

Aula -2 Motores de Corrente Contínua com Escovas

Introdução

Será descrito neste tópico um tipo específico de motor que será denominado de motor de corrente contínua com escovas. Estes motores possuem dois terminais. Aplicando-se uma tensão através destes terminais resulta em uma velocidade proporcional do eixo à tensão aplicada em regime permanente.

Há duas peças no motor: 1) estator e 2) rotor. O estator inclui a caixa, os magnetos permanentes e as escovas. O rotor consiste do eixo, enrolamentos e o comutador. A Fig. 1 mostra um motor com as principais partes expostas. Note que nesta figura são mostradas a caixa de redução e o encoder associados ao motor.

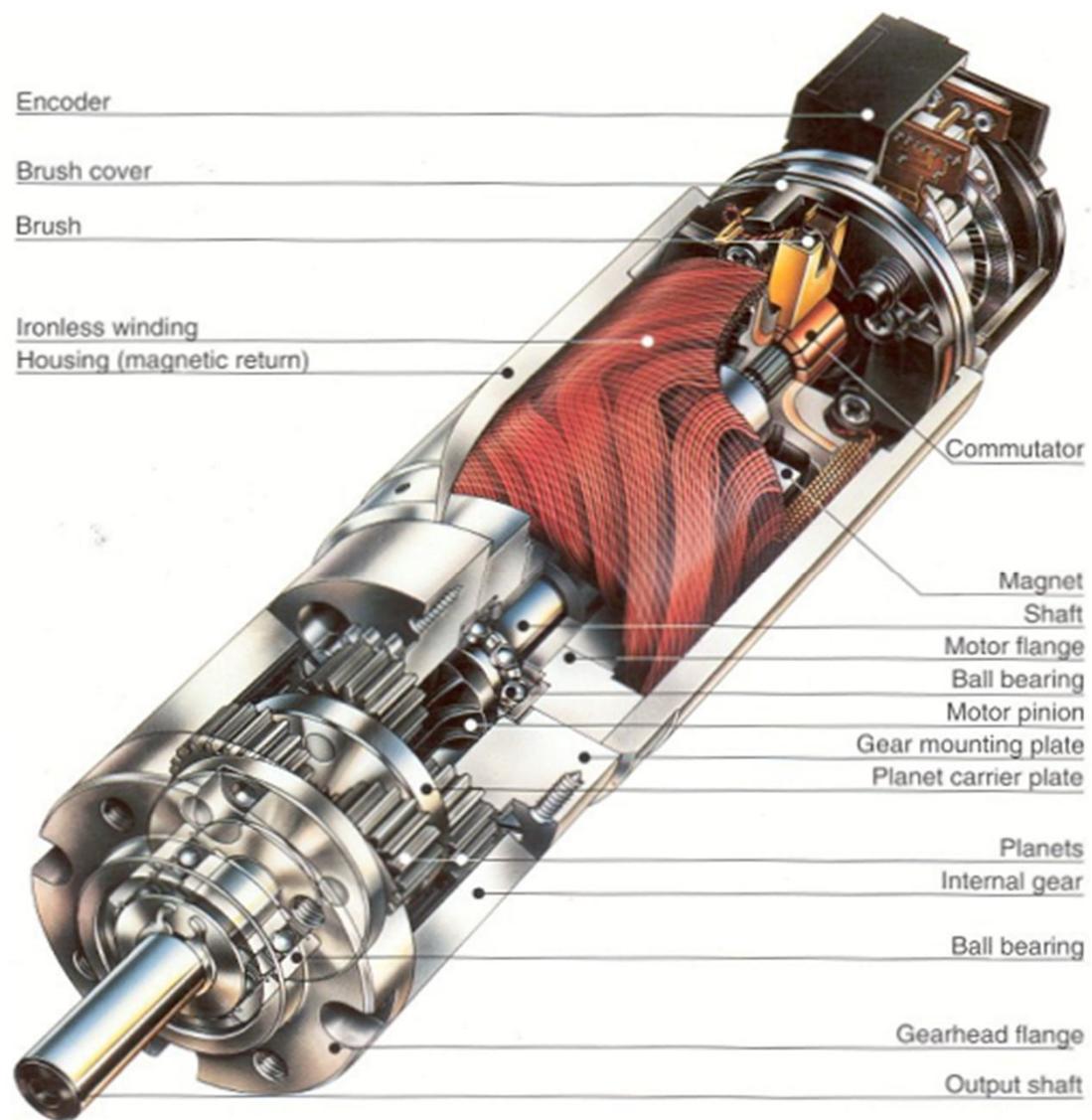


Fig. 1 - Vista de um motor de corrente contínua com escovas.

Física do Motor

As forças internas ao motor que causam a rotação do rotor são chamadas de Forças de Lorentz. Se um elétron passa através de um campo magnético ele sofre uma força. Se houver uma corrente passando por um fio através de um campo magnético, o fio sofrerá uma força proporcional ao produto da corrente (expressa em termos vetoriais, incluindo a direção do fluxo) e o campo magnético:

$$\vec{F} \propto \vec{I} \times \vec{B}$$

Pode-se calcular a direção da força usando a Regra da Mão Direita. Nesta regra se na mão direita, o dedo indicador apontar na direção da corrente, I , e o dedo médio apontar na direção do campo magnético, B , a direção da força será dada pelo polegar Fig. 2.

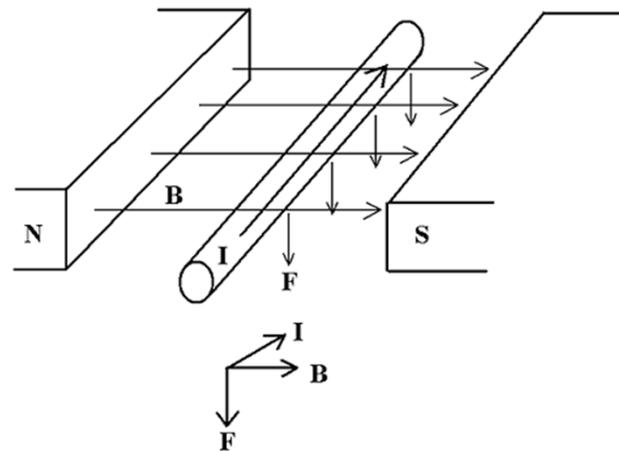


Fig. 2 - Regra da Mão Direita.

Considere então que o fio simples será trocado por uma espira. Entre os polos magnéticos, esta espira se comportará como dois fios com correntes fluindo em direções opostas. As forças neste fio causarão uma rotação na espira (Fig. 3).

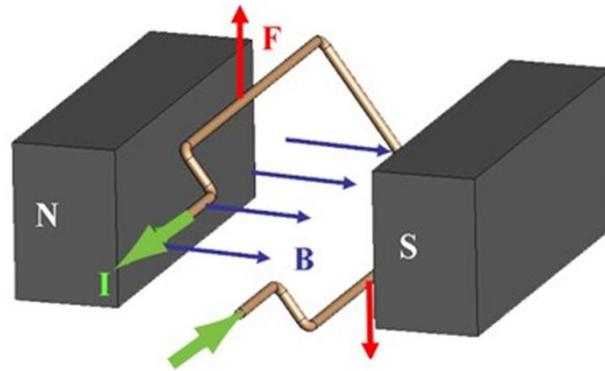


Fig. 3 - Força aplicada no enrolamento do motor.

O enrolamento consiste de várias espiras que são conectador ao rotor para gerar a rotação. Isto feito, a magnitude e direção das forças nos fios permanecem aproximadamente constantes. Entretanto o torque resultante varia com o ângulo (Fig. 4). Quando o enrolamento se move, o momento no enrolamento é reduzido e o torque decresce. Na posição vertical não há torque.

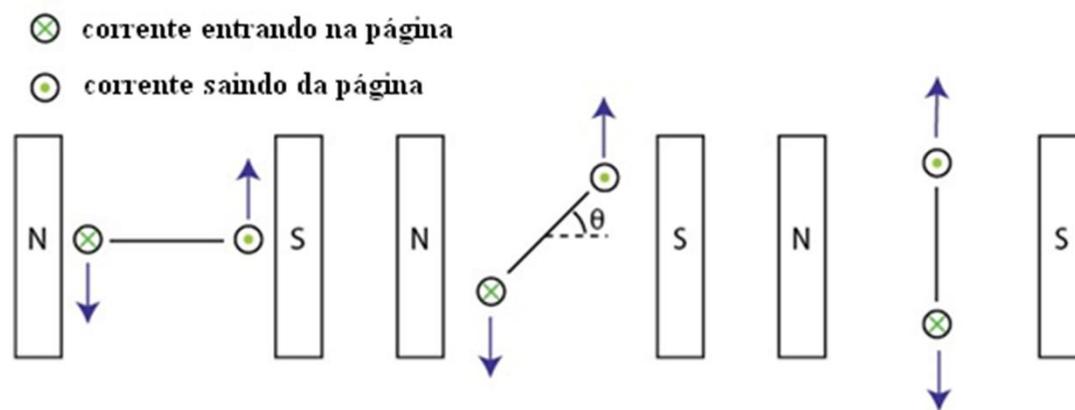


Fig. 4 - Variação do torque com o ângulo.

Para manter o torque constante no rotor duas coisas podem ser feitas. Primeiro, pode-se reverter a corrente no enrolamento todo meio ciclo. Fazendo isto o torque será sempre na mesma direção, ao invés de ser alternado. Segundo, enrolamentos adicionais podem ser colocados com diferentes ângulos ao redor do motor, fazendo com que o torque resultante torne-se a soma dos torques destes enrolamentos (representados na figura por diferentes cores). O torque resultante é sempre maior que zero, mas não é constante. Esta variação do torque é chamada de ondulação do torque (*torque ripple*).

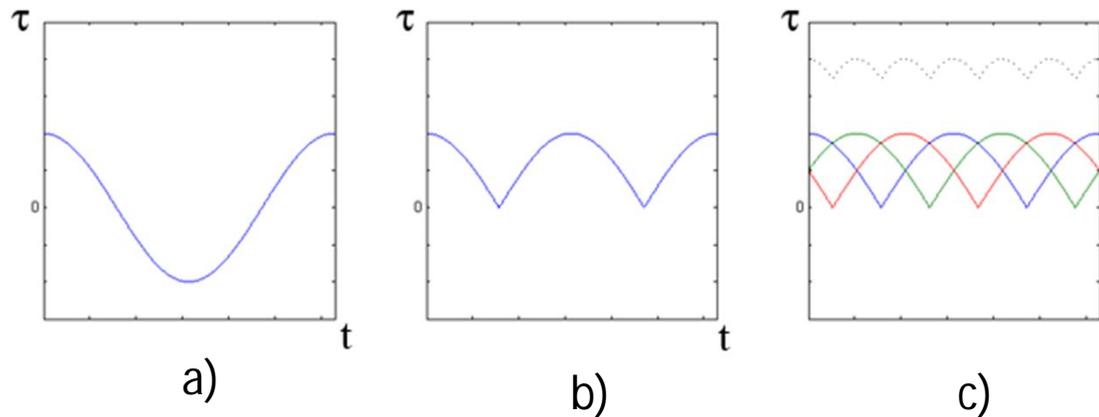


Fig. 5 - Torque a) sem comutação; b) com comutação; e c) vários enrolamentos com comutação.

O processo de chaveamento da direção da corrente é chamada de comutação. Para chavear a direção da corrente utiliza-se escovas e comutadores. As escovas são conectadas aos fios externos do motor e os segmentos do comutador deslizam sobre as escovas de modo que as correntes através dos enrolamentos são chaveadas com um ângulo apropriado. As comutações podem ser feitas também de forma eletrônica. A Fig. 6 mostra como as escovas e os comutadores atuam.

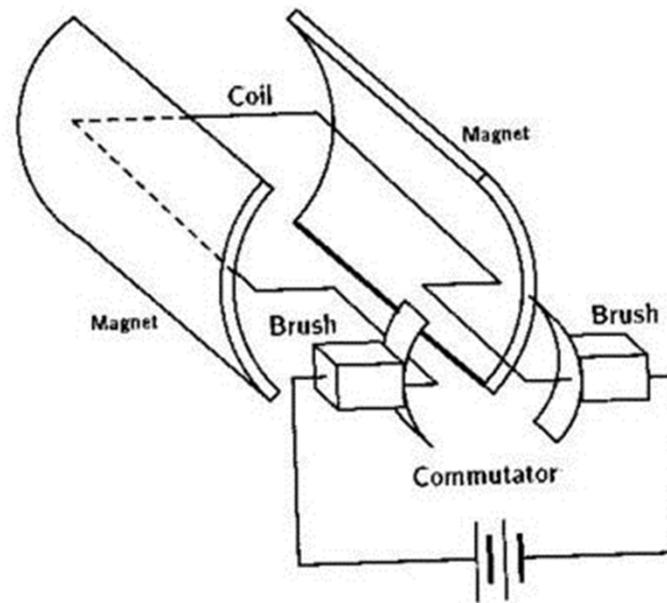


Fig. 6 - Mecanismo de comutação .

Equações

Escrevendo a equação de conservação de energia do motor. A potência de entrada é elétrica (P_{el}) e o motor a converte em potência mecânica (P_{mec}). Entretanto alguma potência é perdida como calor, devido ao aquecimento ôhmico do enrolamento do motor (P_j).

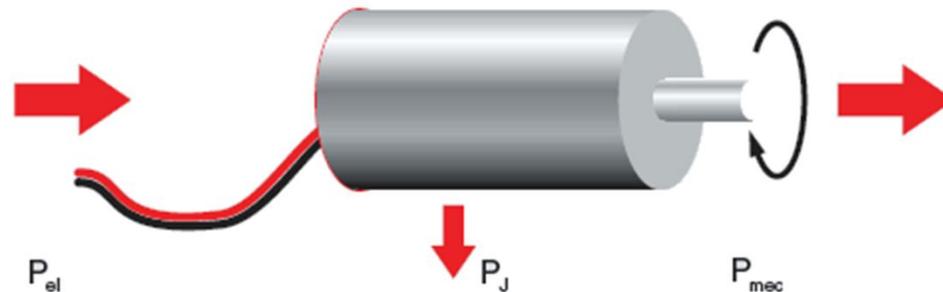


Fig. 7 - Potências em um motor cc.

$$P_{elec} = P_{heat} + P_{mech}$$

Pode-se reescrever esta equação em termos elétricos e mecânicos como sendo

$$i v_m = i^2 R + \tau \omega$$

onde v_m é a tensão entre os terminais do motor, i é a corrente através do motor, τ é o torque produzido pelo motor e ω é sua velocidade angular.

Os fios do enrolamento tem resistência R e indutância L. Da equação do motor obtem-se

$$v_m = iR + L \frac{di}{dt} + v_{emf}$$

onde v_{emf} é chamada de força contra-eletromotriz. A força contra-eletromotriz é proporcional a velocidade do motor,

$$v_{emf} = \frac{n}{k_n}$$

Onde n é a rotação em rpm (rotações por minuto) e k_n é chamada de constante de velocidade, a sua inversa é chamada de constante elétrica, k_e , que depende do projeto do motor. O termo força contra-eletromotriz indica que qualquer motor é também um gerador: se o rotor do motor sofre um k_e giro, pode-se obter uma tensão em seus terminais. Este é o princípio usado em usinas hidroelétricas.

O torque gerado pelo motor é proporcional a corrente que passa através dos enrolamentos, onde a constante de proporcionalidade é chamada de **constante de torque** k_t ou **constante do motor** k_M :

$$\tau = k_M i$$

A constante de torque tem o mesmo valor numérico da inversa da constante de velocidade quando expresso na mesma unidade do Sistema Internacional (usar radianos no lugar de rotações, e segundos no lugar de minutos), de modo que é exatamente uma constante que descreve como o motor converte corrente em torque e velocidade angular em tensão.

Para entender isto, lembre que a potência $i v_m = i^2 R + \tau \omega$, dividindo por i , obtem-se $v_m = iR + k_M \omega$; em outras palavras, $k_M \omega$ é substituído por $v_{emf} = n / k_n$ na equação da tensão do motor (onde $di / dt = 0$).

Deseja-se de modo geral obter as características do motor em estado estacionário, quando a corrente i é constante. O termo $L di / dt$ torna-se zero, obtendo-se

$$v_m - v_{emf} - iR = 0$$

que, usando as relações $v_{emf} = n / k_n$ e $\tau = k_M i$, pode ser expresso de forma equivalente como sendo

$$n = k_n \left(v_m - \frac{R}{k_M} \tau \right)$$

Esta equação permite que se construa um gráfico da velocidade pelo torque do motor. Dando uma constante v_m , pode-se colocar no gráfico a velocidade do motor como função do torque que é produzido (em estado estacionário). Esta curva é uma linha reta, como mostra a Fig. 8. Esta equação permite o cálculo do torque inicial (**stall torque**), fazendo $n=0$. Este é o máximo torque que o motor pode gerar. Pode-se também calcular a corrente inicial (**stall current**) pela divisão do torque inicial pela constante do motor (de forma equivalente, dividindo v_m por R). Esta é a máxima corrente que o motor pode manipular. Pode-se também calcular a velocidade do motor sem carga (**no-load speed**), a máxima velocidade que o motor pode atingir, assumindo que o torque seja zero (isto é, não há fricção no movimento) e considera-se $\tau = 0$

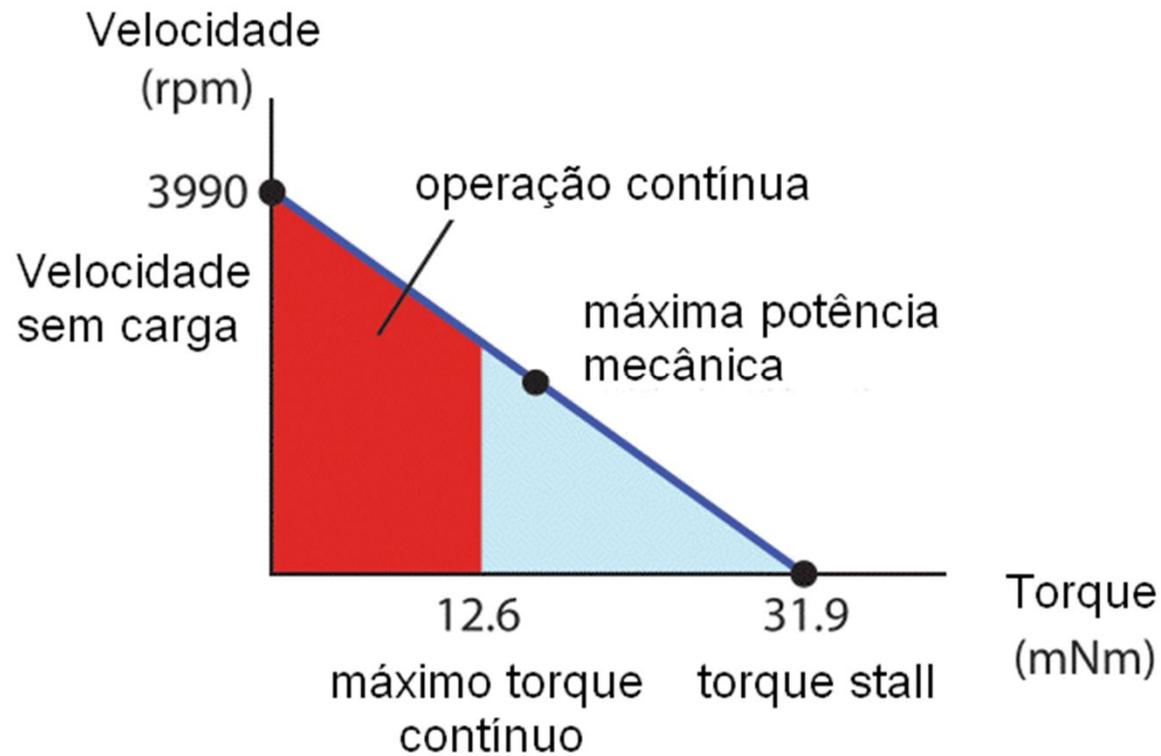


Fig. 78 - Curva velocidade X torque em um motor cc.