

# Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Freqüência WEG

Departamento de P&D do Produto – Motores – WEG Equipamentos Elétricos S.A.

## INTRODUÇÃO

O uso de motores elétricos com inversores de freqüência tem aumentado expressivamente nos últimos anos. As principais razões em optar por um conjunto motor e inversor de freqüência, ao invés de um motor com velocidade fixa, são: ajuste de velocidade, economia de energia, controle de posição e partida suave.

Motores de diversas tecnologias podem ser acionados por inversores de freqüência, como: indução CA, síncrono, síncrono de ímãs permanentes, de relutância chaveado, etc.

As aplicações com motor e inversor são amplas e variadas, entre as quais podem ser citadas: lavadoras de roupa, bombas, ventiladores, compressores, sopradores, máquinas ferramentas, elevadores, servoacionamentos, equipamentos de refrigeração, condicionadores de ar, aplicações automotivas, esteiras e muitas outras.

Seguindo as tendências de mercado, o uso de motores síncronos de ímãs permanentes se encontra em ampla expansão, também na indústria, pois o motor possui alto rendimento, baixo volume e peso, torque suave, baixo nível de vibração e ruído, ampla faixa de rotação com torque constante e, com o advento, a partir dos anos 80, dos ímãs de Neodímio Ferro Boro (NdFeB), de elevada energia, houve um aumento do número de aplicações, onde se utiliza esta tecnologia.

## ÍMÃ PERMANENTE

Para motores elétricos de alta performance é de grande interesse que os ímãs permanentes apresentem um elevado campo coercitivo ou coercividade ( $H_c$ ) e elevada indução remanente ou remanência ( $B_r$ ). Um elevado  $H_c$  impede que o ímã seja facilmente desmagnetizado e um alto valor de  $B_r$  resulta em um fluxo magnético elevado. A Figura 1 apresenta a curva típica de desmagnetização de um ímã qualquer.

O ímã de Neodímio-Ferro-Boro (NdFeB) possui remanência e coercividade elevadas quando comparado ao ímã de ferrite (cerâmico), resultando em uma maior energia. Desta forma, motores projetados com NdFeB têm dimensões menores do que os motores com ímãs de Ferrite. Em contrapartida, os ímãs de Ferrite são consideravelmente mais baratos do que os de NdFeB.

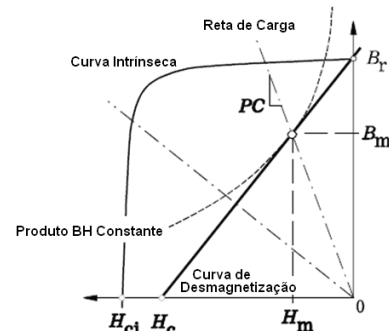


Figura 1 – Curva B x H do ímã

Uma das características dos ímãs de NdFeB é a redução da remanência e da coercividade com o aumento da temperatura. Os ímãs de Ferrite e de NdFeB são mais influenciados pela temperatura do que os ímãs de Samário-Cobalto.

No entanto, nos últimos anos, as propriedades dos ímãs, particularmente os de NdFeB têm sido continuamente aperfeiçoadas pelos fabricantes. Estes possuem remanência ( $B_r$ ) cada vez mais elevada e resistem mais à desmagnetização e à temperatura. Os ímãs usados pela WEG são adequados para trabalharem com temperaturas de até 180°C.

## MOTORES SÍNCRONOS A ÍMÃS PERMANENTES

Motores síncronos a ímãs permanentes (Permanent Magnet Synchronous Motor - **PMSM**) alimentados por inversor de freqüência podem ser utilizados na indústria, onde a variação de velocidade com torque constante e alto desempenho são requeridos, como em compressores e esteiras transportadoras, etc.

Os PMSMs também estão sendo usados em aplicações onde confiabilidade, torque suave, baixos níveis de vibração e ruído são fundamentais, como em elevadores.

Além disso, são muito atrativos para aplicações com espaço reduzido e necessidade de eliminação de redutores, pois os PMSMs possuem tamanho e volume reduzidos e podem funcionar em uma ampla faixa de velocidades, sem necessidade de ventilação independente.

Há dois tipos principais de PMSM: brushless DC e brushless AC.

### PMSM - BRUSHLESS DC

O motor é projetado para desenvolver uma forma de onda da força contra eletromotriz (*fcem*) trapezoidal e a forma de onda da corrente de alimentação idealmente retangular para geração de torque suave, conforme mostrado na Figura 2.

Para se obter a *fcem* trapezoidal, em geral, os ímãs permanentes são montados na superfície do rotor.

O controle do acionamento trapezoidal é mais simples, pois não há necessidade de ter um sensor de posição de alta resolução no rotor, uma vez que somente seis instantes de comutação da corrente das três fases devem ser monitorados a cada ciclo elétrico. Além disso, requer somente um sensor de corrente no link CC. Desta forma, o custo do *drive* é menor. Entretanto, este tipo de motor apresenta um torque mais pulsante em relação ao brushless AC.

Geralmente, estes motores são utilizados em aplicações de baixas potências, alguns poucos kW, e não necessitem de alta performance. Para aplicações com potências maiores e alta performance, o acionamento brushless DC apresenta desvantagens em relação ao motor brushless AC.

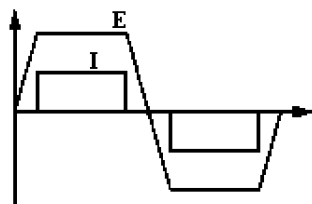


Figura 2 – Formas de onda da *fcem* e da corrente de alimentação

### PMSM - BRUSHLESS AC

O brushless AC por sua vez, é projetado para que a *fcem* e a corrente de alimentação sejam senoidais, resultando em um torque suave.

A *fcem* senoidal requer uma distribuição dos enrolamentos do estator aproximadamente senoidal no entreferro e/ou uma forma de onda da indução magnética (B) radial, gerada pelos ímãs, com variação senoidal no entreferro.

O motor pode ser projetado com ímãs superficiais ou ímãs internos no rotor, conforme Figuras 4a e 4b, respectivamente.

Ao contrário do acionamento trapezoidal, o controle do acionamento senoidal é mais complexo, pois são necessários sensores de correntes em cada fase e um sensor de posição de alta resolução para manter a sincronização precisa da forma de onda da corrente com a posição angular do rotor em cada instante de tempo. O sensor de posição pode ser um encoder óptico ou resolver.

O motor brushless AC, em geral, é utilizado em aplicações onde se necessita de alto desempenho.

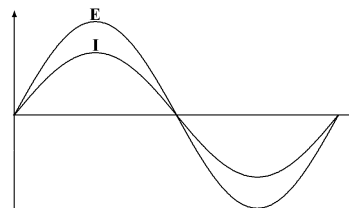


Figura 3 – Formas de onda da *fcem* e da corrente de alimentação

### MOTOR COM ÍMÃS SUPERFICIAIS E INTERNOS - BRUSHLESS AC

O motor com ímãs superficiais, Figura 4a, também é conhecido como motor de pólos lisos, pois as indutâncias do eixo direto ( $L_d$ ) e quadratura ( $L_q$ ) são praticamente iguais e constantes.

O motor de ímãs internos ou pólos salientes, Figura 4b, possui ímãs montados internamente no rotor. Devido à geometria do rotor, este tende a produzir saliência e indutâncias  $L_d$  e  $L_q$  diferentes. Esta saliência produz torque de relutância que, somado ao torque eletromagnético devido aos ímãs, produz um maior torque resultante. Os motores de ímãs internos são capazes de funcionar em uma grande faixa de velocidades acima da nominal, com potência constante, fig.6.

O motor com ímãs superficiais apresenta uma limitada capacidade de operar em velocidades acima da nominal, com potência constante, devido à baixa indutância resultante do grande entreferro.

Outra vantagem do motor com ímãs internos sobre os ímãs superficiais são: ímãs inseridos no interior do rotor, o que permite que o ímã fique protegido contra a força centrífuga.

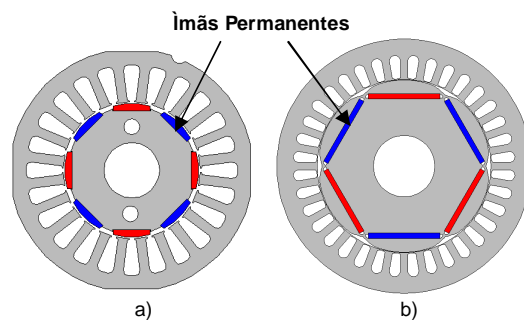


Fig. 4. – a) Motor com ímãs superficiais. b) Motor com ímãs internos

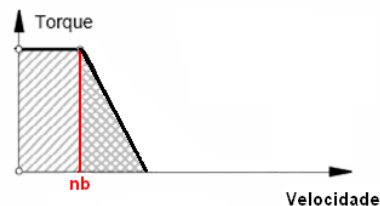


Figura 5 – Curva de torque x velocidade do motor com ímãs superficiais

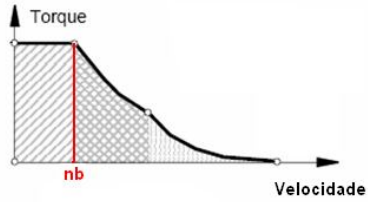


Fig. 6 – Curva de torque x velocidade do motor com ímãs internos

### MOTORES DE ÍMÃS PERMANENTES WEG (WMAGNET)

O acionamento do motor de ímãs WEG é do tipo Brushless AC com ímãs no interior do rotor (pólos salientes) e ímãs de alta energia (NdFeB).

Os motores Wmagnet com ímãs de NdFeB quase não possuem perdas Joules ( $R I^2$ ) no rotor, ao contrário dos motores de indução com gaiola de esquilo convencional. Como as perdas Joule são uma parcela significativa das perdas totais nos motores de indução, retirando a gaiola de esquilo e substituindo-a por ímãs, o Wmagnet assegura um rendimento muito maior do que os encontrados nos motores das linhas Standard e Alto Rendimento Plus, conforme Figura 7.

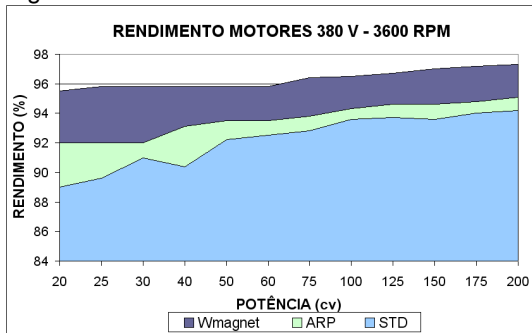


Figura 7 – Gráfico comparativo de rendimento dos motores Wmagnet, Alto Rendimento Plus e Standard

Os ímãs no rotor garantem uma grande redução nas perdas elétricas e conseqüentemente asseguram uma menor elevação da temperatura do motor. Devido a estas vantagens, o volume e peso do Wmagnet comparado a um motor de indução de mesma potência é menor e o tempo de vida é significativamente aumentado, conforme pode ser observado nos gráficos da Figura 8.

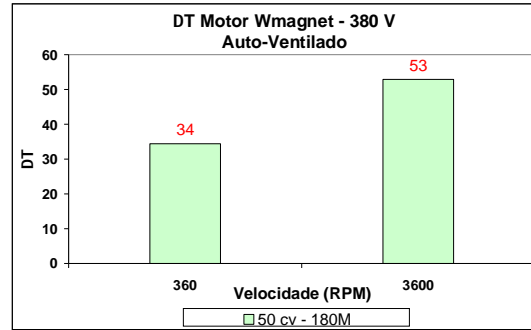


Figura 8 –  $\Delta T$  para faixa de rotação 10:1

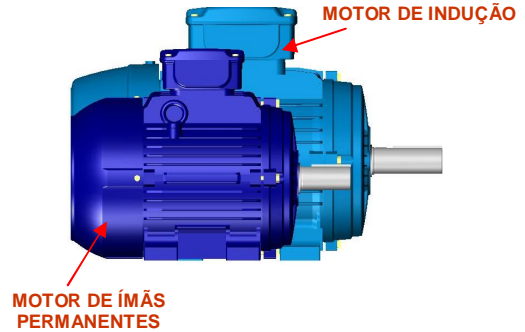


Figura 9 – Comparação de volume entre motor de indução e motor de ímãs

Comparado a um motor de indução equivalente, o volume do Wmagnet é reduzido em aproximadamente 47%, resultando em uma alta relação de torque/volume e uma redução de 36% no peso.

Para uma mesma relação de torque/potência, diminuindo-se o tamanho da carcaça, o sistema de resfriamento também é reduzido. Desta forma, é verificado um significativo decréscimo no nível de ruído causado pelo ventilador acoplado ao eixo do motor, conforme gráficos da Figura 10.

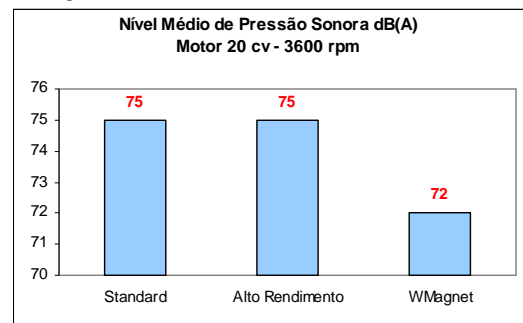


Figura 10 – Gráfico comparativo do nível de ruído entre os motores Wmagnet, Alto Rendimento Plus e Standard

Outra grande vantagem do Wmagnet auto-ventilado é que este pode operar com torque constante em uma ampla faixa de velocidade, conforme mostrado na Figura 11.

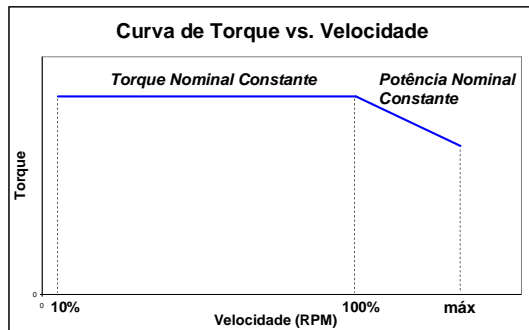


Fig. 11 – Curva de torque nominal constante

### **INVERSOR WEG (CFW11 MAGNET)**

Um inversor CFW11, com software especial desenvolvido pela WEG, é necessário para acionar o Wmagnet. Ele utiliza o método de controle vetorial, que permite o controle de torque mesmo em velocidade nula e também em altas rotações.

O acionamento de motores de ímãs convencionais necessita de um sensor de posição de alta resolução no rotor. Contudo, a utilização destes sensores aumenta o custo do acionamento. Desta forma, a WEG desenvolveu e implementou no inversor CFW11 uma nova tecnologia *sensorless* (sem sensor), que possui um avançado algoritmo de controle que estima a posição e velocidade e elimina o sensor de posição, reduzindo o custo do acionamento.