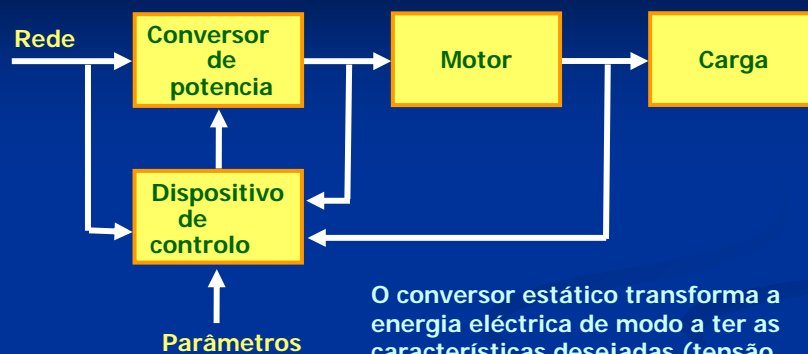


VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES ELÉCTRICOS

ACCIONAMENTOS A VELOCIDADE VARIÁVEL

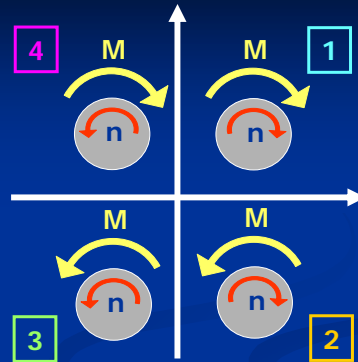


O Dispositivo de controlo gera os sinais para o conversor a partir dos parâmetros de controlo do processo e das medidas das diversas grandezas (tensão, velocidade, binário,...) através dos sensores de entrada e de saída do conversor e do veio do motor.

OS QUATRO QUADRANTES

Num accionamento eléctrico a velocidade variável, uma característica importante é o número de quadrantes do plano binário-velocidade em que o motor pode trabalhar.

O conjunto variador-motor pode ser de 1 quadrante (1.º quadrante), de 2 quadrantes (1.º e 2.º ou 1.º e 4.º) ou de 4 quadrantes..



- 1: A máquina funciona como motor que gira à direita.
- 2: A máquina funciona como gerador (frenagem por recuperação de energia) e roda à direita.
- 3: A máquina funciona como motor que gira em sentido inverso.
- 4: A máquina funciona como gerador (frenagem por recuperação de energia) e gira em sentido inverso.

3

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

Velocidade de rotação do motor de indução

$$n = n_s(1 - s) = \frac{60 f}{p}(1 - s)$$

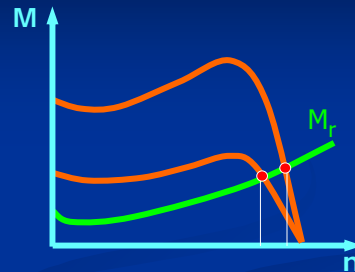
MÉTODOS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

- Métodos baseados na variação do deslizamento do rotor (s) por modificação da curva binário-velocidade do motor mas mantendo a mesma velocidade de sincronismo:
 - Variação da tensão de alimentação
 - Variação da resistência rotórica (motores de rotor bobinado)
- Métodos baseados na mudança do número de pólos do estator (2p), em motores de gaiola de esquilo de várias velocidades:
 - Motores com comutação do número de pólos
 - Motores com enrolamentos independentes
- Métodos baseados na variação da frequência de alimentação (f)

4

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE POR REDUÇÃO DE TENSÃO

- Ao diminuir a tensão de alimentação o motor roda a menor velocidade.
- A gama de variação de velocidade é baixa.
- Este sistema apenas se puede utilizar em máquinas que apresentem fracos binários resistentes.
- Um regulador de tensão (à base de tiristores) fornece corrente alternada, a partir de uma rede monofásica ou trifásica, com a mesma frequência da rede mas controlando o valor eficaz da tensão. Geralmente utiliza-se como arrancador progresivo para motores de gaiola de esquilo.

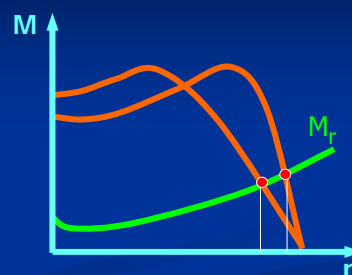


Este procedimento tende a desaparecer e o seu uso reduz-se praticamente para a variação de velocidade de pequenos ventiladores.

5

VARIAÇÃO DA RESISTENCIA ROTÓRICA EM MOTORES DE RÓTOR BOBINADO

- A conexão de resistências trifásicas em série com o rotor modifica a velocidade do motor.
- Ao aumentar a resistência do rotor o motor gira a menor velocidade.
- A gama de variação da velocidade é baixa.
- Durante a marcha a velocidade reduzida produzem-se elevadas perdas nas resistências conectadas.
- Para determinados valores de resistência adicional, a velocidade do motor pode variar consideravelmente com o binário da carga.

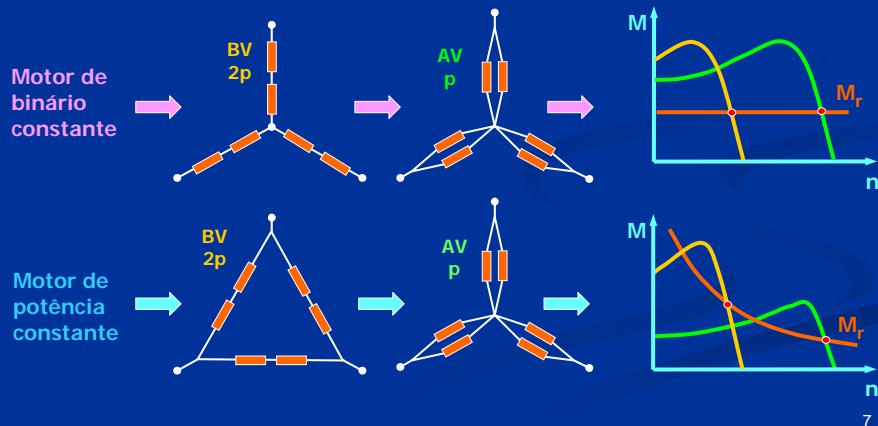


As resistências dispõem usualmente de várias posições ou etapas para obter uma regulação descontínua e permitir um arranque progresivo do motor.

6

MOTORES COM COMUTAÇÃO DO NÚMERO DE PÓLOS

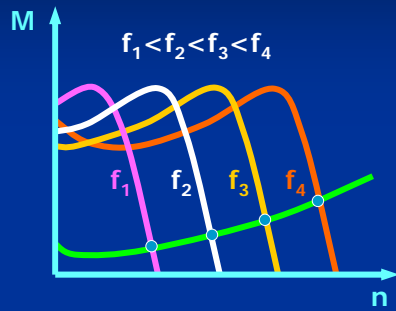
- Estes motores constam de um enrolamento especial que permite, segundo o modo de ligação, obter dois valores diferentes de pólos, sendo um o dobro do outro (2 e 4 pólos, 4 e 8 pólos, 6 e 12 pólos, etc.)
- Só se podem obter duas velocidades (AV e BV), uma dupla da outra.



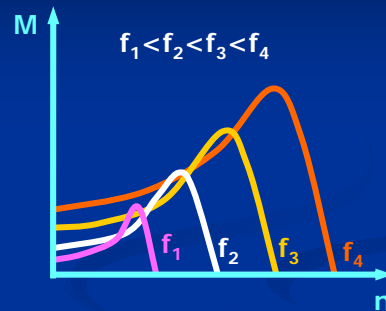
MOTORES C/ ENROLAMENTOS ESTATÓRICOS INDEPENDENTES

- Estes motores constam de dois enrolamentos estatóricos eléctricamente independentes e com diferente número de pólos, a que correspondem duas velocidades de sincronismo diferentes. As duas velocidades que se obtêm ligando à rede um ou outro enrolamento.
- A relação entre as velocidades pode ser qualquer pois depende do número de pólos de cada enrolamento.
- Também se podem obter motores de três ou quatro velocidades se um ou os dois enrolamentos permitirem a comutação do número de pólos.
- Só é possível uma variação discreta de velocidades.

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE ATRAVÉS DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA



Curvas binário-velocidade de motor assíncrono alimentado com frequência variável e regulado com fluxo constante



Curvas binário-velocidade de motor assíncrono alimentado com tensão e frequência proporcionais

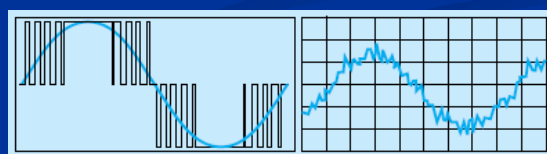
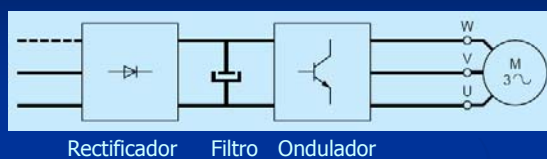
9

O VARIADOR DE FREQUÊNCIA

Alimenta o motor com tensão alternada de frequência variável a partir de uma rede alternada monofásica ou trifásica de frequência fixa.

O ajuste da largura dos impulsos e da sua repetição permite regular a tensão e a frequência de alimentação do motor. O controle da modulação da largura de pulso leva-se a cabo mediante microprocessadores

A indutância do motor realiza uma certa filtragem da corrente, que apresenta conteúdo de armónicos.



Tensão e corrente do motor

10

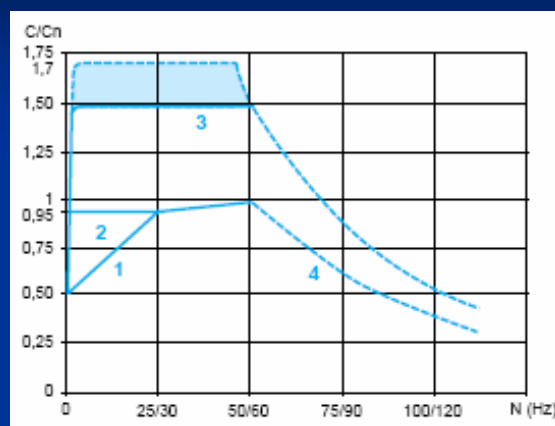
PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS VARIADORES DE VELOCIDADE

- Variação de velocidade
- Aceleração e arranque controlados
- Desaceleração e paragem controladas
- Inversão do sentido de marcha
- Protecção integrada
 - protecção térmica
 - sobretensões e quedas de tensão
 - desequilíbrios de fases
 - funcionamento monofásico
 - curtos-circuitos entre fases e entre fase e terra



11

UTILIZAÇÃO DO VARIADOR DE FREQUÊNCIA



- 1 Binário útil permanente, motor autoventilado
- 2 Binário útil permanente, motor motoventilado
- 3 Binário de sobrecarga transitório
- 4 Binário em "sobrev velocidade" a potência constante

As curvas definem, segundo o fabricante do variador, o torque permanente e torque transitório disponíveis num motor autoventilado ou num motor motoventilado.

12

FRENAGEM ELÉTRICA DOS MOTORES ASSÍNCRONOS

Em algumas aplicações é necessário aplicar um binário de frenagem ao motor que permita pará-lo rapidamente (elevadores, grúas, cintas transportadoras, tracção eléctrica, etc.).

A frenagem pode efectuar-se através de sistemas mecânicos (freios electromagnéticos, pneumáticos ou hidráulicos ...) ou aproveitando as propriedades da máquina assíncrona para gerar um binário que se opõe ao movimento e que permite alcançar a frenagem ou paragem do motor (**frenagem eléctrica**)

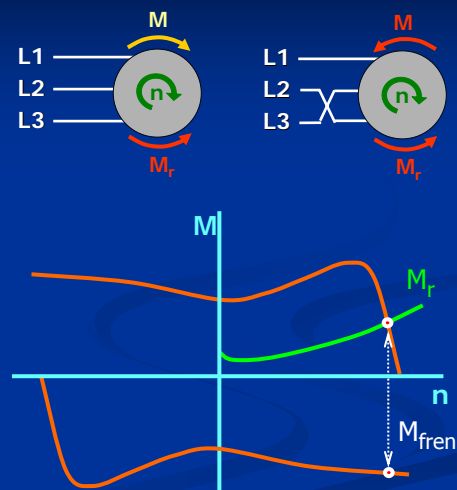
Frenagem eléctrica dos motores assíncronos trifásicos:

- Frenagem a contracorrente ou contramarcha
- Frenagem dinâmica ou por injeção de corrente contínua
- Frenagem por recuperação de energia, regenerativa ou por funcionamento hipersíncrono

13

FRENAGEM A CONTRACORRENTE

- Realiza-se comutando duas fases para inverter o sentido de rotação do campo girante.
- A corrente durante a frenagem é muito alta.
- A solicitação do rotor é muito elevada.
- A rede deverá desligar-se automaticamente, mal se alcance a velocidade zero.
- Nos motores de rotor bobinado, a ligação de resistências no circuito rotórico modifica a curva de binário e com ele o tempo de frenagem.



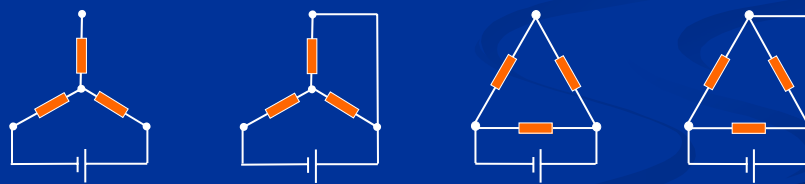
14

FRENAGEM COM CORRENTE CONTÍNUA

A frenagem com corrente contínua de motores de gaiola de esquilo ou rotor bobinado realiza-se desligando o estátor da rede e alimentando-o com corrente contínua de baixa tensão.

O campo magnético gerado permanece fixo no espaço e origina um binário de frenagem.

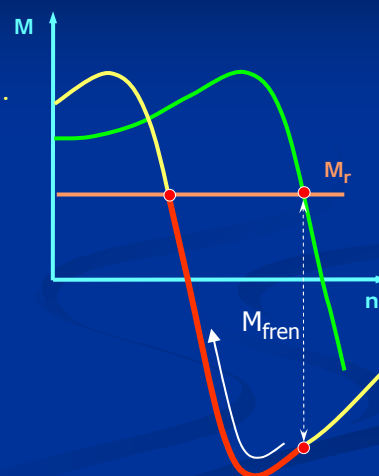
Ligações normais para frenagem por corrente contínua:



15

FRENAGEM POR RECUPERAÇÃO DE ENERGÍA

- A frenagem por recuperação de energia (regenerativa ou hipersíncrona) pode efectuar-se nos motores de duas velocidades quando giram a alta velocidade (AV).
- Para realizar a frenagem modificam-se as ligações do enrolamento para passar de p pares de pólos (AV) a $2p$ pares de pólos (BV).
- A frenagem consegue-se com a conversão do motor em gerador.
- Não é possível a frenagem até à velocidade nula.
- A energia gerada é devolvida à rede ou dissipada em resistências.



16

TEMPO DE FRENAGEM



M = binário motor
 M_r = binário resistente
(oposto ao movimento)



$$M - M_r = J_{\text{total}} \frac{d\omega}{dt}$$

Tempo de frenagem



$$t_{\text{frenagem}} = \int_0^{\omega} \frac{J_{\text{total}}}{M_r - M} d\omega$$

Tempo de frenagem considerando
valores medios de binário



$$t_{\text{frenagem}} = \frac{J_{\text{total}} \omega}{M_r - M}$$

Tempo de frenagem se existe um
binário adicional de
frenagem (M_{fa})



$$t_{\text{fren}} = \int_0^{\omega} \frac{J_{\text{total}}}{(M_r + M_{fa}) - M} d\omega$$