

## **1.5 REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DE MOTORES ASSÍNCRONOS DE INDUÇÃO**

### **1.5.1 INTRODUÇÃO**

A relação entre velocidade, frequência, número de pólos e escorregamento é expressa por:

$$n = \frac{2}{2p} \times f \times 60 \times (1 - s)$$

Onde:        n – rotação (rpm);  
               f – frequência (hertz);  
               2p – número de pólos;  
               s – escorregamento.

Analisando a fórmula, pode-se perceber que para regular a velocidade de um motor assíncrono, pode-se atuar nos seguintes parâmetros:

- 2p – número de pólos;
- s – escorregamento;
- f – frequência da tensão (Hz).

### **1.5.2 VARIAÇÃO DE NÚMEROS DE PÓLOS**

Existem três modos de variar o número de pólos de um motor assíncrono, que são:

- Enrolamentos separados no estator;
- Um enrolamento com comutação de pólos;
- Combinação dos dois anteriores.

Em todos esses casos, a regulação de velocidade será discreta, sem perdas, porém, a carcaça será maior do que a de um motor de velocidade única.

#### **1.5.2.1 MOTORES DE DUAS VELOCIDADES EM ENROLAMENTOS SEPARADOS**

Esta versão apresenta a vantagem de se combinar enrolamentos com qualquer número de pólos, porém, limitada pelo dimensionamento eletromagnético do núcleo (estator/rotor) e carcaça geralmente bem maior que o de velocidade única.

### 1.5.2.2 MOTORES DE DUAS VELOCIDADES COM ENROLAMENTOS POR COMUTAÇÃO DE PÓLOS

O sistema mais comum que se apresenta é o denominado “Ligação Dahlander”. Esta ligação implica numa relação de pólos de 1:2 com conseqüente relação de rotação de 1:2.

Podem ser ligadas da seguinte forma:

- **Conjugado constante:**

O conjugado nas duas rotações é constante e a relação de potência é da ordem de 0,63:1. Neste caso o motor tem uma ligação de  $\Delta/YY$ .

**Exemplo:** Motor 0,63/1 cv – IV/II pólos -  $\Delta/YY$ .

Este caso se presta as aplicações cuja curva de torque da carga permanece constante com a rotação.

- **Potência constante:**

Neste caso, a relação de conjugado é 1:2 e a potência permanece constante. O motor possui uma ligação  $YY/\Delta$ .

**Exemplo:** 10/10 cv – IV/II pólos –  $YY/\Delta$ .

- **Conjugado variável**

Neste caso, a relação de potência será de aproximadamente 1:4. É muito aplicado às cargas como bombas, ventiladores.

Sua ligação é  $Y/YY$ .

**Exemplo:** 1/4 cv – IV-II pólos –  $Y/YY$ .

### 1.5.2.3 MOTORES COM MAIS DE DUAS VELOCIDADES

É possível combinar um enrolamento Dahlander com um enrolamento simples ou mais. Entretanto, não é comum, e somente utilizado em aplicações especiais.

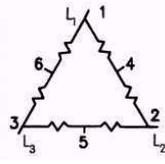
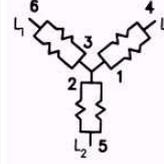
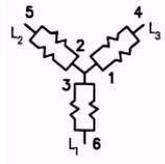
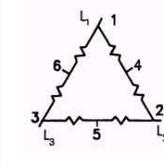
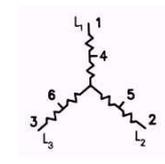
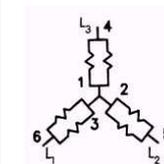
ROTAÇÃO		
TIPO	BAIXA	ALTA
Conjugado Constante		
Potência Constante		
Conjugado Variável		

Figura 1.47 – Resumo das ligações Dahlander

### 1.5.3 VARIAÇÃO DO ESCORREGAMENTO

Neste caso, a velocidade do campo girante é mantida constante, e a velocidade do rotor é alterada de acordo com as condições exigidas pela carga, que podem ser:

- Variação da resistência rotórica;
- Variação da tensão do estator;
- Variação de ambas, simultaneamente.

Estas variações são conseguidas através do aumento das perdas rotóricas, o que limita a utilização desse sistema.

#### 1.5.3.1 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ROTÓRICA

Utilizado em motores de anéis. Baseia-se na seguinte equação:

$$s = \frac{3 \times R_2 \times I_2^2}{\omega_0 \times T} = \frac{P_{j2}}{\omega_0 \times T}$$

Onde:

- $p_{j2}$  – perdas rotóricas (W);
- $\omega_0$  – rotação síncrona em rad/s;
- T – torque ou conjugado do rotor;
- $R_2$  – resistência rotórica (ohms);
- $I_2$  – corrente rotórica (A).

A inserção de uma resistência externa no rotor faz com que o motor aumente o escorregamento ( $s$ ), provocando a variação de velocidade. Na figura a seguir, vê-se o efeito do aumento do  $R_2$ .

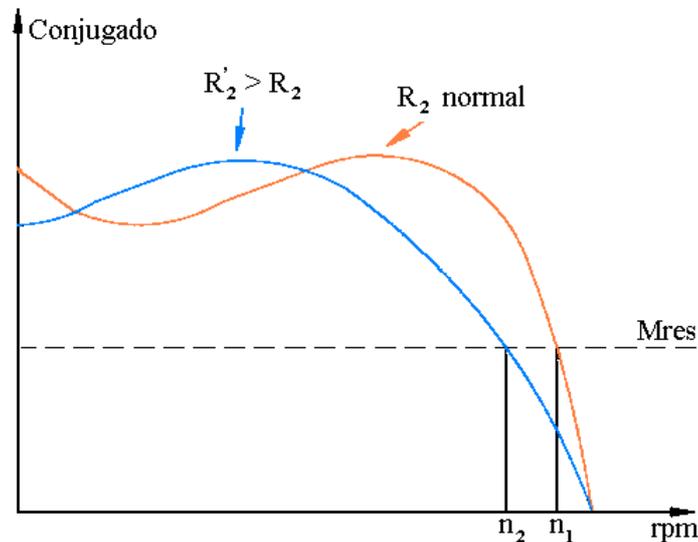


Figura 1.48 – Curva de conjugado com variação da resistência rotórica

### 1.5.3.2 VARIAÇÃO DA TENSÃO DO ESTATOR

É um sistema pouco utilizado, uma vez que também gera perdas rotóricas e a faixa de variação de velocidade é pequena.

### 1.5.4 VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA

Ao se variar a frequência da tensão do estator, está se variando a velocidade do campo girante. Com isso pode-se variar a velocidade do rotor, mantendo-se constante o escorregamento da máquina e, portanto, as perdas podem ser otimizadas de acordo com as condições da carga.

Ao se variar a frequência de alimentação do motor CA, varia-se sua velocidade síncrona, o que significa que todas as velocidades síncronas variam desde  $f \cong 0$  até a máxima frequência do conversor. O comportamento do motor, que corresponde a sua curva conjugado x velocidade, permanece da mesma forma, entretanto deslocada na rotação conforme a frequência, como mostra a figura 1.49.

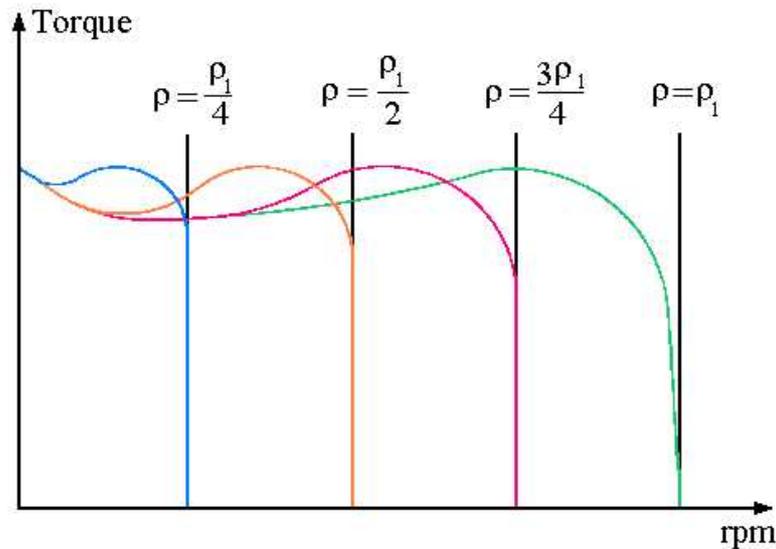


Figura 1.49 – Exemplo de curva de conjugado com tensão proporcional a frequência

Teoricamente, existem duas faixas de atuação: uma com fluxo constante, até a frequência nominal, e outra com enfraquecimento de campo, correspondente àquela acima da frequência nominal, ou seja:

$$f \cong 0\text{Hz até } f_n \rightarrow \frac{U}{f} = \text{constante} = \text{fluxo constante};$$

$$f > f_n \rightarrow U = \text{constante} = \text{enfraquecimento de campo}.$$

Entretanto, na realidade, para que essas duas faixas se tornem possíveis de serem realizadas, há necessidade das seguintes considerações:

- Se um motor auto-ventilado trabalha com velocidade menor do que a nominal, terá sua capacidade de refrigeração diminuída.
- A tensão de saída dos conversores apresenta uma forma não perfeitamente senoidal, o que implica em harmônicas de ordem superior, que provocam um aumento de perdas no motor.

Devido a isto, é necessário reduzir conjugado e a potência, admissíveis no motor. Aconselha-se normalmente seguir a seguinte curva:

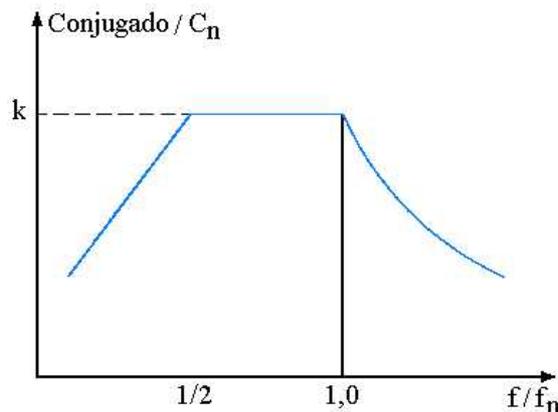


Figura 1.50 – curva de torque x frequência para uso de motor com conversor de frequência

Onde  $k$  está de 0,7 à 1,0 e depende do conteúdo de harmônicas do conversor. Valores típicos são 0,8 à 0,9.

#### 1.5.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DE MOTORES COM CONTROLE DE VELOCIDADE ATRAVÉS DE CONVERSORES DE FREQUÊNCIA

- a) Operação em rotações abaixo da rotação obtida com a frequência nominal  $f_n$ . Geralmente até 50% da  $f_n$  utiliza-se o fator  $k$  (figura 1.48) de redutor de potência ou se quiser, pode-se utilizar o fator de serviço e/ou o aumento da classe de isolamento para manter o torque constante. Abaixo de 50% da frequência nominal, para manter-se o torque constante, geralmente deve-se aumentar a relação  $U/f$  do conversor.
- b) Operação em rotações acima da rotação obtida com a frequência nominal  $f_n$ . Neste caso, como o motor funcionará com enfraquecimento de campo, a máxima velocidade estará limitada pelo torque máximo do motor e pela máxima velocidade periférica das partes girantes do motor (ventilador, rotor mancais).
- c) Rendimento: como a tensão de alimentação não é senoidal, haverá harmônicas que provocarão maiores perdas e conseqüente redução do rendimento.
- d) Ruído: variará sensivelmente em função da frequência e do conteúdo de harmônicas do conversor.
- e) Operação em áreas explosivas: **ATENÇÃO: motores operando com conversores de frequência em áreas com atmosferas explosivas necessitam ser dimensionados de comum acordo entre fabricante e cliente e, a especificação exata do seu funcionamento deverá estar descrita na placa de identificação do motor.**