

## MOTORES DE ÍMANS PERMANENTES PARA APLICAÇÕES DE ALTA EFICIÊNCIA.

### Resumo

Motores de ímãs permanentes (motores PM) podem ser utilizados em praticamente todas as aplicações, tais como bombas, elevadores, compressores, ventiladores, extrusoras, geradores, veículos elétricos, servoacionamentos, torres de refrigeração, eletrodomésticos, etc. Este artigo apresenta algumas aplicações para evidenciar que o uso de motores PM traz melhorias em eficiência energética e qualidade do processo.

### 1. Introdução

De acordo com estudos recentes [1], sistemas acionados por motores elétricos representam de 43% a 46% de todo o consumo global de energia elétrica. Os motores de indução têm sido o tipo de acionamento mais usado na indústria, devido à robustez, fiabilidade e facilidade de operação (ligação direta à rede de energia, sem necessidade de controlo eletrónico), embora em muitas aplicações os acionamentos de velocidade variável oferecem um grande potencial de economia de energia [2]. Neste cenário os motores PM são competitivos face aos motores de indução, pois têm um maior rendimento e não necessitam de ventilação forçada nem sobredimensionamento para funcionamento com binário constante.

### 2. Motores de ímãs permanentes (PM)

Os motores PM têm um maior rendimento comparativamente com outros motores, devido à ausência de perdas joule no rotor, e ao elevado fator de potência devido ao fluxo magnético de excitação fornecido pelos ímãs permanentes. Como os motores PM não têm perdas joule no rotor, a temperatura dos rolamentos é mais baixa, e o tempo de vida é maior. Apresentam também um rendimento significativamente maior nas baixas velocidades comparativamente com os restantes motores de indução, como mostrado na figura 1.

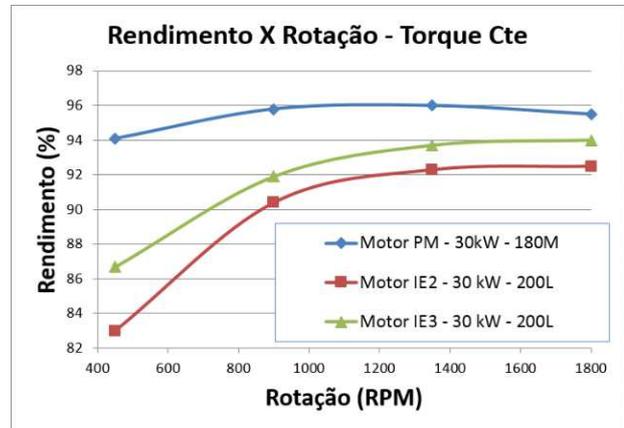


Figura 1. Rendimentos numa faixa de velocidade de 4:1 com binário constante para três motores: um motor síncrono de ímãs permanentes e dois motores de indução categoria IE2 e IE3 segundo IEC.

### 3. Características construtivas

Motores PM podem ter diferentes características construtivas. Os ímãs podem ser colocados na superfície ou dentro do rotor, o rotor pode ser externo ou interno, os enrolamentos podem ser do tipo distribuído (como nos motores de indução) ou do tipo bobinado sobre o pólo (como nos motores universais). Eles podem usar ímãs de ferrite (baixa energia e baixo custo) ou ímãs de terras-raras (alta energia, alto custo), estes últimos permitindo motores mais compactos e com maior relação binário/volume. Além disso, eles podem ser classificados como BLAC (*Brushless Alternating Current*) ou BLDC (*Brushless Direct Current*). Os primeiros usam um acionamento com corrente sinusoidal (a sua força contraelectromotriz é sinusoidal), e os últimos usam um acionamento do tipo onda quadrada (sua força contraelectromotriz é mais trapezoidal). Tipicamente os motores BLDC têm enrolamentos bobinados sobre o pólo, e os motores BLAC têm enrolamentos distribuídos. Mas motores BLAC também podem ter enrolamentos sobre o pólo, principalmente para aplicações de baixa potência.

Existem diversas tipologias, e a aplicabilidade de cada uma depende dos requisitos de cada aplicação, como mostrado na tabela 1.

#### 4. Aplicações para motores PM

##### 4.1. Motores PM Industriais

###### i. Motores de ímãs internos

Motores síncronos de ímãs internos geralmente usam ímãs de terras-raras no interior do rotor (figura 2) e podem ter um tamanho de carcaça abaixo dos motores de indução (até 43% de redução no volume e 35% de redução no peso), além de apresentarem rendimentos superiores aos mínimos exigidos pela norma.

Como eles estão em uma carcaça reduzida, eles apresentam menores níveis de ruído do que os motores de indução de mesma potência.

As principais aplicações são bombas, sistemas de ventilação, compressores, extrusoras e e tapetes transportadores.



Figura 2. Motor de ímãs internos de terras-raras e carcaça reduzida.

Tabela 1. Características das diferentes topologias

Tipologia	Características/Aplicação	Exemplo
Rotor externo	Aplicações de alto binário em baixa velocidade (ex. máquinas de lavar roupa, elevadores), aplicações em ventilação.	
Ímãs superficiais	Aplicações de baixa e média velocidade (ex. ventilação, exaustão, bombas residenciais, elevadores).	
Ímãs internos	Aplicações de baixa e alta velocidade (ex. Ventiladores, compressores, bombas, elevadores, veículos elétricos).	
Arranque direto	Aplicações de baixa velocidade e baixa inércia, arranque direto da rede (ventiladores, bombas).	

ii. Motor PM com arranque direto da rede

Estes motores são híbridos, pois possuem ímãs de terras-raras abaixo da gaiola de alumínio do rotor [4]. Eles têm enrolamentos similares aos dos motores de indução e a particularidade de arrancar diretamente ligados à rede, sem necessidade de controlo eletrónico, como é o caso dos motores PM convencionais. Eles arrancam e aceleram como os motores de indução, até atingirem o sincronismo, mantendo velocidade constante mesmo com variação da carga. Se for necessário variar a velocidade, eles podem ser acionados por conversores de frequência convencionais, em modo escalar. Isto permite que vários motores sejam acionados pelo mesmo inversor, na mesma velocidade. A figura 3 mostra os níveis de rendimento dos motores com ímãs e arranque da rede em comparação com os níveis de rendimento da norma e em relação aos motores de indução W22 e aos motores de indução W22 Premium (que cumprem aos rendimentos IE3 da IEC). Os motores com ímãs e arranque na rede atingem os níveis de rendimento IE4 da IEC.

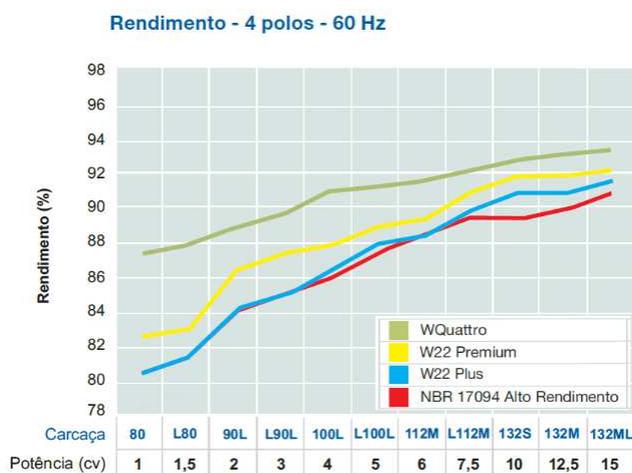


Figura 3. Comparação de rendimento entre motores PM com arranque da rede e motores de indução.

As principais aplicações são cargas de baixa inércia, e aplicações multimotor com variação de velocidade, com um único conversor.

- Aplicação em compressor

A figura 4 mostra um motor de ímãs aplicado num compressor de parafuso de 200 HP. A figura 5 mostra a comparação de rendimento do compressor ao longo da sua faixa de operação quando acionado pelo motor PM e por um motor de indução.

O motor de indução antes utilizado tinha 150 kW, 2 pólos, carcaça IEC 280 S/M. O motor PM que o substituiu tem 150 kW, 3600 rpm, carcaça IEC 250 S/M. Houve um significativo aumento no rendimento pelo uso do motor PM, além deste estar numa carcaça menor e com 52% do peso do motor de indução previamente utilizado.



Figura 4. Compressor com motor PM

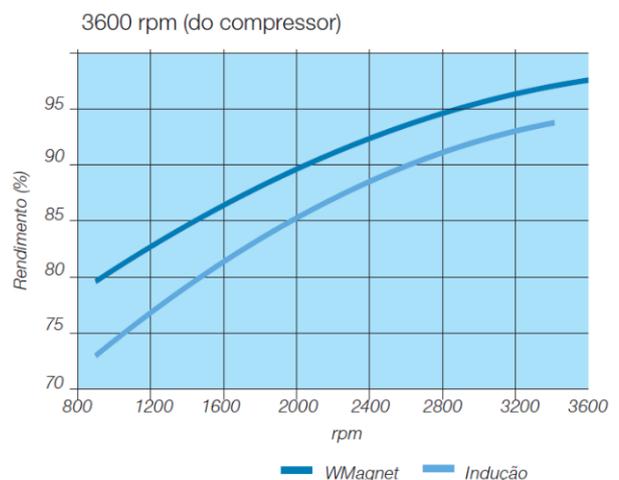


Figura 5. Rendimento do compressor com motor PM e com motor de indução

#### - Aplicação na indústria têxtil

O motor original da máquina de engomar fios da figura 6 era um motor de rotor bobinado, que tinha escovas que necessitavam de ser trocadas regularmente e precisava de manutenção constante. Quando este motor queimou e necessitou de ser reparado, a decisão de procurar uma alternativa mais eficiente levou à escolha de um motor PM. O custo para reparar o motor de rotor bobinado seria de 115% do valor de aquisição de um motor PM novo e mais eficiente. Assim, o novo motor escolhido foi um motor PM de 15 kW. A substituição reduziu os custos de manutenção para praticamente zero, bem como o número de horas de máquina parada, e aumentou a eficiência do processo pela variação de velocidade com binário constante (economia de energia) e mais potência na operação da máquina. O motor PM é 50% menor em tamanho do que o motor original, ocupando menos espaço e facilitando eventuais manutenções.



Figura 6. Máquina de engomar fios

#### - Aplicação em torre de refrigeração

Motores PM para torres de refrigeração usam ímãs de terras-raras e têm um grande número de pólos, produzindo elevado binário em baixas rotações, para acoplamento direto. Isso elimina as caixas de redução, diminuindo a necessidade de manutenção e eliminando perdas devido ao acoplamento, que juntamente com a menor perda elétrica do motor PM, eleva o rendimento global do sistema de acionamento.

#### 5. Conclusões

Os motores PM podem ter características construtivas bastante diversas, para atender diferentes aplicações. Devido ao seu alto rendimento, permitem uma significativa redução no consumo de energia em todas as aplicações apresentadas no artigo. Em aplicações de velocidade variável, os motores PM são ainda mais vantajosos, pois eles não necessitam de ventilação forçada nem sobredimensionamento para funcionamento com binário constante. Além disso, à medida que a velocidade é reduzida, o rendimento é menos prejudicado do que no caso dos motores de indução.

Deve ser enfatizado ainda que para aplicações industriais os motores de ímãs de terras-raras podem ser fabricados numa carcaça abaixo do tamanho de carcaça necessário para o motor de indução de mesma potência. Isto leva a uma redução de volume e peso, e também redução nos níveis de ruído e vibração. Uma vez que o motor PM funciona mais frio porque não tem perdas joule no rotor, a temperatura dos rolamentos é menor, aumentando a vida útil.

#### Referências

- [1] P. Waide, C. U. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems", International Energy Agency (IEA), 2011.
- [2] A. T. de Almeida, F. J. T. E. Ferreira, D. Both, "Technical and Economical Considerations in the Application of Variable-Speed Drives With Electric Motor Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No. 1, Jan/Feb 2005.
- [3] Catálogo Wmagnet Drive System, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wmagnet-drive-system-50015189-catalogo-portugues-br.pdf>
- [4] Catálogo WQuattro, <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-wquattro-50025714-catalogo-portugues-br.pdf>