internas para abrir os contatos. Não use sensores de proximidade que são mais facilmente inutilizados.

Os sensores devem ser arranjados de forma que possam ser sobreutilizados, use sensores duplos se necessário. Eles também devem ser ligados a um circuito de Parada de Emergência (nesse caso a emergência deve ser ressetada mesmo quando o limite ainda estiver presente para permitir que o sistema seja desconectado). Os circuitos de entrada do sensor de limite são arranjados de forma que um circuito fechado é necessário para operação normal. Isso garante que uma condição de limite seja detectada se as conexões para o sensor de limite forem cortadas ou tornarem-se circuitos-abertos. Um lado do sensor deve ser comum à fonte de corrente contínua (e não ao aterramento) - ver Fig. 10.3. Dessa forma um curto circuito para o terra de uma das conexões do comutador criará uma condição limite mesmo se o suprimento de corrente for cortado ao mesmo tempo.

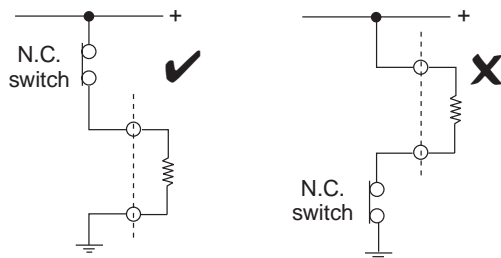


Fig. 10.3 Conexões de comutador de limite preferenciais e não preferenciais.



Parker Hannifin Ind. Com. Ltda.
Av. Lucas Nogueira Garcez 2181
Esperança Caixa Postal 148
12325-900 Jacareí, SP
Tel.: 12 3954-5100
Fax: 12 3954-5262
www.parker.com.br

Parker Hannifin

A Parker Hannifin

A Parker Hannifin é uma companhia líder mundial na fabricação de componentes destinados ao mercado de Controle do Movimento, dedicada a servir seus clientes, prestando-lhes um impecável padrão de atendimento. Classificada como a corporação de número 200 pela revista Fortune, nossa empresa está presente na Bolsa de Valores de Nova York e pode ser identificada pelo nosso símbolo PH. Nossos componentes e sistemas somam mais de 1.000 linhas de produtos, os quais têm a função essencial de controlar movimentos em um amplo segmento entre o Industrial e o Aeroespacial em mais de 1.200 mercados. A Parker é o único fabricante a oferecer aos seus clientes uma ampla gama de soluções hidráulicas, pneumáticas e eletromecânicas para o controle de movimentos. Nossa companhia possui a maior rede de Distribuidores Autorizados neste campo de negócios, com mais de 6.000 distribuidores, atendendo mais de 300.000 clientes em todo o mundo.

A Missão da Parker

Ser o líder mundial na manufatura de componentes e sistemas para fabricantes e usuários de bens duráveis. Mais especificamente, nós iremos projetar, vender e fabricar produtos para o controle do movimento, vazão e pressão.

Nós alcançaremos crescimento lucrativo através da excelência no serviço ao cliente.

Informações sobre Produtos

Os clientes Parker Hannifin no Brasil dispõem de um Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC, que lhes prestará informações sobre produtos, assistência técnica e distribuidores autorizados mais próximos, através de uma simples chamada grátis para o número 0800-11-7001.

Aeroespacial

Líder em desenvolvimento, projeto, manufatura e serviços de sistemas de controle e componentes para o mercado aeroespacial e segmentos relacionados com alta tecnologia, alcançando crescimento lucrativo através de excelência no atendimento ao cliente.



Climatização e Controles Industriais

Projeta, manufatura e comercializa componentes e sistemas para controle de fluidos para refrigeração, ar condicionado e aplicações industriais em todo o mundo.



Fluid Connectors

Projeta, manufatura e comercializa conectores rígidos e flexíveis como mangueiras, conexões e produtos afins para aplicação na condução de fluidos.



Seal

Executa projeto, manufatura e comercializa vedações industriais, comerciais e produtos afins, oferecendo qualidade superior e satisfação total ao cliente.



Hidráulica

Projeta, manufatura e comercializa uma linha completa de componentes e sistemas hidráulicos para fabricantes e usuários de máquinas e equipamentos no segmento industrial e mobil.



Filtração

Projeta, manufatura e comercializa produtos para filtração e purificação, provendo a seus clientes maior valor agregado, com qualidade, suporte técnico e disponibilidade global para sistemas.



Automação

Líder no fornecimento de componentes e sistemas pneumáticos e eletromecânicos para clientes em todo o mundo.



Instrumentação

Líder global em projeto, manufatura e distribuição de componentes para condução de fluidos em condições críticas para aplicações na indústria de processo, ultra-alta-pureza, médica e analítica.



Parker Hannifin Filiais

Belo Horizonte - MG

Rua Pernambuco 353 - Conjuntos 306/307
Funcionários
30130-150 Belo Horizonte, MG
Tel.: 31 3261-2566
Fax: 31 3261-4230
belohorizonte@parker.com

Campinas - SP

Rua Tiradentes 289 - salas 21 e 22
Guanabara
13023-190 Campinas, SP
Tel.: 19 3235-3400
Fax: 19 3235-2969
campinas@parker.com

Curitiba - PR

Rua Eduardo Sprada 6430
CIC - Cidade Industrial de Curitiba
81290-110 Curitiba, PR
Tel.: 41 317-4400/0800-414011
Fax: 41 317-4401/0800-417011
curitiba@parker.com

Vale do Paraíba - Jacareí - SP

Av. Lucas Nogueira Garcez 2181
Esperança Caixa Postal 148
12325-900 Jacareí, SP
Tel.: 12 3954-5100
Fax: 12 3954-5262
valeparaiba@parker.com

Porto Alegre - RS

Av. Frederico Ritter 1100
Distrito Industrial
94930-000 Cachoeirinha, RS
Tel.: 51 470-9144
Fax: 51 470-6909
portoalegre@parker.com

Recife - PE

Rua Santa Edwirges 135
Bairro do Prado
50830-000 Recife, PE
Tel.: 81 3227-3376
Fax: 81 3227-6064
recife@parker.com

Rio de Janeiro - RJ

Av. das Américas 500 - Bl. 20 - Sl. 233 - Downtown
Barra da Tijuca
22640-100 Rio de Janeiro, RJ
Tel.: 21 2491-6868
Fax: 21 3153-7572
riodejaneiro@parker.com

São Paulo - SP

Rodovia Anhanguera km 25,3
Perus
05276-977 São Paulo, SP
Tel.: 11 3917-1222 - Ramal 263
Fax: 11 3917-1690
saopaulo@parker.com

falecom@parker.com
0 8 0 0 - 1 1 - 7 0 0 1
www.parker.com.br



Parker Hannifin Ind. Com. Ltda.
Av. Lucas Nogueira Garcez 2181
Esperança Caixa Postal 148
12325-900 Jacareí, SP
Tel.: 12 3954-5100
Fax: 12 3954-5262
automat.brazil@parker.com

Distribuidor Autorizado

