

Aplicações

Funcionamento

Características Construtivas

Motores SÍNCRONOS



*Transformando energia
em soluções*

INDICE

INTRODUÇÃO	3
VANTAGENS	5
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO	6
TIPOS DE EXCITAÇÃO	8
PARTES CONSTRUTIVAS	9
ACESSÓRIOS	11
CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	12
SISTEMA DE ISOLAMENTO	13
ENSAIOS	13
SELEÇÃO DE MOTORES SÍNCRONOS	14
APLICAÇÕES	15
ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES SÍNCRONOS	16



INTRODUÇÃO

O termo SÍNCRONO tem sua origem no Grego, onde o prefixo **SIN** significa “com” e **CRONOS** é uma palavra que denota “tempo”.

Um motor síncrono literalmente opera “em tempo com” ou “em sincronismo com” o sistema de alimentação.

Os motores síncronos estão sendo utilizados com maior frequência pelas indústrias, devido ao fato de possuírem características especiais de funcionamento.

O **alto rendimento** e o fato de poderem trabalhar como **compensador síncrono** para corrigir o fator de potência da rede, se destacam como os principais motivos que resultam na escolha dos MOTORES SÍNCRONOS para acionamento de diversos tipos de cargas.

Altos torques, velocidade constante nas variações de carga e baixo custo de manutenção, também são características especiais de funcionamento que proporcionam inúmeras vantagens econômicas e operacionais ao usuário.

Princípio de Funcionamento

Os motores síncronos possuem o estator e os enrolamentos de estator (armadura) bastante semelhante aos dos motores de indução trifásicos.

Assim como no motor de indução, a circulação de corrente no enrolamento distribuído do estator produz um fluxo magnético girante que progride em torno do entreferro.

Campo girante do estator - Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente.

Na *figura 1* está indicado a forma de onda de um sistema trifásico equilibrado constituído por três conjuntos de bobinas dispostas simetricamente no espaço formando um ângulo de 120° .

A *figura 2* está representando o enrolamento de um motor trifásico. Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes I_1 , I_2 e I_3 criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos H_1 , H_2 e H_3 . Estes campos são espaçados entre si de 120° .

Além disso, como são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de 120° entre si.

O campo total H resultante, a cada instante, será igual à soma gráfica dos três campos H_1 , H_2 e H_3 naquele instante.

Na *figura 3*, está representada esta soma gráfica para seis instantes sucessivos.

No instante (1), a *figura 2* mostra que o campo H_1 é máximo e que os campos H_2 e H_3 são negativos e de mesmo valor, iguais a metade de H_1 .

Os três campos representados na *figura 3* (parte superior), levando em conta que o campo negativo é representado por uma seta de sentido oposto ao que seria normal; o campo resultante (soma gráfica) é mostrado na parte inferior da *figura 3* posição (1), tendo a mesma direção do enrolamento da *fase 1*.

Repetindo a construção para os pontos 2, 3, 4, 5 e 6 da *figura 1*, observa-se que o campos resultante H tem intensidade “constante”, porém sua direção vai “girando”, completando uma volta no fim de um ciclo.

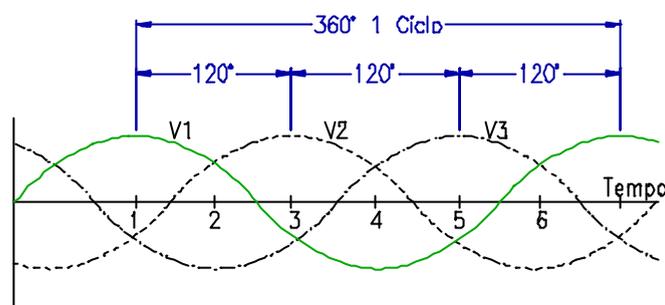


Figura 1

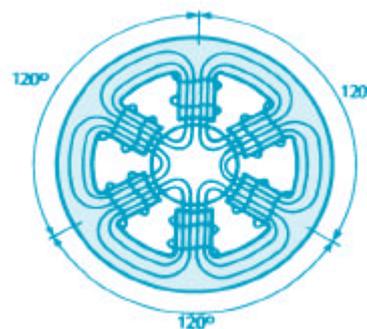


Figura 2

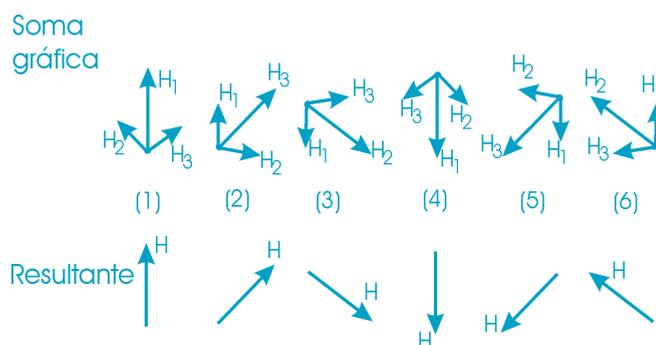


Figura 3

Velocidade Síncrona - A velocidade síncrona do motor (rpm) é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de pares de pólos (p) do motor e da frequência (f) da rede.

Os enrolamentos do estator podem ser construídos com um ou mais pares de pólos, que se distribuem alternadamente (um "norte" e um "sul") ao longo da periferia do núcleo magnético.

O campo girante percorre um par de pólos (p) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem pólos ou pares de pólos, a velocidade do campo será:

$$\text{rpm} = \frac{60 \cdot f}{p}$$

O motor síncrono possui o rotor com número de pólos correspondente ao número de pólos do enrolamento do estator. Durante a operação normal em regime, não há nenhum movimento relativo entre os pólos do rotor e o fluxo magnético do estator, ou seja, estão em perfeito sincronismo e com isto não há indução de tensão elétrica no rotor pelo fluxo mútuo e, desta forma, não há excitação proveniente da alimentação de corrente alternada (ca).

As bobinas dos pólos podem ser feitas com muitas espiras de fio de cobre isolado ou barras de cobre, dependendo do tipo de rotor utilizado (polos lisos ou polos salientes).

A alimentação do campo (excitação) é feita em Corrente Contínua que, ao circular pelos enrolamentos de campo, os pólos são magneticamente polarizados, tornando-se alternadamente pólos norte e sul.

A excitação em corrente contínua pode ser aplicada no campo através dos porta-escovas e anéis coletores ou por um sistema de excitação sem escova e com controle eletrônico (brushless).

VANTAGENS

A aplicação dos Motores Síncronos na indústria, na maioria das vezes, resultam em vantagens econômicas e operacionais consideráveis ao usuário devido a suas características de funcionamento. Dentre as vantagens econômicas da utilização dos motores síncronos, as principais são:

- **Alto rendimento.**
 - **Corrigir o fator de potência da rede**
- Ainda podemos citar as vantagens operacionais específicas dos motores síncronos:
- **Características de partida especiais.**
 - **Velocidade constante sob variações de carga.**
 - **Manutenção reduzida.**

Alto Rendimento

Além de considerarmos o custo inicial na aquisição do motor síncrono, devemos considerar os ganhos que podem ser obtidos pelos baixos custos operacionais.

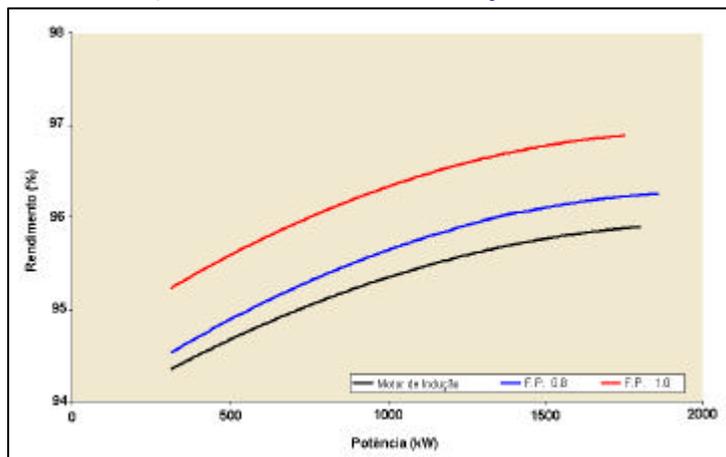
Quando basicamente se considera o rendimento na escolha do motor, um motor síncrono com FP=1.0 é usualmente a solução.

Sendo a potência reativa (kVAr) desnecessária, e aplicável somente a potência real (kW), a corrente de linha é minimizada, resultando em menor perda P_R no enrolamento do estator.

Uma vez que a corrente de campo requerida é a mínima praticável, haverá menor perda P_R no enrolamento de campo da mesma forma. Com exceção das situações onde um alto conjugado é requerido, a baixa perda nos enrolamentos do estator e de campo permitem que o motor síncrono com FP=1.0 seja construído em tamanho inferior aos motores síncronos com FP= 0.8 de mesma potência.

Assim, os rendimentos do motor síncrono com FP=1.0 são geralmente superiores aos do motor de indução de mesma potência.

Comparativo entre os rendimentos dos motores síncronos com FP=0.8, FP=1.0 e motores de indução.



Correção do Fator de Potência

Os sistemas de potência de energia elétrica são baseados não somente em potência ativa em kW gerada, mas também no fator de potência na qual ela é fornecida.

Penalidades podem ser aplicadas ao consumidor, quando o fator de potência da carga está abaixo de valores especificados. Estas penalidades (multas) ocorrem devido ao fato de que baixo fator de potência representa um aumento da potência reativa (kVAr) requerida e conseqüentemente, um aumento da capacidade dos equipamentos de geração e transmissão de energia elétrica.

Nas indústrias, geralmente predominam as cargas reativas indutivas, que são os motores de indução de pequeno porte ou de rotação baixa, as quais requerem considerável quantidade de potência reativa (kVAr) consumida como corrente de magnetização.

Para suprir a necessidade da rede de potência reativa, além da possibilidade de utilização de bancos de capacitores, os motores síncronos são freqüentemente utilizados com esta finalidade.

O fator de potência dos motores síncronos pode ser facilmente controlado devido ao fato de possuírem uma fonte separada de excitação, e desta forma, podem tanto aumentar a potência sem geração de potência reativa (motor com fator de potência unitário), ou também gerar potência reativa necessária (motor com fator de potência 0.8).

Desta forma, o motor síncrono, dependendo da aplicação, pode fornecer a potência útil de acionamento necessária com redução benéfica da potência total do sistema.

Características Especiais de Partida

Grandes moinhos de bolas para minério de ferro e moagem de cimento e compressores são alguns exemplos de aplicações onde é requerido alto conjugado de partida (150 a 200 % do conjugado nominal).

Devido às limitações do sistema de alimentação, normalmente se desejam baixas correntes de partida (rotor bloqueado).

A combinação de alto conjugado com baixa corrente de partida pode ser melhor atendida pelo motor síncrono sem afetar as características de funcionamento em regime.

A redução da corrente de partida, normalmente pode ser alcançada por um projeto especial dos enrolamentos do estator e amortecedor.

A opção de partida com redução de tensão, também é uma alternativa utilizada para reduzir a corrente, porém com redução do conjugado.

Manutenção Reduzida

Por não necessitar de contatos elétricos deslizantes para seu funcionamento, os motores síncronos BRUSHLESS não possuem escovas e anéis coletores e com isso eliminam a necessidade de manutenção, inspeção e limpeza nestes componentes.

Velocidade Constante

Independentemente das variações de carga e desde que a carga se mantenha dentro da limitação do conjugado máximo (pull-out) do motor, a rotação média do motor síncro se mantém constante.

Isto se verifica pelo fato dos pólos do rotor permanecerem travados em relação ao campo magnético girante produzido pelo enrolamento do estator.

Desta forma o motor síncrono mantém a velocidade constante tanto nas situações de sobrecarga como também durante momentos de queda de tensão, respeitando-se os limites do conjugado máximo (pull-out).

Em certas aplicações, como em máquinas de moinho de polpa de papel, a velocidade constante resulta na uniformidade superior e qualidade do produto produzido.

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

Conjugados

O projeto do motor síncrono sempre deve ser feito levando-se em consideração as características da carga a ser acionada e com isto os conjugados e inércia têm uma importância muito grande na especificação do motor.

a) Conjugado de partida

É o conjugado que o motor deve desenvolver para vencer o conjugado resistente da carga parada ou seja, é o conjugado de partida da carga.

b) Conjugado de Sincronização

É o conjugado que o motor deve desenvolver para atingir a velocidade adequada onde a aplicação do campo de excitação levará o motor ao sincronismo (**pull-in** torque).

c) Conjugado Máximo em Sincronismo

É o conjugado que o motor deve desenvolver para manter o motor em sincronismo no caso de sobrecargas momentâneas (**pull-out** torque).

Inercia

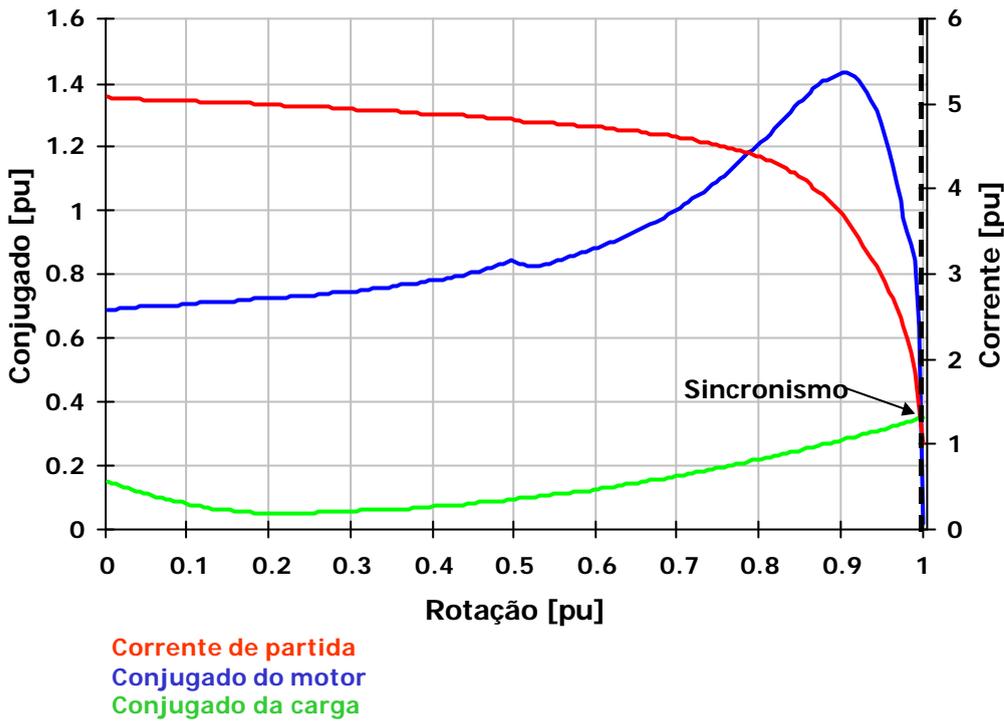
Motores Síncronos para acionar cargas de alta inércia são construídos em carcaças maiores para atender as condições de aceleração.

O tempo que o motor leva para acelerar provoca aquecimento no enrolamento amortecedor e portanto, este deve ser projetado para atender as condições de partida.

A definição correta da inércia da carga, juntamente com as análises dos conjugados do motor e da carga são imprescindíveis para que o motor atenda as condições de partida e aceleração.

Partida

O enrolamento amortecedor, que funciona como a gaiola do motor de indução, é o responsável pela partida e aceleração do motor síncrono. Desta forma, **os conjugados de partida e sincronização variam com o quadrado da tensão aplicada e a corrente de partida é proporcional a tensão aplicada, como no motor de indução.**



Curva característica de partida de um motor síncrono a plena tensão

O motor síncrono parte como um motor de indução, acelera a carga até o ponto onde o conjugado do motor iguala o conjugado resistente da carga.

Usualmente este ponto ocorre com 95% da rotação síncrona ou acima e nesta situação a tensão de excitação é aplicada no motor e o rotor sincroniza, ou seja, irá acelerar a inércia combinada do rotor do motor mais a da carga até rotação síncrona precisa.

As características das cargas a serem acionadas determinam as condições de aceleração e sincronismo.

Em cargas com alto de conjugado resistente, o enrolamento amortecedor deve levar o conjunto carga e motor a acelerar em um tempo maior do que para um conjugado resistente menor.

O projeto adequado do enrolamento amortecedor requer o conhecimento preciso do conjugado resistente da carga.

Conforme a curva característica de partida do motor síncrono, o conjugado de partida diminui a medida em que se aproxima da rotação síncrona.

Em aplicações a cargas com curva parabólica de conjugado resistente e considerando que a 98% da rotação síncrona o valor deste conjugado seja igual ao conjugado nominal da carga, será necessário que o motor consiga desenvolver um conjugado igual ou superior ao conjugado da carga neste ponto.

Se o conjugado do motor especificado, com 95% da rotação síncrona for igual ao conjugado máximo da carga, o mesmo não conseguirá desenvolver este conjugado a 98% da rotação síncrona e o motor não sincroniza.

Desta forma, para que a partida e sincronismo do motor síncrono sejam garantidos, a análise da curva de conjugado de partida deve ser sempre acompanhada pela análise da curva de conjugado resistente da carga.

Partida assíncrona

O principal método utilizado para partida dos motores síncronos é a partida assíncrona através da gaiola de esquilo com o enrolamento do rotor curto-circuitado ou conectado a uma resistência usualmente chamada resistência de partida ou resistência de descarga.

Através da partida assíncrona, o rotor acelera a uma velocidade muito próxima da velocidade síncrona, com um pequeno escorregamento em relação ao campo girante. Neste momento, aplica-se uma corrente contínua no enrolamento do rotor, levando o motor ao sincronismo.

Nas máquinas com escovas, utiliza-se um relé de aplicação de campo, enquanto nos motores brushless, utiliza-se um circuito eletrônico de disparo instalado junto de um disco girante. A função deste circuito eletrônico e do relé de aplicação de campo é gerenciar a seqüência de partida do motor síncrono, desde o fechamento (curto-circuito) do rotor até a aplicação da corrente no campo.

Corrente de Partida

Durante a partida dos motores síncronos brushless, o enrolamento de campo é curto-circuitado através do circuito de disparo.

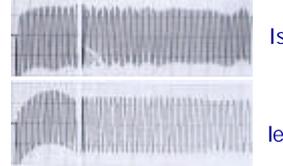
Enquanto o motor permanecer parado, a frequência da corrente de campo é inicialmente igual a frequência da rede (60Hz para rede de 60Hz) e diminui a medida em que a rotação do motor aumenta.

Quando a excitação é ligada, a rotação do motor deve estar próximo da rotação de sincronismo (em torno de 95% da rotação síncrona) e a frequência da corrente de campo estará em torno de 3Hz.

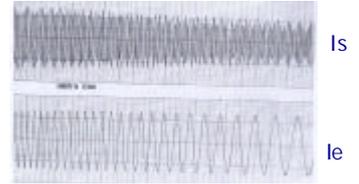
A corrente do estator também oscila durante o processo de partida, estabilizando após o sincronismo do motor.

Comportamento da corrente do estator (I_s) e do rotor (I_e) na partida assíncrona

1) Instante da partida



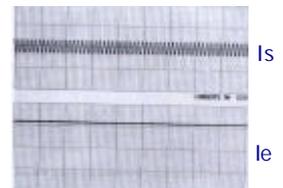
2) A frequência do rotor diminui com o aumento da rotação



3) Instante em que o campo é ligado e o motor sincroniza



4) Estabilidade das correntes do rotor e estator



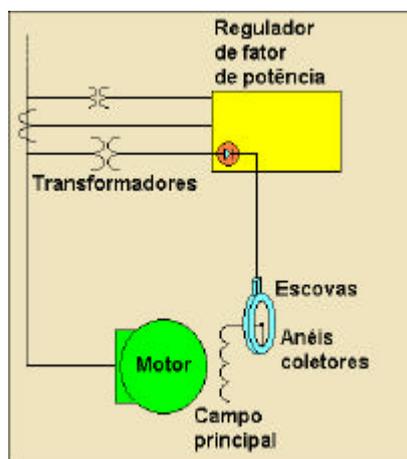
Os motores síncronos necessitam de uma fonte de corrente contínua para alimentar o enrolamento de campo (enrolamento do rotor), que usualmente é suprido através de anéis coletores e escovas (excitatriz estática) ou através de uma excitatriz girante sem escovas (brushless).

1. Excitatriz estática (com escovas)

Motores Síncronos com excitatriz do tipo estática são constituídos de anéis coletores e escovas que possibilitam a alimentação de corrente dos pólos do rotor através de contato deslizante.

A Corrente Contínua para alimentação dos pólos deve ser proveniente de um conversor e controlador estático CA/CC.

A excitatriz estática atualmente está sendo muito utilizada em aplicações com variação de velocidade através de Inversores de Frequência.



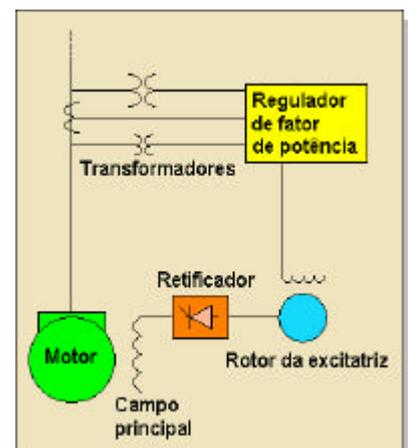
2. Excitatriz brushless (sem escovas)

Motores Síncronos com sistema de excitação brushless possuem uma excitatriz girante, normalmente localizada em um compartimento na parte traseira do motor.

A excitatriz funciona como um gerador de corrente alternada onde o rotor que fica localizado no eixo do motor, possui um enrolamento trifásico e o estator é formado por pólos alternados norte e sul alimentados por uma fonte de corrente contínua externa.

O enrolamento trifásico do rotor é conectado a uma ponte de diodos retificadores. A tensão gerada no rotor é retificada e utilizada para a alimentação do enrolamento de campo do motor. A amplitude desta corrente de campo pode ser controlada através do retificador que alimenta o campo do estator da excitatriz. Os motores síncronos com excitação brushless possuem um custo de manutenção reduzido devido ao fato de não possuírem escovas.

Por não possuírem contatos elétricos deslizantes, eliminando a possibilidade de faiscamento, os motores síncronos com excitação do tipo brushless são recomendados para aplicações em áreas especiais com atmosfera explosiva.



PARTES CONSTRUTIVAS

ESTATOR



Carcaça - Sua função principal é apoiar e proteger o motor, alojando também o pacote de chapas e enrolamento do estator. Podem ser construídas nos tipos horizontais e verticais e com grau de proteção de acordo com as necessidades do ambiente. A carcaça é construída em chapas e perfis de aço soldadas, com as junções feitas através de solda tipo MIG, formando um conjunto sólido e robusto que é a base estrutural da máquina. Todo o conjunto da carcaça recebe um tratamento de normalização para alívio de tensões provocadas pela solda. Tal construção proporciona excelente rigidez estrutural de maneira a suportar esforços mecânicos proveniente de eventual curto-circuito e baixas vibrações, capacitando o motor a atender as mais severas solicitações. Internamente a carcaça é constituída por longarinas dispostas na periferia para fixação do pacote de chapas com seu respectivo enrolamento. Normalmente a carcaça é apoiada sobre uma base metálica rígida (chapa de aço), e esta por sua vez apoiada sobre a base de concreto. A fixação da base metálica ao concreto é feita através de chumbadores.

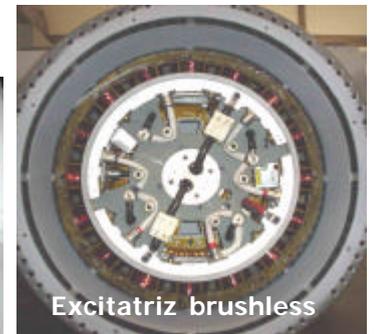


Estator bobinado - É constituído de partes magnéticas estacionárias, incluindo o pacote laminado de chapas de aço silício e o enrolamento do estator, que opera com alimentação de potência em corrente alternada para gerar o campo magnético girante.

Pacote de chapas - É formado por lâminas de aço silício com baixas perdas, prensadas, e o conjunto fixo através de viga metálica ou sistema de longarinas.

EXCITATRIZ

Sua função é fornecer corrente magnetizante para o bobinado de campo do motor. A excitatriz brushless (sem escovas) é composta pelo rotor, estator, diodos retificadores e circuito de disparo. A excitatriz estática é composta de anéis coletores e escovas e depende de uma fonte externa para alimentação do campo do motor.



ROTOR

O rotor pode ser construído com pólos lisos ou salientes dependendo das características construtivas do motor e da aplicação.

Consiste nas partes ativas giratórias compostas da coroa do rotor, o enrolamento de campo e o enrolamento amortecedor. Os pólos de campo são magnetizados através da corrente direta da excitatriz ou diretamente por anéis coletores e escovas; eles engrenam magneticamente pelo entreferro e giram em sincronismo com o campo girante do estator.

O rotor do motor síncrono **de pólos salientes** compreende em eixo, roda polar e pólos.

Os pólos são fabricados com chapas de aço laminado que são fixadas através de barras de aço que são soldadas nas extremidades. As bobinas de campo são feitas de fios de cobre esmaltados ou barras de cobre planas.



Após bobinados e impregnados, os pólos são fixados ao eixo ou a roda polar, através de parafusos, por cima ou por baixo do pólo, ou conectados por meio de rabo de andorinha.

O enrolamento amortecedor está alojado nos pólos e é feito de barras de cobre ou outro material dependendo do projeto do motor.

Após montagem final e impregnação, o rotor completo é balanceado dinamicamente em 2 planos.

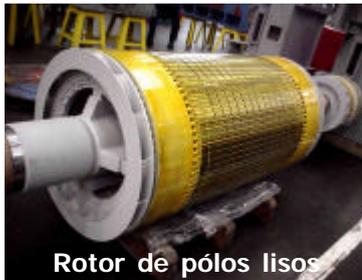
O rotor do motor síncrono **de pólos lisos** compreende em eixo, pacote de chapas laminado e enrolamento dos polos.

O enrolamento é alojado nas ranhuras do rotor formando os pólos.

Eixo – Os eixos são fabricados de aço forjado ou laminado e usinados exatamente conforme as especificações. A ponta de eixo normalmente é cilíndrica ou flangeada.

Enrolamento amortecedor - Está alojado em ranhuras localizadas nas sapatas polares do rotor de polos salientes ou a superfície externa do rotor de polos lisos. É constituído de barras que atravessam a ranhura e são curto-circuitadas nas extremidades formando uma gaiola.

O enrolamento amortecedor atua na partida do motor síncrono, como também garante estabilidade de velocidade perante a variações bruscas de carga.



MANCAIS

Em função da aplicação, os motores síncronos podem ser fornecidos com mancais de rolamentos lubrificados a graxa ou mancais de deslizamento com lubrificação a óleo.

Os mancais de deslizamento podem ter lubrificação natural (auto lubrificáveis) ou lubrificação forçada (lubrificação externa).

Mancais de Rolamentos -

Lubrificados a graxa, estes mancais são constituídos de rolamento de esferas ou de rolos cilíndricos, dependendo da rotação e dos esforços axiais e radiais a que são submetidos. Em algumas aplicações podem ser utilizados rolamentos especiais.



Mancais de deslizamento com lubrificação Natural -



Quando o rotor gira, o óleo lubrificante é recolhido pelo anel pescador interno e transferido diretamente à superfície do eixo criando uma camada de óleo entre o eixo a superfície dos casquilhos do mancal.

O aquecimento de fricção é dissipado somente por radiação ou convecção, entretanto, a temperatura ambiente deve ser informada quando da especificação do motor, para que seja garantida a refrigeração natural.

Lubrificação Forçada -

O óleo lubrificante circula no mancal através um sistema de alimentação externa de óleo e, se necessário é resfriado em uma unidade hidráulica separada.

Este sistema torna-se necessário quando a lubrificação natural do mancal, proveniente do anel pescador interno



de lubrificação, é insuficiente devido a rotação específica requerida ou altas perdas por atrito.

ACESSÓRIOS

Os motores síncronos WEG são fornecidos com os acessórios padrões necessários para seu correto funcionamento e monitoramento nos principais componentes.

Quando da especificação do motor, é importante informar os demais acessórios que o usuário deseja para que sejam inclusos no projeto e fabricação do motor.

Acessórios (fornecimento padrão)

- Sensores de temperatura tipo PT-100 nos enrolamentos do estator.
- Sensores de temperatura nos mancais.
- Resistência de aquecimento.

Acessórios Especiais

- Disco de Frenagem.
- Freio.
- Sensores de Vibração.
- Indicador de posição (encoder).
- Dispositivo para içamento da carcaça.

Acessórios Opcionais

- Sensores de Temperatura para entrada e saída de ar.
- Indicador de vazamento de água.
- Fluxostato para água.
- Fluxostato para óleo.
- Visor de fluxo de óleo.
- Visor de fluxo de água.
- Unidade hidráulica para lubrificação dos mancais.
- Sistema para injeção de óleo sob pressão para partida e parada do motor (Hydrostatic Jacking).
- Termômetro para óleo (mancais).
- Termômetro para água (trocador de calor).
- Termômetro para ar (Ventilação).
- Placa de Ancoragem.



PT - 100 no mancal

Termômetro

CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

CONSTRUÇÃO

Os motores síncronos WEG podem ser fabricados nas formas construtivas B3, D5 ou D6 e com mancais de rolamentos lubrificadas a graxa ou mancais de deslizamento lubrificadas a óleo.

Os mancais de deslizamento podem ser montados em pedestais ou junto às tampas, tornando-se parte integrante do motor.

Motores de baixa polaridade e alta rotação normalmente possuem comprimento do pacote do rotor relativamente longo em comparação com o seu diâmetro

Motores de alta polaridade e baixa rotação, normalmente possuem comprimento do pacote do rotor relativamente pequeno em comparação com o seu diâmetro.

SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Os tipos de refrigeração mais utilizados são:

- Motores abertos autoventilados, Grau de Proteção IP23;
- Motores fechados com trocador de calor ar-ar, Grau de Proteção IP54 a IPW65;
- Motores fechados com trocador de calor ar-água, Grau de Proteção IP54 a IPW65.



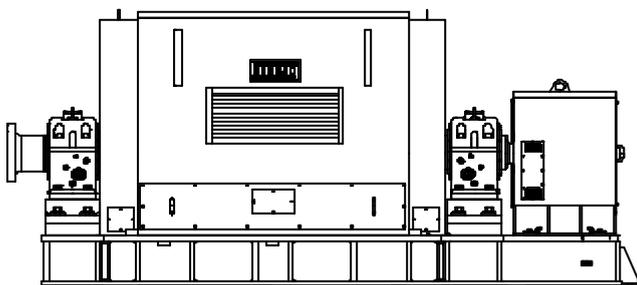
Motor Síncrono
Forma Construtiva B3
Mancais nas tampas



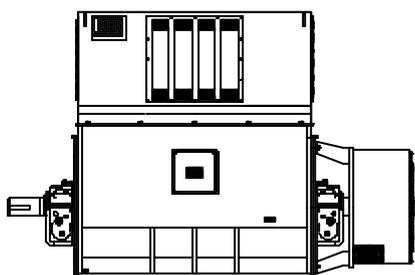
Motor Síncrono
Forma Construtiva D6
Mancais em pedestais

Além dos tipos de refrigeração citados, os motores podem ser fornecidos com ventilação forçada, entrada e saída de ar por dutos, e outros meios de refrigeração, sempre atendendo da melhor forma as características de aplicação e do ambiente onde serão instalados.

Motores Abertos

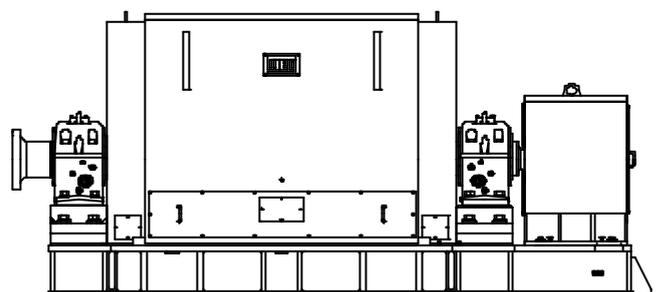


Forma construtiva D6

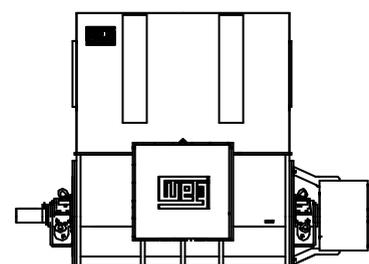


Forma construtiva B3

Motores Fechados



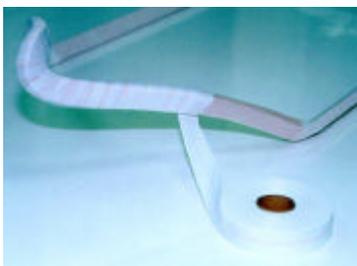
Forma construtiva D6



Forma construtiva B3

SISTEMA DE ISOLAMENTO

Nos motores de Alta Tensão - as bobinas são pré-formadas utilizando fio de seção retangular, revestidas com mica e impregnadas com resina epóxi, sofrendo então aquecimento e cura, obtendo-se alta resistência mecânica no bobinado, processo este denominado polimerização que proporciona um prolongamento da vida útil do motor.



As bobinas são alojadas nas ranhuras do estator, isoladas do núcleo de chapas do estator através de material isolante classe "F" (155°C) e fixadas por cunha de fechamento de fibra de vidro ou magnética.

Os fios de cobre que formam as bobinas são isolados com esmalte apropriado para classe "H" (180°C).

O estator é submetido aos **teste de tensão aplicada e curto-circuito entre espiras - Surge Test** antes e após a impregnação.



Impregnação - Após a inserção das bobinas, fechamento das ranhuras, conexões e amarrações das cabeças das bobinas, o estator bobinado é impregnado a vácuo e pressão utilizando-se resina epóxi classe H isenta de solventes, que garante ao sistema de isolamento WEG excelentes propriedades elétricas, mecânicas e resistência



a intempéries. As resinas epóxi são ideais para impregnações porque após a cura apresentam excelente resistência a intempéries que são encontradas nos

ambientes onde máquinas elétricas girantes são utilizadas. Por se tratarem de resinas 100% sólidas, isto é, não possuem solvente em sua composição, garantem maior homogeneidade e evitam a presença de bolhas de ar no isolamento após a polimerização e cura final.

ENSAIOS

Os motores síncronos WEG são ensaiados de acordo com a norma IEC34 no moderno laboratório capacitado para testar motores de média e alta tensão com potência de até 10000kVA e tensões até 15000V com monitoramento totalmente informatizado e controles de alta precisão.

Os ensaios são divididos em três categorias: ensaio de rotina, tipo e especial.

Os ensaios de rotina são realizados em todos os motores. Além dos ensaios de rotina, os ensaios de tipo são normalmente realizados em uma de uma série de máquinas iguais ou por solicitação do cliente.

Os ensaios especiais são realizados somente por solicitação do cliente.



Ensaio Especial

- Medição de nível de ruído
- Curto-circuito instantâneo
- Medição da tensão no eixo
- Corrente de partida

Ensaio De Rotina

- Inspeção visual
- Medição do entreferro e tolerâncias dos mancais
- Resistência Ôhmica dos enrolamentos
- Resistência do Isolamento.
- Inspeção nos detetores de temperatura e resistência de aquecimento
- Marcação dos terminais e sentido de rotação
- Medição de vibração
- Ensaio em vazio
- Curva de curto-circuito
- Teste de tensão aplicada
- Teste com sistema de excitação

Ensaio De Tipo

- Ensaio de elevação de temperatura
- Curva em vazio (curva V)
- Sobrevelocidade
- Ensaio de perdas e rendimento
- Medição da forma de onda
- Índice de polarização
- Partida do motor síncrono

SELEÇÃO DE MOTORES SÍNCRONOS

Os motores síncronos devem ser especificados segundo sua aplicação, isto é, através de seu regime de trabalho, curva de conjugado resistente e inércia. Estas duas últimas são definições importantes para a análise da partida do motor, enquanto que o regime de trabalho é importante para o dimensionamento térmico em regime.

O fator de potência e o tipo de excitação também são características importantes na especificação do motor. O tipo de ambiente define o grau de proteção do motor.

Conjugado resistente e inércia da carga

Na especificação de um motor síncrono, é importante se conhecer a carga acionada.

A curva de conjugado resistente e a inércia da carga influenciam diretamente nas características de partida do motor.

Motores Síncronos para acionar cargas de alta inércia são construídos em carcaças maiores para atender as condições de aceleração.

Como o motor síncrono parte através de sua gaiola (como um motor de indução) e com o enrolamento do rotor curto-circuitado (ou fechado numa resistência), a escolha correta do material utilizado na barra amortecedora (geralmente constituído de cobre ou ligas de cobre) e a sua geometria são primordiais para a definição da curva característica de partida do motor. Esta curva deve ser sempre definida a partir da curva de conjugado resistente da carga.

As barras amortecedoras, além de garantir em partida através do conjugado gerado na gaiola, também devem ser dimensionadas de maneira que possam dissipar o calor gerado durante o processo de partida.

Neste aspecto, a inércia da carga terá uma grande influência sobre o tempo de partida e o calor a ser dissipado pelas barras.

Em princípio, não se pode afirmar que um motor síncrono utilizado em uma determinada aplicação (ex. bomba), possa ser utilizado para o acionamento de uma outra aplicação diferente da primeira (ex. exaustor).

Regime de trabalho

A especificação correta da potência nominal do motor síncrono deve considerar o ciclo de trabalho do motor com a frequência de sobrecargas que existem no regime.

Fator de potência

Quando se deseja realizar a correção do fator de potência utilizando o motor síncrono, o fator de potência desejado deve ser especificado previamente. Isto significa que um motor projetado para operar com fator de potência unitário, não poderá desenvolver a mesma potência nominal ativa sob um fator de potência inferior.

Características do ambiente

O ambiente onde o motor será instalado deve ser analisado antes de se especificar o motor. O tipo de ambiente define o grau de proteção e o tipo de refrigeração do motor.

Motores para aplicação em ambientes com atmosfera explosiva exigem excitação do tipo brushless.

A temperatura ambiente e altitude consideradas para especificação do motor são de 40°C e 1000m acima do nível do mar.

Se o ambiente de trabalho do motor possuir valores acima destas premissas, é importante que estes dados sejam considerados na especificação.

APLICAÇÕES

Os motores síncronos WEG são fabricados especificamente para atender as necessidades de cada aplicação.

Devido a suas características construtivas, operação com alto rendimento e adaptabilidade a todos os tipos de ambiente, são utilizados em praticamente todos os segmentos da indústria, tais como:

Mineração (britadores, moinhos, correias transportadoras e outros);

Siderurgia (laminadores, ventiladores, bombas, compressores);

Papel e celulose (extrusoras, picadores, desfibradores, compressores, moedores, descascadores);

Saneamento (bombas);

Química e petroquímica (compressores, ventiladores, exaustores);

Cimento (britadores, moinhos, correias transportadoras);

Borracha (extrusoras, moinhos, misturadores).

Velocidade fixa

As aplicações de motores síncronos com velocidade fixa se justificam pelos baixos custos operacionais, uma vez que apresentam alto rendimento e podem ser utilizados como compensadores síncronos para correção do fator de potência.

Os motores recomendados para esta aplicação são com excitação sem escovas (brushless).

Velocidade Variável

As aplicações de motores síncronos com velocidade variável se justificam em aplicações de alto torque com baixa rotação e larga faixa de ajuste de velocidade.

A construção dos motores para estas aplicações podem ser com ou sem escovas, dependendo das características da carga e ambiente.

Devido ao maior rendimento, tamanho menor e maior capacidade de potência, os motores síncronos podem substituir motores de corrente contínua em aplicações de alta performance.



Em muitos casos um motor com valores de conjugados inferiores ao padrão podem ser utilizados. Isto traz redução vantajosa da corrente de partida do motor o que implica em menor distúrbio no sistema elétrico durante o ciclo de partida e em redução nas tensões mecânicas resultantes nos enrolamentos do motor.

Para um correto dimensionamento e aplicação dos motores síncronos a WEG recomenda aos seus clientes, ao se especificar um motor síncrono, que se forneçam todas as informações necessárias sobre a aplicação.

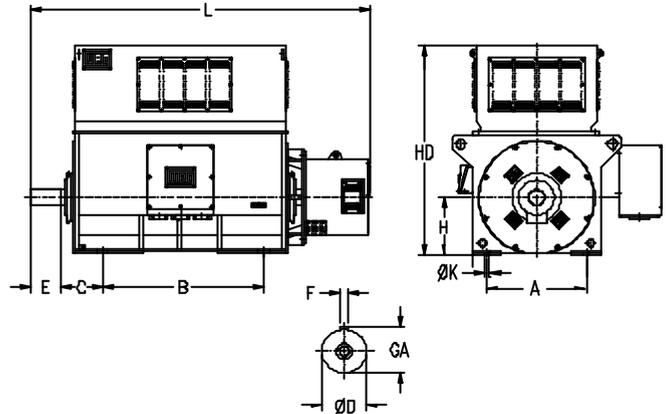
ESPECIFICAÇÃO DE MOTORES SÍNCRONOS (CHECK LIST)

Quantidade: _____ Aplicação (máquina acionada): _____
 Potência (kW): _____ Tensão (V): _____ Velocidade (rpm) _____
 Freqüência (Hz): _____ [60] Altitude (m): _____ [1000] t. ambiente (°C) _____ [40]
 Fator de Potência: _____ [0.8 ou 1.0] Fator de Serviço: _____ [1.0] Forma Construtiva: _____ [B3E]
 Instalação: _____ [interna ou externa]
 Excitação: _____ [brushless ou com escovas] Tensão de excitação (V) _____
 Partida: Plena Tensão [] Tensão Reduzida [] _____ %
 Condições de funcionamento : [] Tensão e freqüência contínuos
 [] Inversor de freqüência - de _____ até _____ Hz

Mancais: _____ [pedestal ou na tampa]
 Esforço Contínuo ou Momentâneo nos mancais: _____
 Grau de Proteção: _____ [aberto - IP23S ou fechado - IP55]
 Refrigeração: _____ [trocador de calor ar-ar, trocador de calor ar-água ...]
 Partidas: _____ [1 quente/2 frio]
 Conjugado de partida: _____ [40%] Conjugado de Sincronização (pull-in) _____ [30%]
 Conjugado máximo em sincronismo (Pull out): _____ [150%]
 Inércia da carga J (kgm²): _____ (Anexar curva de torque x rotação da carga)
 Sentido de rotação: _____ [horário, anti-horário ou bidirecional]
 Acoplamento (tipo): _____ Fornecimento WEG [] Sim [] Não

Dimensões principais do motor

Altura da ponta de eixo .. H: _____
 Altura total: HD: _____
 Distância entre a furação dos pés (longitudinal) .. B: _____
 Distância entre a furação dos pés (transversal) .. A: _____
 Distância entre o furo dos pés e o encosto do eixo .. C: _____
 Eixo - Diâmetro .. ØD: _____ comprimento .. E: _____
 Diâmetro com chaveta ..GA: _____
 Largura da chaveta ..F: _____



Caixa de Ligação Principal - Entrada dos cabos: _____ [inferior]
 Prensa cabos _____ [sim ou não]
 Número de terminais _____ [3 ou 6]

Caixa de Ligação de Acessórios: _____ [Sim ou Não]

Acessórios - [] Resistência de Aquecimento Tensão (V) _____
 [] Sensores de temperatura nos enrolamentos [PT100 a 3 fios - 1 por fase]
 [] Sensores de temperatura nos mancais [PT100 a 3 fios - 1 por mancal]

Observações:



WEG MÁQUINAS

Av. Pref. Waldemar Grubba,3000 - 89256-9000 - Jaraguá do Sul - SC

Tel.: (47) 372-4000 - Fax: (47) 372-4030

São Paulo - SP - Tel.: (11) 5053-2300 - Fax: (11) 5052-4202

wm-mkt@weg.com.br www.weg.com.br