

Rendimento nos motores monofásicos

Saber mais sobre os motores monofásicos ajuda a determinar o que melhor se adapta às suas necessidades

Eng. **Edson Carlos Peres de Oliveira** – *Ensaio Elétricos II – WEG Motores*
Eng. **Jean Carlos Dias** – *Engenharia de Motores Monofásicos – WEG Motores*

Introdução

Antes de falar de motores monofásicos de alto rendimento, faz-se necessário conhecer a evolução dos motores trifásicos de alto rendimento e todas as implicações destas mudanças.

Em 1992 os Estados Unidos lançaram uma lei federal sobre a política de energia – EPACT, impondo valores de rendimento à plena carga para a maioria dos motores de indução trifásicos para uso geral de 1CV a 200CV a ser implementada em outubro de 1997.

No Brasil, em 1989 a WEG lançou a sua primeira linha de motores trifásicos de alto rendimento.

Em 1996 a Norma NBR 7094 divulgou valores mínimos de rendimento nominal para motores trifásicos da linha padrão, e em outubro de 2000 divulgou os menores valores de rendimento nominal à plena carga para motores trifásicos da linha alto rendimento.

Após extensivos testes realizados nos motores trifásicos, foram aperfeiçoados e revisados os procedimentos de ensaios das normas:

- IEEE 112 (EUA)
- NBR5383 (Brasil)

Por outro lado, ao contrário dos motores trifásicos, os motores monofásicos, apresentam vários tipos de motores de indução monofásicos gaiola de esquilo, e não possuem um método de ensaio confiável para a determinação do rendimento. Operam em regime de trabalho diferente dos motores trifásicos, com maior variação da tensão de alimentação, com fator de carga diferente, e na sua maioria são empregados em uso específico ou definido.

O presente artigo procura mostrar estas diferenças, bem como apresentar os métodos de ensaios atualmente empregados para a determinação de rendimento de motores monofásicos.

Motores monofásicos e suas aplicações

Os motores monofásicos são assim chamados porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica.

Os motores monofásicos de indução são a alternativa para locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, como residências, escritórios, oficinas, zonas rurais etc. Sua utilização pode ser justificada apenas para baixas potências. Entre os vários tipos de motores elétricos monofásicos existentes, os motores com rotor tipo gaiola destacam-se pela simplicidade de fabri-

cação e, principalmente, pela robustez e manutenção reduzida.

Estes motores partem com enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário para a partida.

A seguir apresentaremos o seu funcionamento, características, vantagens e aplicações dos diferentes tipos de motores monofásicos de indução rotor de gaiola de esquilo.

Motor de Fase Dividida (Split-Phase)

Este motor possui um enrolamento principal e um auxiliar (para a partida), ambos defasados em 90° elétricos no espaço. O enrolamento auxiliar cria um deslocamento da fase que produz o torque necessário para a rotação inicial e a sua aceleração. Quando o motor atinge uma determinada rotação, o enrolamento auxiliar é desligado da rede através de uma chave que normalmente é atuada por uma força centrífuga (chave centrífuga) ou, em casos específicos, por chaves eletrônicas, relé de corrente ou outros dispositivos especiais. Estes motores apresentam um conjugado de partida igual ou um pouco superior que o nominal, o que limita a sua aplicação em potências fracionárias e em cargas que exigem baixo conjugado de partida, como ventiladores e exaustores, pequenos polidores, esmeris, compressores herméticos, pequenas bombas centrífugas, lavadoras de pratos etc. É um motor indicado para aplicações específicas.



Foto 1 – Motor WEG - Tanquinho N42 – Capacitor permanente – Aplicação: Máquina de Lavar Roupa

Motor com Capacitor Permanente

Neste motor, o enrolamento auxiliar e o capacitor permanente ficam permanentemente ligados. O efeito deste capacitor é o de criar condições de fluxo muito semelhantes às encontradas nos motores polifásicos, aumentando, com isso, o conjugado máximo, o rendimento e o fator de potência. É um tipo de motor com características especiais que para ser aplicado, precisa ser devidamente analisado. O seu conjugado de partida, é inferior ao do motor de fase dividida (50% a 100% do conjugado nominal).

Construtivamente estes motores são menores e isentos de manutenção, pois não utilizam contatos e partes móveis. Devido ao baixo conjugado de partida, este tipo de motor é recomendado para aplicações que exigem partidas leves, como: ventiladores, exaustores, sopradores, máquinas de escritório, bombas centrífugas, esmeris, pequenas serras, furadeiras, condicionadores de ar e pulverizadores. Também é muito aplicado em máquina de lavar roupa. Por causa de sua robustez, simplicidade, versatilidade de uso (permite reversão instantânea), além da sua performance ser mais eficiente que a dos demais, é um tipo de motor que está tendo cada vez maior demanda.

Motor com Dois Capacitores (partida + permanente)

É o motor monofásico mais completo, que utiliza as vantagens dos dois anteriores: partida como o do motor de capacitor de partida (altos conjugados) e funcionamento em regime idêntico ao do motor de capacitor permanente (melhor desempenho).

Porém, devido ao seu alto custo, normalmente são fabricados apenas para potências superiores a 1 CV, onde é exigido um motor com boa performance sob carga e na partida.

Sua principal aplicação ocorre

no meio rural, onde são necessários potências consideravelmente maiores em instalações monofásicas, geralmente não muito estáveis ou em finais de linha.



Foto 4 – Motor WEG - Blindado IP55 – Capacitor Dois Valores – Aplicação: Rural

Motor com Capacitor de Partida

É um tipo de motor mais popular, semelhante ao de fase dividida. Para melhorar o conjugado de partida relativamente baixo do motor de fase dividida, adiciona-se um capacitor eletrolítico, ligado em série com o enrolamento auxiliar de partida. Após a abertura do circuito auxiliar, o seu funcionamento é idêntico ao do motor de fase dividida.

Com o seu elevado conjugado de partida (entre 200% e 350% do conjugado nominal), o motor de capacitor de partida pode ser utilizado numa maior gama de aplicações, como: compressores, bombas para piscinas, equipamentos rurais, condicionadores de ar industriais, ferramentas em geral, e em outros componentes industriais e comerciais que necessitam de elevados conjugados de partida. É um motor de prateleira indicado para a maioria das aplicações existentes, exceto aquelas que exigem a reversão instantânea.



Foto 2 – Motor WEG - Uso Geral IP21 – Capacitor de partida – Aplicação: Geral



Foto 3 – Motor WEG - Jet Pump Plus NEMA 42 - Split-Phase - Aplicação: Bomba centrífuga

Motor com Pólos Sombreados (shaded pole)

O motor com pólos sombreados, também chamado de motor de campo distorcido (ou shaded pole), graças ao seu processo de partida, é o mais simples, o mais factível e o mais econômico dos motores de indução monofásicos.

Quanto ao desempenho, os motores de campo distorcido apresentam baixo conjugado de partida (15% a 50% do nominal), baixo rendimento e baixo fator de potência. Assim, estes motores são geralmente fabricados para pequenas potências, que vão de alguns milésimos de CV a ¼ CV.

Pela sua simplicidade, robustez e baixo custo, estes motores são ideais em aplicações como: movimentação de ar (ventiladores, exaustores, purificadores de ambiente, unidades de refrigeração, secadores de roupa e de cabelo), pequenas bombas e compressores, projetores de slides e aplicações domésticas.

Rendimento

O rendimento em qualquer sistema pode ser determinado através das seguintes equações:

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_{entrada} - Perdas}{P_{entrada}} = \frac{P_{saída}}{P_{saída} + Perdas} \quad (2)$$

A equação 1 fornece uma relação direta entre entrada e saída, ao passo que, para utilização da equação 2 deve-se conhecer as perdas do sistema.

Perdas em Motores Monofásicos

Em motores monofásicos as perdas são divididas em:

- Perdas mecânicas (atrito e ventilação)
- Perdas Joule no estator e rotor
- Perdas magnéticas no ferro
- Perdas suplementares
- As perdas mecânicas (Pmec) são geradas pelo sistema de ventilação e pelo atrito dos rolamentos. No entanto, estas perdas podem ser reduzidas através da otimização dos ventiladores e adequação dos mancais.
- As perdas Joule (Pj1 e Pj2) no estator e no rotor (I²r), aumentam acentuadamente com a car-

ga aplicada ao motor. Estas perdas são reduzidas através do aumento da seção de cobre dos condutores do estator e do aumento das gaiolas condutoras do rotor.

- As perdas magnéticas no ferro (Pfe) são geradas pelo efeito de histerese e pelas das correntes induzidas (nesse caso, correntes de Foucault), e variam com a densidade do fluxo magnético e com a frequência. A redução é conseguida pelo uso de chapas de aço de baixas perdas magnéticas, além da utilização de maior volume de material para redução da densidade de fluxo magnético.
- As perdas suplementares (Ps) são geradas pela f.m.m. da corrente de carga que desvia parte do fluxo magnético em vazio para o fluxo de dispersão.

Os gráficos 1 e 2 mostram a distribuição das perdas e o rendimento em função da carga aplicada, respectivamente.

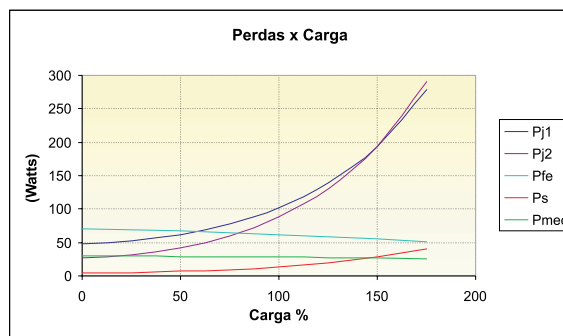


Gráfico 1 - Distribuição das perdas de um motor monofásico capacitor de partida de 1CV.

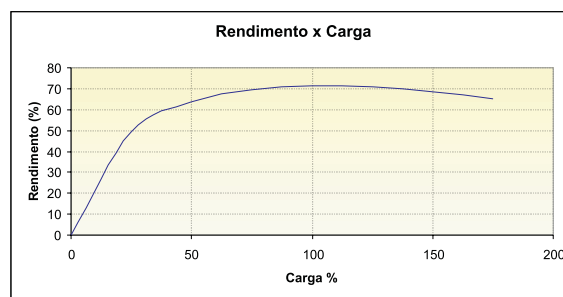


Gráfico 2 -Variação do rendimento com a carga aplicada de um motor monofásico capacitor de partida de 1CV.

Métodos de Ensaio

Para os motores monofásicos, ao contrário dos motores trifásicos, não existe nenhum método normalizado para a segregação de perdas.

Normas como a canadense CSA C747 e a mexicana NOM 014 utilizam o método direto (Saída / Entrada) para o cálculo do rendimento conforme a equação 1, porém, corrigem a potência de saída em função das perdas no dinamômetro.

A WEG, com toda a sua experiência em projetos e ensaios de motores elétricos, adaptou e implementou os métodos CSA e NOM em seus laboratórios. Esta adaptação tem por finalidade contemplar os dois métodos em um único ensaio e reduzir o tempo dos ensaios sem alterar o valor dos resultados fornecidos.

A tabela 1 apresenta os procedimentos e as principais diferenças entre os métodos das normas CSA C747 e NOM-014 e o adotado pela WEG. A tabela 2 apresenta um comparativo de rendimento utilizando os métodos CSA e NOM originais e o método adaptado pela WEG.

Tabela 2: comparativo de rendimento utilizando os métodos CSA e NOM originais e o método utilizado pela WEG para motor monofásico de 1CV com capacitor de partida.

Carga	CSA C747-94		NOM 014-97	
	ORIGINAL	Adaptado WEG	ORIGINAL	Adaptado WEG
150	Não Aplicável	69.46	Não Aplicável	69.44
125	Não Aplicável	71.31	Não Aplicável	71.28
100	71.59	71.67	71.74	71.64
75	70.07	70.23	Não Aplicável	70.18
50	64.74	64.87	Não Aplicável	64.80
25	50.40	50.63	Não Aplicável	50.53

Tabela 1: procedimentos e diferenças entre as Normas CSA C747 e NOM 014 e adotado pela WEG

	CSA C747	NOM 014	WEG
Aplicação	Motores monofásicos com potência nominal < 7.5kW	Motores monofásicos de uso geral com potência nominal entre 0.18kW e 1.50kW	Motores monofásicos com potência nominal < 9.2kW
Temperatura Ambiente	Entre 20 à 30°C	—	Entre 10 à 40°C
Determinação da Elevação de Temperatura	Através da variação de resistência	Através de detectores de temperatura	Através da variação da resistência ou por meio de detectores de temperatura (sob consulta)
Ensaio em Carga – Procedimento	Deixar o motor com carga nominal até que ocorra a estabilização da temperatura e em seguida medir tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado. Aplicar o mesmo procedimento para 75%, 50% e 25% da carga nominal, porém, antes de mover a carga para a nova condição, o motor deve permanecer em carga nominal até que ocorra nova estabilização da temperatura.	Operar o motor em carga nominal até que ocorra a estabilização da temperatura e em seguida medir tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado.	Após o ensaio de elevação de temperatura com carga nominal, aplica-se em ordem decrescente as seguintes cargas: 150%, 125%, 100%, 75%, 50% e 25%. Em cada ponto de carga mede-se: tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado.
Ensaio com o Motor em Vazio Acoplado ao Dinamômetro – Procedimento	Manter o motor com alimentação nominal (tensão e frequência), mas a vazio até que a potência de entrada varie menos que 3% em um período de 30 minutos. Em seguida medir tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado.	Operar o motor com alimentação nominal (tensão e frequência), mas a vazio até que a potência de entrada varie menos que 3% em um período de 30 minutos. Em seguida medir tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado.	Após o ensaio com carga e com o motor acoplado ao dinamômetro, mede-se agora sem carga, mas com a alimentação nominal a tensão, corrente, potência absorvida, rotação e conjugado.
Ensaio com o Motor em Vazio Desacoplado do Dinamômetro – Procedimento	Desacoplar o motor do dinamômetro e operar o motor com alimentação nominal (tensão e frequência). Em seguida medir tensão, corrente e potência absorvida.	Desacoplar o motor do dinamômetro e manter o motor com alimentação nominal (tensão e frequência) até que a potência de entrada varie menos que 3% em um período de 30 minutos. Em seguida medir tensão, corrente, potência absorvida e rotação.	Desacoplar o motor do dinamômetro e operar o motor com alimentação nominal (tensão e frequência) até que a potência de entrada varie menos que 3% em um período de 30 minutos. Em seguida medir tensão, corrente e potência absorvida.
Cálculo do Fator de Correção do Dinamômetro (FCD)	$\text{Inclinação} = \frac{T_{25} - T_{11}}{P_{abs_{25}} - P_{abs_{11}}}$ $T_{real} = \text{Inclinação} \cdot (P_{abs_{11}} - P_{abs_{10}})$ $FCD = T_{real} - T_{11}$	$s_{11} = \frac{RPM_{25} - RPM_{11}}{RPM_{25}}$ $FCD = \frac{9.549}{RPM_{11}} [P_{abs_{11}} (1 - s_{11}) - \frac{9.549}{RPM_{11}} P_{abs_{10}} - T_{11}]$	Dependendo do mercado, utiliza-se os fatores de correção do dinamômetro dos métodos CSA, NOM e direto (FCD=0).
Cálculo da Potência de Saída em Função da Correção do Dinamômetro	$P_{saída} = \frac{(T + FCD) RPM}{9.549}$	$P_{saída} = \frac{(T + FCD) RPM}{9.549}$	$P_{saída} = \frac{(T + FCD) RPM}{9.549}$
Cálculo do Rendimento	$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}}$	$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}}$	$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}}$

Ver definições das grandezas utilizadas no artigo na internet: www.weg.com.br

Normalização dos Rendimentos

Poucas normas estabelecem os valores mínimos de rendimento em motores monofásicos. Em 1996, nos Estados Unidos, o Departamento de Energia – DOE [1] realizou estudos para a determinação de valores míni-

mos de rendimento, porém, sua implantação na Norma NEMA MG1 não se concretizou até o presente momento. Foram levantados, pelos membros da NEMA, vários fatores contrários à implantação, sendo os principais:

- quantidades de horas de utilização do motor;

- regime de trabalho – considera somente motores para uso geral (menor volume no mercado);
- fator de carga – considera os motores trabalhando com 70% da carga nominal;
- expectativa de vida do motor; rendimento mínimo por tipo de motor.

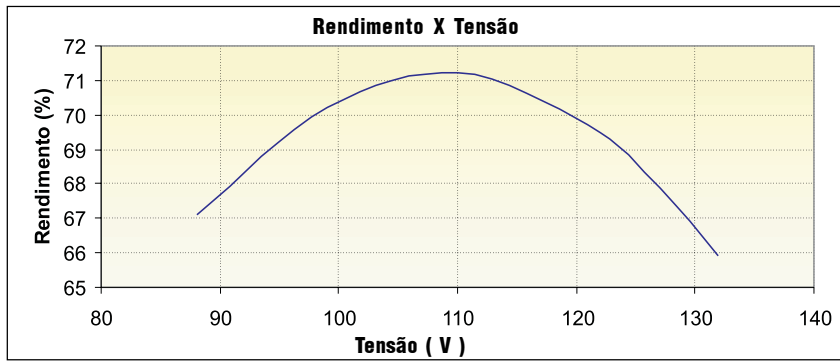


Gráfico 3 - Variação do rendimento em função da variação de tensão de um motor monofásico de 1CV com capacitor de partida, operando em carga nominal.

Influência da tensão de alimentação sobre o rendimento de motores monofásicos

A Norma NBR7094 recomenda as seguintes tensões nominais para motores monofásicos: 127V, 220V, 254V e 440V. Também especifica os limites de variação de tensão. No entanto, no Brasil há outras tensões nominais secundárias monofásicas, não padronizadas, autorizadas para serem mantidas pelas concessionárias de energia elétrica. Assim, os níveis de variação de tensão, em algumas instalações, podem estar além dos limites normalizados.

Normalmente os motores monofásicos são projetados para trabalhar em duas tensões (110/220, 220/240...), uma sendo o dobro da outra. Entretanto, motores 110V trabalham em rede de 127V, modificando assim o seu desempenho (corrente, rendimento, conjugado entre outros).

O gráfico 3 mostra a variação do rendimento em função da variação de tensão para a carga nominal. Esta relação depende da forma como o motor foi projetado.

Influência da carga e do regime sobre o rendimento de motores monofásicos

Os motores monofásicos, em sua maioria, empregados em aplicações específicas ou definidas, possuem um regime conforme a necessidade do usuário (na maioria carga variável), divergindo assim, o regime de trabalho real na aplicação com o regime de trabalho fornecido na placa de identificação para o qual o motor foi projetado. A tabela 3 mostra o tipo de carga e o tempo médio de operação para algumas aplicações.

Conforme verificado anteriormente no gráfico 2, a carga aplicada ao motor influencia diretamente no rendimento.

Aplicação	Tempo de Operação (valor médio)	Carga
Máquina de Lavar Roupa	8 horas por semana	Variável
Ceifador de Grama	5 horas por mês	Variável
Ventiladores	8 horas por dia	Constante
Bomba Centrífuga	3 horas por dia	Variável/Constante
Compressor	5 horas por dia	Variável
Elevador de Carro	1 hora por dia	Constante
Processador de Alimentos	6 horas por dia	Variável/Constante
Moto-Esmeril	2 horas por dia	Variável

Tabela 3 – Tempo médio de operação e tipo de carga

CONCLUSÃO

Motores monofásicos de alto rendimento são tecnicamente possíveis de serem fabricados, porém a viabilidade econômica de sua implantação no mercado depende dos seguintes fatores:

Fatores normativos como:

- fixação de valores mínimos de rendimento por potência e tipo de motor;
- determinação e normalização de método de ensaio para a determinação de rendimento;

Fatores de aplicação como:

- quantidades de horas de utilização do motor;
- regime de trabalho;
- tipo de motor monofásico;
- fator de carga aplicada no motor;
- variação da carga;
- expectativa de vida do motor;
- tensão de alimentação;
- variação de tensão;
- motores para uso específico, definido ou geral.



Referências Bibliográficas

01. NBR 7094 – Máquinas Elétricas Girantes – Motores de Indução – Especificação
02. IEEE STD 112 – Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators
03. CSA C747 – Energy Efficiency Test Methods for Single and Three-Phase Small Motors
04. NOM 014 – Eficiência Energética de Motores de Corriente Alternada, Monofásicos, de Indução, Tipo Jaula de Ardiilla, de Uso General em Potencia Nominal de 0,180 a 1,500 kW. Limites, Métodos de Prueba Y Marcado
05. NEMA MG1 – Motors and Generators
06. Kreutzfeld, Siegfried – Motores de alto rendimento: uma economia viável? Electricidade Moderna, outubro, 1988.
07. Draft Report on Energy Conservation Potential for Small Electric Motors, August 1996
08. Veinott, Cyril G. Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors, 4 ed. New York McGraw Hill, 1970.
09. Kosow, Irving C. Máquinas elétricas e transformadores 8 ed. São Paulo, Globo, 1989.
10. Perdas no Ferro – Trabalho de Tecnologia – WEG Motores.